

# ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья  
УДК 633.11:631.527  
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-70-78



## Показатели экологической изменчивости у сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Тюменской области

В. В. Новохатин<sup>1</sup>, Е. В. Зуев<sup>2</sup>, Т. В. Шеломенцева<sup>1</sup>, Т. А. Леонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья, Тюменская область, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгений Валерьевич Зуев, ezuev@vir.nw.ru

**Актуальность.** В НИИСХ Северного Зауралья основным направлением селекции яровой мягкой пшеницы остается выделение нового исходного материала и создание сортов с улучшенными хозяйственными признаками, повышенной устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды. Также селекционеры уделяют большое внимание экологической пластичности создаваемых сортов, которые минимально снижают урожайность при неблагоприятных условиях.

**Материал и методы.** Изучение 362 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР проводили на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья в 2011–2016 гг. в контрастных климатических условиях. По комплексу хозяйственно ценных признаков выделено 30 среднеранних и среднеспелых генотипов. Экспериментальные данные обработаны методами математической статистики. Рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции, индексы условий среды (Ii), показатель пластичности (bi), размах урожайности (d, %), гомеостатичность (H-st), гомеостаз (Hom), коэффициент отзывчивости (Kp).

**Результаты.** Установлено, что сорта с высокой потенциальной урожайностью, пластичностью и сильной реакцией на изменение условий среды: 'Алтайская 110' (к-65128), 'Башкирская 28' (к-64852), 'АС Pollet' (к-64975), 'Челяба 75' (к-64871), 'Aletch' (к-65011), 'Струна Мироновская' (к-65016) рекомендуются для селекции интенсивных сортов. Образцы с небольшими величинами пластичности и менее выраженными показателями экологической изменчивости, выносливые к ухудшению условий среды: 'Тарская 10' (к-64996), 'ФПЧ-Ррpd-0s' (к-65123), 'Новосибирская 44' (к-64867) возможно использовать для создания климатоустойчивых сортов.

**Заключение.** Для предварительной оценки сортов по изменчивости урожайности следует использовать показатели:  $Y_{max}$ ,  $d$ ,  $V$ ,  $Kp$ , положительно сопряженные между собой и дающие довольно значимую информацию. Взаимодополняемые показатели:  $bi$ ,  $S^2di$ ; и  $H-st$ ,  $Hom$ , сопряженные между собой положительно, имеющие разнонаправленное действие, эффективны при комплексной оценке сортов по экологической изменчивости.

**Ключевые слова:** пшеница, урожайность, экологическая изменчивость, сопряженность

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве» и по теме НИИСХ Северного Зауралья «Управление селекционным процессом создания новых генотипов культурных растений с высокоценными признаками продуктивности и качества, устойчивости к био- и абиострессорам; методы и способы реализации генетического потенциала новых генотипов сельскохозяйственных, лекарственных и ароматических культур», рег. № НИОКТР 121041600036-6.

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

**Для цитирования:** Новохатин В.В., Зуев Е.В., Шеломенцева Т.В., Леонова Т.А. Показатели экологической изменчивости у сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Тюменской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(3):70-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-70-78

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-70-78

**Indicators of environmental variability in spring bread wheat cultivars under the conditions of Tyumen Province**Vladimir V. Novokhatin<sup>1</sup>, Evgeny V. Zuev<sup>2</sup>, Tatyana V. Shelomentseva<sup>1</sup>, Tatyana A. Leonova<sup>1</sup><sup>1</sup> Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, Tyumen Province, Russia<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Evgeny V. Zuev, ezuev@vir.nw.ru

**Background.** Among wheat breeding trends, the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region prioritizes selection of new source material and development of cultivars with improved agronomic traits and higher resistance to biotic and abiotic environmental stressors. The breeders also pay attention to environmental plasticity of the cultivars.

**Materials and methods.** A field study of 362 spring bread wheat accessions from VIR was performed in the fields of the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region in 2011–2016 under contrasting climate conditions. Thirty genotypes were identified for a set of useful agronomic traits. The data were processed using mathematical statistics methods. Rank correlation coefficients, plasticity indices (bi), yield ranges (d, %), homeostaticity (H-st), homeostasis (Hom), and responsiveness coefficients (Kp) were calculated.

**Results.** It was established that cultivars with potentially high yield, plasticity, and strong response to changing environmental conditions: 'Altaiskaya 110' (k-65128), 'Bashkirskaya 28' (k-64852), 'AC Pollet' (k-64975), 'Chelyaba 75' (k-64871), 'Aletch' (k-65011), and 'Struna Mironovskaya' (k-65016), may be recommended for breeding intensive cultivars. Accessions with low levels of plasticity and less pronounced environmental variability indices, but tolerant to deteriorated environmental conditions: 'Tarskaya 10' (k-64996), 'FPCh-Ppd-0s' (k-65123), and 'Novosibirskaya 44' (k-64867), can be used to produce climate-resistant cultivars.

**Conclusion.** The Ymax, d, V and Kp indicators should be applied for preliminary assessment of cultivars for yield variability, as they are positively correlated to each other and provide quite significant information. Such complementary indicators as bi and S<sup>2</sup>di, H-st and Hom, positively associated with each other and having a multidirectional effect, are effective for comprehensive assessment of cultivars for environmental variability.

**Keywords:** wheat, yield, environmental variability, contingency

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the State Tasks according to the theme plans of VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production", and the topic assigned to the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region "Management of the breeding process in the development of new crop genotypes with highly valuable traits of productivity and quality, and resistance to bio- and abiostressors; methods and means of implementing the genetic potential of new genotypes of agricultural, medicinal and aromatic crops", reg. No. NIOKTR 121041600036-6.

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

**For citation:** Novokhatin V.V., Zuev E.V., Shelomentseva T.V., Leonova T.A. Indicators of environmental variability in spring bread wheat cultivars under the conditions of Tyumen Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023; 184(3):70-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-70-78

## Введение

Контрастные агроклиматические условия Северного Зауралья сочетают в себе ежегодно проявляющуюся раннелетнюю засуху (сибирский тип) с обильными июльскими осадками и часто повторяющейся прохладной, увлажненной погодой в период налива и созревания зерна, приводящей к затягиванию вегетации и предуборочному прорастанию его в колосе. Наряду с этим, часто проявляются кратковременные засухи и во второй половине вегетации. В связи с этим создаваемые сорта должны сочетать в себе выносливость и устойчивость к абиотическим факторам среды (Novokhatin, 2015). При этом успех селекции полностью зависит от исходного материала и научно-обоснованного подбора родительских пар (Novokhatin et al., 2022). Это позволяет создавать исходный материал с проявлением трансгрессивных форм хорошей адаптивности. При испытании сортов в разных агроклиматических условиях на величину урожая влияют факторы среды. Причем факторы, находящиеся как в минимуме, так и в максимуме, имеют лимитирующее значение для растений (Acci, 1959). Смена спектров экспрессирующихся генов при изменении лимитирующих факторов среды приводит к ранговому изменению сортов (Dragavtsev et al., 1984) и понимается как адаптация – один из основных факторов эволюционного процесса (Yakushev et al., 2015). При этом следует учитывать, что адаптивность сорта во многом обусловлена его экологической пластичностью (Zhuchenko, 1988), то есть гомеостатичностью (стабильностью) урожаев по годам. Стабильность позволяет сорту сочетать высокий потенциал урожайности с минимальным ее снижением при неблагоприятных условиях (Golovochenko, 2001) и обычно измеряется дисперсиями разной направленности (Eberhart, Russel, 1966; Dragavtsev et al., 2012). Пластичность и стабильность сопряжены между собой и являются неотъемлемым свойством адаптивности (Zykin et al., 2000). Последняя связана с гомеостазом, поддерживающим постоянство генотипа (Khangildin, 1976).

Целью исследований было выявление отличительных особенностей формирования урожая сортов мягкой яровой пшеницы из коллекции ВИР в различных погодных условиях на основании показателей экологической изменчивости разнонаправленного действия.

Данная публикация является продолжением статьи, опубликованной в журнале «Вестник Российской сельскохозяйственной науки» (Novokhatin et al., 2022).

## Материал, методика и условия проведения исследований

В 2011–2016 гг. в контрастных погодных условиях изучено 362 образца яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Из изучаемого набора были выделены 30 среднеранних и среднеспелых сортов по продуктивности и комплексу хозяйственно ценных признаков, которые рассмотрены в данной работе.

Исследования проводились на опытном поле НИИ сельского хозяйства Северного Зауралья, на темно-серой почве, по черному удобренному пару, по принятой в зоне агротехнике. Площадь делянки – 3 м<sup>2</sup>, повторность однократная. Стандартом служил сорт 'Лютесценс 70' (к-62201), который размещался через 10 номеров. Посев

проводили в оптимальные сроки порционной сеялкой СКС-6-10 при норме высева – 600 всхожих зерен/м<sup>2</sup>.

Учеты и наблюдения проводили по методике ВИР (Merezhko et al., 1999). Структурный анализ проводился по 20 растениям каждого сорта, взятым из пробных площадей. Годы исследований значительно различались по погодным условиям. Остро засушливым был 2012 год – за вегетацию выпало 93 мм осадков при норме 243 мм (ГТК = 0,44); 2015 г. был средnezасушливым (ГТК = 0,62); остальные – увлажненные (ГТК = 1,18...1,46). Экспериментальные данные обработаны дисперсионным анализом и методами математической статистики (Dospekhov, 2014). Коэффициенты ранговой корреляции рассчитаны по Спирману (Zaitsev, 1984); индексы условий среды (Ii) в разрезе генотипов – показатель пластичности (bi) выражены через коэффициент регрессии, показатель стабильности (S<sup>2</sup>di) – через показатель дисперсии (Eberhart, Russel, 1966) в изложении Р. А. Уразалиева (Urazaliev, 1985). Рассчитаны также: размах урожайности (d, %) (Zykin et al., 2000), гомеостатичность (H-st) и гомеостаз (Hom) (Khangildin, 1976, 1979). Коэффициент отзывчивости (Kp) определялся отношением максимальной продуктивности, полученной при оптимальных условиях возделывания (max), к минимальной величине (min), полученной в засушливых условиях.

## Результаты и обсуждение

По результатам изучения было установлено, что урожайность образцов яровой мягкой пшеницы в годы исследований сильно варьировала по годам. В то же время варьирование средней урожайности было всего 12,4% (табл. 1). Поэтому оценка урожайности сортов по средним показателям не дает объективной характеристики их изменчивости.

Средняя урожайность образцов в опыте была 280 г/м<sup>2</sup>, у стандарта 'Лютесценс 70' – 251 г/м<sup>2</sup> (Sx = 6,1 г/м<sup>2</sup>) (см. табл. 1). Меньшая средняя урожайность была у сортов к-65089 (Алжир) – 213 г/м<sup>2</sup>, 'ФПЧ-Ррр-0s' (к-65123) – 223 г/м<sup>2</sup>, 'Новосибирская 44' (к-64867) – 225 г/м<sup>2</sup> и 'India 288' (к-65116) – 234 г/м<sup>2</sup>. Более выраженный показатель минимального значения урожайности указывает на адаптивность образца к данным условиям среды. В этом отношении следует обратить внимание на сорта: 'Челяба Степная' (к-64872), 'Струна Мироновская' (к-65016), 'Тарская 10' (к-64996), 'Aletch' (к-65011), урожайность которых была соответственно 254 г/м<sup>2</sup>, 205 г/м<sup>2</sup>, 222 г/м<sup>2</sup>, 200 г/м<sup>2</sup>. Образцы 'Сибирская 14' (к-64989), 'Башкирская 28' (64852), 'Серебристая' (к-64994), 'Новосибирская 44', 'India 288', 'Срібнянка' (к-65148), местный (к-65089), 'PS 136' (к-64895), 'Маргарита' (к-64851) с наименьшими значениями минимальной урожайности (88–135 г/м<sup>2</sup>) мало пригодны для местных условий. Высокой потенциальной урожайностью (508–653 г/м<sup>2</sup>) характеризуются сорта: 'Алтайская 110' (к-65128), 'Башкирская 28', 'AC Pollet' (к-64975), 'Челяба 75' (к-64871), 'Aletch', 'Струна Мироновская', 'Jasna' (к-64982); у стандартного сорта 'Лютесценс 70' этот показатель составил 320 г/м<sup>2</sup>. Данную особенность высокоурожайных сортов следует учитывать при подборе родительских пар для гибридизации.

Однако более полная оценка сортообразцов дается при анализе их урожайности по экологическим показателям: изменчивости, пластичности и стабильности. Так, интенсивные сорта: 'Башкирская 28', 'Челяба 75', 'AC Pollet', 'Jasna', 'Aletch', 'Струна Мироновская' при довольно выраженной потенциальной урожайности (526–653 г/м<sup>2</sup>)

**Таблица 1. Изменчивость урожайности сортов яровой мягкой пшеницы**  
(НИИСХ Северного Зауралья, 2011–2016 гг.)

**Table 1. Yield variability in spring bread wheat cultivars** (RIA of the Northern Trans-Ural Region, 2011–2016)

| № по каталогу ВИР | Название, происхождение              | Урожайность, г/м <sup>2</sup> |     |     | bi   | S <sup>2</sup> di | d,%  | V,%  | H-st | Hom  | Kp  |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----|-----|------|-------------------|------|------|------|------|-----|
|                   |                                      | Хср.                          | min | max |      |                   |      |      |      |      |     |
| 64851             | Маргарита, Ульяновская обл.          | 279                           | 135 | 375 | 0,70 | 82,8              | 64,0 | 29,6 | 3,91 | 0,94 | 2,8 |
| 64852             | Башкирская 28, Башкортостан          | 261                           | 100 | 534 | 1,70 | 158,7             | 81,2 | 60,9 | 0,99 | 0,42 | 5,3 |
| 64863             | Дуэт Черноземья, Белгородская обл.   | 295                           | 202 | 436 | 1,09 | 91,9              | 53,7 | 31,1 | 4,05 | 0,95 | 2,2 |
| 64867             | Новосибирская 44, Новосибирская обл. | 225                           | 120 | 307 | 0,48 | 62,4              | 60,5 | 27,7 | 4,34 | 0,81 | 2,6 |
| 64871             | <b>Челяба 75, Челябинская обл.</b>   | 283                           | 183 | 621 | 1,80 | 168,7             | 70,5 | 59,7 | 1,08 | 0,47 | 3,4 |
| 64872             | Челяба Степная, Челябинская обл.     | 306                           | 254 | 473 | 0,91 | 86,3              | 46,3 | 28,2 | 4,95 | 1,08 | 1,9 |
| 64878             | Соановская 4, Новосибирская обл.     | 291                           | 142 | 490 | 1,54 | 146,9             | 71,0 | 50,5 | 1,66 | 0,58 | 3,4 |
| 64891             | <b>PS 90, неизвестно</b>             | 294                           | 156 | 357 | 0,63 | 74,6              | 56,3 | 25,4 | 5,76 | 1,16 | 2,3 |
| 64893             | <b>PS 87, неизвестно</b>             | 299                           | 180 | 480 | 1,20 | 116,2             | 62,5 | 38,9 | 2,56 | 0,77 | 2,7 |
| 64895             | <b>PS 136, неизвестно</b>            | 249                           | 135 | 396 | 1,24 | 97,9              | 65,9 | 30,3 | 2,43 | 0,82 | 2,9 |
| 64975             | <b>AC Pollet, Канада</b>             | 279                           | 140 | 526 | 1,96 | 163,7             | 72,0 | 58,6 | 1,23 | 0,45 | 3,8 |
| 64976             | <b>CDC Merlin, Канада</b>            | 265                           | 175 | 383 | 0,86 | 78,4              | 54,3 | 29,5 | 4,31 | 0,90 | 2,2 |
| 64980             | <b>AC Corinne, Канада</b>            | 285                           | 149 | 460 | 0,93 | 125,3             | 67,6 | 44,0 | 2,08 | 0,65 | 3,1 |
| 64982             | Jasna, Польша                        | 337                           | 185 | 653 | 1,86 | 186,6             | 71,7 | 55,4 | 1,30 | 0,61 | 3,5 |
| 64989             | Сибирская 14, Новосибирская обл.     | 318                           | 88  | 487 | 1,69 | 144,5             | 81,6 | 45,5 | 1,75 | 0,69 | 5,5 |
| 64994             | Серебристая, Омская обл.             | 269                           | 107 | 435 | 0,85 | 135,9             | 75,4 | 50,6 | 4,36 | 0,53 | 4,1 |
| 64996             | <b>Тарская 10, Омская обл.</b>       | 279                           | 222 | 330 | 0,37 | 44,0              | 32,7 | 15,8 | 4,69 | 1,76 | 1,5 |
| 64997             | Воевода, Саратовская обл.            | 259                           | 150 | 365 | 0,60 | 85,7              | 58,9 | 32,9 | 3,66 | 0,78 | 2,4 |
| 65005             | <b>AC Gabriel, Канада</b>            | 339                           | 153 | 451 | 1,29 | 110,5             | 66,0 | 32,6 | 3,49 | 1,04 | 2,9 |
| 65011             | <b>Aletch, Чехия</b>                 | 324                           | 200 | 628 | 1,70 | 157,8             | 68,1 | 48,6 | 1,55 | 0,67 | 3,1 |
| 65016             | <b>Струна Мироновская, Украина</b>   | 321                           | 205 | 653 | 2,01 | 170,1             | 68,6 | 53,0 | 1,35 | 0,61 | 3,2 |
| 65089             | местный, Алжир                       | 213                           | 132 | 357 | 0,60 | 78,7              | 63,0 | 36,9 | 2,56 | 0,58 | 2,7 |
| 65116             | <b>India 288, Индия</b>              | 234                           | 124 | 303 | 0,76 | 73,8              | 59,1 | 31,6 | 4,14 | 0,74 | 2,4 |
| 65123             | ФПЧ-Ррд-0s, Ленинградская обл.       | 223                           | 175 | 267 | 0,38 | 41,1              | 34,4 | 18,4 | 13,1 | 1,21 | 1,5 |
| 65128             | Алтайская 110, Алтайский край        | 308                           | 150 | 508 | 1,51 | 120,3             | 70,5 | 39,0 | 2,20 | 0,79 | 3,4 |

Таблица 1. Окончание  
Table 1. The end

| № по каталогу ВИР | Название, происхождение                    | Урожайность, г/м <sup>2</sup> |     |     | bi   | S <sup>2</sup> di | d,%  | V,%  | H-st  | Hom  | Kp  |
|-------------------|--|-------------------------------|-----|-----|------|-------------------|------|------|-------|------|-----|
|                   |  | Хср.                          | min | max |      |                   |      |      |       |      |     |
| 65132             | Памяти Вавенкова, Новосибирская обл.       | 274                           | 185 | 378 | 0,92 | 67,4              | 51,6 | 24,2 | 5,77  | 1,13 | 2,0 |
| 65142             | Тюменская 28, Тюменская обл.               | 261                           | 180 | 300 | 0,79 | 51,0              | 40,0 | 19,6 | 11,1  | 1,33 | 1,7 |
| 65143             | <b>Челяба Золотистая, Челябинская обл.</b> | 319                           | 150 | 430 | 0,82 | 98,5              | 65,1 | 30,9 | 12,75 | 1,03 | 2,9 |
| 65148             | Срібнянка, Украина                         | 247                           | 130 | 390 | 0,65 | 94,8              | 66,7 | 38,3 | 2,48  | 0,64 | 3,0 |
| 65151             | Торчинська, Украина                        | 322                           | 177 | 419 | 0,93 | 87,6              | 58,0 | 27,2 | 4,87  | 1,18 | 2,4 |
| 62201             | Лютесценс 70 (стандарт)                    | 251                           | 175 | 320 | 0,89 | 64,0              | 55,7 | 31,1 | 3,16  | 0,81 | 2,3 |
|                   | x <sub>ср.</sub>                           | 280                           |     |     |      |                   |      |      |       |      |     |
|                   | Sx   | 6,1                           |     |     |      |                   |      |      |       |      |     |
|                   | Sx,%                                       | 2,2                           |     |     |      |                   |      |      |       |      |     |
|                   | V,%  | 12,4                          |     |     |      |                   |      |      |       |      |     |

Примечания: bi – коэффициент регрессии (пластичность); S<sup>2</sup>di – стабильность; d – размах изменчивости; V, % – варьирование; H-st – гомеостатичность; Hom – гомеостаз; Kp – коэффициент отзывчивости.

Жирным шрифтом выделены сорта, включенные в гибридизацию в НИИСХ Северного Зауралья

Notes: bi – regression coefficient (plasticity); S<sup>2</sup>di – stability; d – range of variability; V, % – variation; H-st – homeostaticity;

Hom – homeostasis; Kp – responsiveness coefficient.

The cultivars included in hybridization are boldfaced

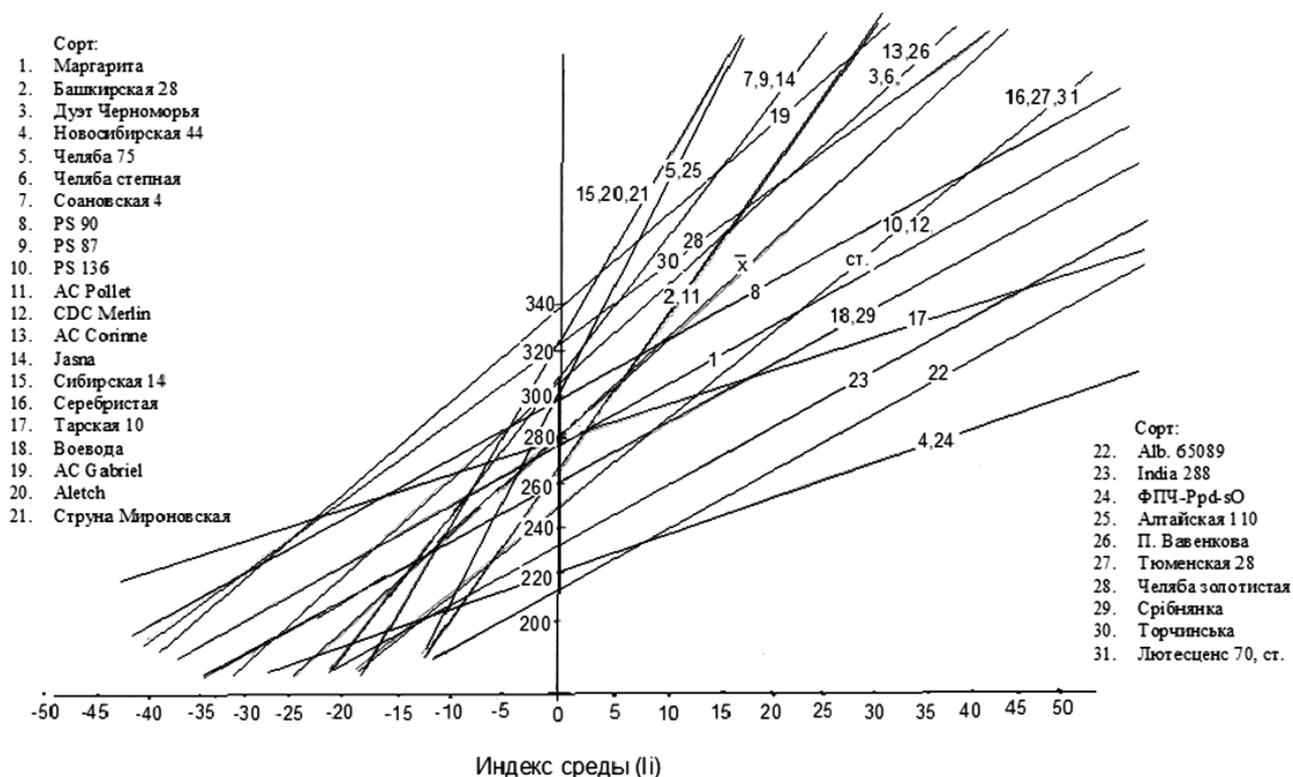
имеют высокие показатели изменчивости на условия среды (bi = 1,69–2,01). Линии регрессии этих сортов идут по отношению к оси ординат под довольно крутым углом – 59–63° (рисунок) и показывают выраженную реакцию на изменение условий вегетации (Kp = 3,2–5,5). При этом просматривается нестабильность проявления урожая (S<sup>2</sup>di = 144,5–186,6) и, как следствие, большой их размах урожайности (d = 68,1–81,2%) при высоком коэффициенте вариации (V = 45,5–60,9%) и невысоких показателях гомеостатичности (H-st = 0,99–1,75) и гомеостаза (Hom = 0,42–0,69) (см. табл. 1.) Все это указывает на их ограниченную адаптивность к местным агроклиматическим условиям. Эти сорта следует использовать в селекции, направленной на создание интенсивных сортов для возделывания с благоприятными климатическими условиями и оптимальными технологиями возделывания.

Довольно выраженная пластичность (bi = 1,06–1,51), наклон линий регрессии под 46–56°, отмечена для сортов: 'Дуэт Черноморья' (к-64863), 'PS 87' (к-64893), 'PS 136', 'AC Gabriel' (к-65005), 'Алтайская 110' (см. табл. 1). У этих образцов лучше показатели стабильности урожая (S<sup>2</sup>di = 91,0–120,3), небольшое варьирование и высокая максимальная урожайность (396–508 г/м<sup>2</sup>), хорошие показатели гомеостатичности (H-st = 2,20–4,05), гомеостаза (Hom = 0,77–1,04) и коэффициента отзывчивости (Kp = 2,0–3,4). Аналогичные показатели экологической изменчивости характерны для сортов 'Челяба Степная', 'CDC Merlin', 'India 288', 'Памяти Вавенкова' (к-65132), 'Торчинська' (к-65151) (см. табл. 1). Все вышеперечисленные

сорта рекомендованы в качестве исходного материала для селекции на продуктивность и интенсивность.

Сопряженность экологических показателей позволяет выявить наиболее информативные, а также определить идентичность оценок отдельных из них, так как они неоднозначны в своей информативности. Так, сопряженность средних урожаев положительная с максимальным их проявлением (r = 0,663) (табл. 2). Более урожайные сорта имеют меньшее проявление этих показателей. Средняя урожайность положительно коррелирует с показателем пластичности bi (r = 0,588), стабильности S<sup>2</sup>di (r = 0,301) и варьированием – V, % (r = 0,547). В то же время минимальные значения урожаев достоверно отрицательно сопряжены со стабильностью урожайности S<sup>2</sup>di (r = –0,609), коэффициентом отзывчивости Kp (r = –0,631) и незначительно положительно с гомеостазом Hom (r = 0,492). Это подтверждает ранее сказанное, что образцы с резко сниженной минимальной урожайностью бесперспективны для селекции. Коэффициенты корреляции максимального проявления урожаев с данными показателями имеют такую же направленность, как и со средней урожайностью, но в данном случае они более значимы и отрицательно коррелируют с гомеостатичностью и гомеостазом (r = –0,605 и r = –0,574). При этом между максимальным проявлением урожайности и ее минимальным значением корреляция отсутствует, что следует учитывать при ведении отборов.

Из-за наличия довольно значительной положительной сопряженности эколого-генетических показателей:



**Рисунок.** Пластичность урожаев образцов яровой мягкой пшеницы (НИИСХ Северного Зауралья, 2011–2016 гг.)

**Figure.** Yield plasticity in spring bread wheat accessions (RIA of the Northern Trans-Ural Region, 2011–2016)

**Таблица 2.** Коэффициенты парной корреляции урожайности и параметры экологической изменчивости (НИИСХ Северного Зауралья, 2011–2016 гг.)

**Table 2.** Pairwise correlation coefficients of yield and environmental variability parameters (RIA of the Northern Trans-Ural Region, 2011–2016)

| Показатели | $x_{cp}$ | min     | max     | bi      | $S^2di$ | d       | V,%     | H-st    | Hom     | Kp      |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $x_{cp}$   |          | 0,333   | 0,663*  | 0,588*  | 0,301   | 0,287   | 0,547*  | -0,191  | 0,044   | 0,264   |
| min        | 0,333    |         | 0,183   | -0,013  | -0,609* | -0,283  | -0,147  | 0,169   | 0,492*  | -0,631* |
| max        | 0,663*   | 0,183   |         | 0,922*  | 0,637*  | 0,827*  | 0,924*  | -0,605* | -0,574* | 0,578*  |
| bi         | 0,588*   | -0,013  | 0,922*  |         | 0,711*  | 0,839*  | 0,930*  | -0,646* | -0,623* | 0,681*  |
| $S^2di$    | 0,301    | -0,609* | 0,637*  | 0,711*  |         | 0,838*  | 0,818*  | -0,652* | -0,844* | 0,908*  |
| d          | 0,287    | -0,283  | 0,827*  | 0,839*  | 0,838*  |         | 0,948*  | -0,679* | -0,873* | 0,808*  |
| V,%        | 0,547*   | -0,147  | 0,924*  | 0,930*  | 0,818*  | 0,948*  |         | -0,648* | -0,744* | 0,782*  |
| H-st       | -0,191   | 0,169   | -0,605* | -0,646* | -0,652* | -0,679* | -0,648* |         | 0,643*  | -0,554* |
| Hom        | 0,044    | 0,492*  | -0,574* | -0,623* | -0,844* | -0,873* | -0,744* | 0,644*  |         | -0,723* |
| Kp         | 0,264    | -0,631* | 0,578*  | 0,681*  | 0,908*  | 0,808   | 0,782*  | -0,554* | -0,723* |         |

Примечание: \* – порог достоверности при  $r \geq 0,355$ . Описание показателей см. табл. 1

Note: \* – statistically significant at  $r \geq 0.355$ . For the description of the indicators, see Table 1

пластичности (bi) со стабильностью –  $S^2d$  ( $r = 0,711$ ), гомеостатичности и гомеостаза ( $r = 0,643$ ), которые во многом взаимодополняемые и имеют схожую разнонаправленную сопряженность с другими показателями изменчивости, их следует использовать при комплексной оценке сортов по экологической изменчивости урожайности.

Также установлено, что составляющие размаха изменчивости (d) имеют сходство с показателями: Умах, V, Кр, что подтверждают высокие положительные корреляции –  $r = 0,808...0,948$ .

### Заключение

Изучение выделенных в Северном Зауралье сортов из коллекции ВИР показывает по многим показателям их различную изменчивость проявления урожайности. В скрещивания включены 13 образцов (см. табл. 1) для создания интенсивных, продуктивных и климатоустойчивых сортов яровой мягкой пшеницы.

Показано, что для предварительной оценки сортов по изменчивости урожайности следует использовать показатели: Умах, d, V, Кр, положительно сопряженные между собой, несложные в расчетах и дающие довольно значимую информацию.

Взаимодополняемые показатели: bi,  $S^2di$ ; и H-st, Hom, сопряженные между собой положительно, имеющие разнонаправленное действие, эффективны при комплексной оценке сортов по экологической изменчивости.

### References / Литература

Acci D. Agricultural ecology. (Selskokhozyaystvennaya ekologiya). Moscow: Foreign Literature; 1959. [in Russian] (Ацци Д. Сельскохозяйственная экология. Москва: Иностранная литература; 1959).

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс; 2014).

Dragavtsev V.A., Makarova G.A., Kochetov A.A., Mirskaya G.V., Sinyavina N.G. Proximate estimation of genotypic and genetic (additive) variances of plant productivity traits. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(2):427-436. [in Russian] (Драгавцев В.А., Макарова Г.А., Кочетов А.А., Мирская Г.В., Синявина Н.Г. Новые подходы к экспериментальной оценке генотипической и генетической (аддитивной) дисперсии свойств продуктивности растений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(2):427-436).

Dragavtsev V.A., Zilke V.A., Reyter B.G., Vorobyev V.A., Dubrovskaya A.G., Korobeynikov N.I., Novokhatin V.V., Maksimenko V.P., Babakishiev A.G., Plyushchenko V.G., Kalashnik N.A., Zuykov Yu.P., Fedotov A.M. Genetics of productivity traits in spring wheat in Western Siberia (Genetika priznakov produktivnosti yarovoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri). Novosibirsk: Nauka; 1984. [in Russian] (Драгавцев В.А., Цильке В.А., Рейтер Б.Г., Воробьев В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакишиев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука; 1984).

Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

Golovochnenko A.P. Features of adaptive breeding of spring bread wheat in the forest-steppe zone of the Middle Volga region (Osobennosti adaptivnoy seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v lesostepnoy zone srednego Povolzhya). Kinel; 2011. [in Russian] (Головоченко А.П. Особенности адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне среднего Поволжья. Кинель; 2011).

Khangildin V.V. Homeostasis of grain harvest components and prerequisites for creating a model of a spring wheat variety (Gomeostaz komponentov urozhaya zerna i predposylki k sozdaniyu modeli sorta yarovoy pshenitsy). In: *Genetic Analysis of Quantitative Plant Characteristics (Geneticheskiy analiz kolichestvennykh priznakov rasteniy)*. Ufa: Bashkir Branch of the USSR Academy of Sciences; 1979. p.5-39. [in Russian] (Хангильдин В.В. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы. В кн.: *Генетический анализ количественных признаков растений*. Уфа: БФ АН СССР; 1979. С.5-39).

Khangildin V.V. Homeostaticity and grain yield structure in spring wheat cultivars under the conditions of Bashkiria (Gomeostatichnost i struktura urozhaya zerna u sortov yarovoy pshenitsy v usloviyakh Bashkirii). In: V.G. Konarev, R.R. Akhmetov (eds). *Physiological and Biochemical Aspects of Plant Heterosis and Homeostasis (Fiziologicheskiye i biokhimicheskiye aspekty geterozisa i gomeostaza rasteniy)*. Ufa; 1976. p.210-230. [in Russian] (Хангильдин В.В. Гомеостатичность и структура урожая зерна у сортов яровой пшеницы в условиях Башкирии. В кн.: *Физиологические и биохимические аспекты гетерозиса и гомеостаза растений* / под ред. В.Г. Конарева, Р.Р. Ахметова. Уфа; 1976. С.210-230).

Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V., Filatenko A.A., Serbin A.A., Lyapunova O.A., Kosov V.Yu., Kurkiev U.K., Okhotnikova T.V., Navruzbekov N.A., Boguslavskiy R.L., Abdulaeva A.K., Chikida N.N., Mitrofanova O.P., Potokina S.A. Guidelines for the study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale). A.F. Merezhko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В., Филатенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотникова Т.В., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

Novokhatin V.V. Ecological breeding of spring bread wheat in arid conditions. (Ekologicheskaya selektsiya myagkoy yarovoy pshenitsy v aridnykh usloviyakh) In: P.L. Goncharov, Yu.A. Khristov (eds). *Breeding of Agricultural Plants in the Arid Areas of Siberia and Far East. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; Barnaul, July 21–24, 2015*. Novosibirsk; 2015. p.186-198. [in Russian] (Новохатин В.В. Экологическая селекция мягкой яровой пшеницы в аридных условиях. В кн.: *Селекция сельскохозяйственных растений в аридных территориях Сибири и Дальнего Востока: Материалы международной научно-практической конференции; Барнаул, 21–24 июля 2015 г.* / под ред. П.Л. Гончарова, Ю.А. Христова. Новосибирск; 2015. С.186-198).

- Novokhatin V.V., Shelomentseva T.V., Leonova T.A., Temirbekova S.K., Zuev E.V. Ecological variability of spring soft wheat from VIR collection in Transurals. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2022;(6):17-22. [in Russian] (Новохатин В.В., Шеломенцева Т.В., Леонова Т.А., Темирбаева С.К., Зуев Е.В. Экологическая изменчивость сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР в Зауралье. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2022;(6):17-22). DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/17-22
- Urazaliev R.A. Genotype – environment (Genotip – sreda). Almalymbak: Kazakh Research Institute of Crop Farming; 1985. [in Russian] (Уразалиев Р.А. Генотип – среда. Алматы: Казахский НИИ земледелия; 1985).
- Vavilov N.I. Scientific bases of wheat breeding (Nauchnye osnovy selektsii pshenitsy). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1935. [in Russian] (Вавилов Н.И. Научные основы селекции пшеницы. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1935).
- Yakushev V.P., Mikhailenko I.M., Dragavtsev V.A. Reserves of agro-technologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation. *Agricultural Biology*. 2015;50(5):550-560. [in Russian] (Якушев В.П., Михайленко И.М., Драгавцев В.А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожая зерновых культур в России. *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(5): 550-560). DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.550rus
- Zaitsev G.N. Mathematical statistics in experimental botany (Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1984. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1984).
- Zhuchenko A.A. Adaptive potential of cultivated plants (ecogenetic fundamentals) (Adaptivnyy potentsial kulturnykh rasteniy [ekologo-geneticheskiye osnovy]). Chisinau: Ştiinţă; 1988. [in Russian] (Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев: Штиинца; 1988).
- Zykin V.A., Belan I.A., Roseev V.M., Pashkov S.V. Spring wheat breeding for adaptability: results and prospects. (Selektsiya yarovoy pshenitsy na adaptivnost: rezultaty i perspektivy). *Russian Agricultural Sciences*. 2002;(2):5-7. [in Russian] (Зыкин В.А., Белан И.А., Росеев В.М. Пашков С.В. Селекция яровой пшеницы на адаптивность: результаты и перспективы. *Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук*. 2000;(2):5-7).

#### Информация об авторах

**Владимир Васильевич Новохатин**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заслуженный агроном РФ, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, tatyanka.leonova.2020@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

**Евгений Валерьевич Зуев**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

**Татьяна Владимировна Шеломенцева**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, selomentseva.t@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4855-6182>

**Татьяна Алексеевна Леонова**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, tatyanka.leonova.2020@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2618-9043>

#### Information about the authors

**Vladimir V. Novokhatin**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Honored Agronomist of the Russian Federation, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, tatyanka.leonova.2020@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

**Evgeny V. Zuev**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

**Tatyana V. Shelomentseva**, Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, selomentseva.t@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4855-6182>

**Tatyana A. Leonova**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, tatyanka.leonova.2020@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2618-9043>

**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 19.05.2023; одобрена после рецензирования 25.07.2023; принята к публикации 04.09.2023.

The article was submitted on 19.05.2023; approved after reviewing on 25.07.2023; accepted for publication on 04.09.2023.