

# ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья  
УДК 633.16:631.527  
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-38-51



## Адаптивность, пластичность и стабильность урожайности голозерного ячменя

Н. В. Тетяников

Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Николай Валерьевич Тетяников, [tetyannikovnv@ya.ru](mailto:tetyannikovnv@ya.ru)

**Актуальность.** Голозерные формы ячменя представляют практический интерес не только с селекционной точки зрения, но и с производственной. Их зерно характеризуется большей питательной ценностью в сравнении с пленчатыми и меньшей экономической затратностью при послеуборочной обработке. При комплексном изучении исходного материала по важным хозяйственно ценным признакам особая роль отводится анализу не только адаптивности растений, но и их стабильной урожайности.

**Материалы и методы.** Объектом исследования послужили 60 образцов голозерного ячменя, относящиеся к 15 внутривидовым разновидностям. Изучение проведено в 2020–2022 гг. в полевых условиях Московской области в соответствии с методическими указаниями ВИР и методикой полевого опыта в изложении Б. А. Доспехова. Для оценки адаптивности и стабильности изучаемых генотипов применялись различные статистические методы: КА, ИС,  $b_p$ ,  $S^2d$ ,  $\theta_p$ ,  $\theta_{(p)}$ ,  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ ,  $CV$ ,  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ,  $NP^{(1-4)}$ ,  $KR$ .

**Результаты и заключение.** Среди многорядных образцов относительно высокую урожайность продемонстрировали Местный (к-17948), (к-18071), N167 (к-11070), 'Омский Голозерный 2' (2539\*) (245,0–308,8 г/м<sup>2</sup>), среди двурядных образцов – Линия-1289 (к-29336), Ц-99-2837 (к-30796), 'Омский Голозерный 1' (2538\*) (177,9–269,5 г/м<sup>2</sup>). Наиболее тесная связь урожайности отмечена с массой зерна с колоса ( $r = 0,64$ ) и массой зерна с растения ( $r = 0,58$ ). Достоверная корреляция выявлена между массой 1000 зерен и продуктивной кустистостью ( $r = 0,67$ ), а также между массой зерна с колоса и массой зерна с растения ( $r = 0,70$ ). Высокоурожайные образцы голозерного ячменя не отличались высокой стабильностью по годам. Сильная корреляция урожайности отмечена с КА, ИС, и  $b_p$  ( $r = 0,85–0,93$ ), что позволяет их использовать для отбора генотипов с более равномерным сочетанием урожайности и стабильности. Относительно высокой урожайностью и стабильностью обладали образцы Местный (к-17948) и N167 (к-11070), а также двурядный сорт 'Омский Голозерный 1' (2538\*).

**Ключевые слова:** биоразнообразие, генотип, *Hordeum vulgare* L., продуктивность, разновидность

**Благодарности:** исследование проведено в рамках реализации государственного задания Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства № 0432-2021-0003 «Сохранить, пополнить, изучить генетические коллекции сельскохозяйственных растений и создать репозитории плодовых и ягодных культур, заложенные свободными от вредоносных вирусов растениями».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

**Для цитирования:** Тетяников Н.В. Адаптивность, пластичность и стабильность урожайности голозерного ячменя. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(1):38-51. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-38-51

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-38-51

### Adaptability, plasticity, and yield stability in hulless barley

Nikolay V. Tetyannikov

Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Corresponding author: Nikolay V. Tetyannikov, [tetyannikovnv@ya.ru](mailto:tetyannikovnv@ya.ru)

**Background.** Hulless barley is of practical interest not only for plant breeders but also for crop producers. The nutritional value of its grain is higher and economic costs of post-harvest processing are less than those of hulled barley. Analyzing both plant adaptability and yield stability is a key factor in a comprehensive study of source materials for important agronomic traits.

**Materials and methods.** Sixty hulless barley accessions belonging to 15 intraspecific varieties served as the material for the study conducted in 2020–2022 in the fields of Moscow Province according to the guidelines of VIR and the methodology of field trial by B. A. Dospekhov. Adaptability and stability were assessed in the studied genotypes using various statistical indicators: CA, IS,  $b_p$ ,  $S^2d_i$ ,  $\theta_p$ ,  $\theta_{(ij)}$ ,  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ , CV,  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ,  $NP^{(1-4)}$ , and KR.

**Results and conclusion.** High-yielding among the six-row accessions were Local (k-17948), (k-18071), N167 (k-11070) and 'Omsky Golozerny 2' (2539\*) (245.0–308.8 g/m<sup>2</sup>), and among the two-row ones, Line-1289 (k-29336), C-99-2837 (k-30796) and 'Omsky Golozerny 1' (2538\*) (177.9–269.5 g/m<sup>2</sup>). The grain weight per ear ( $r = 0.64$ ) and grain weight per plant ( $r = 0.58$ ) were found to have the closest relationship to yield. Significant correlations were found between 1000-grain weight and productive bushiness ( $r = 0.67$ ), as well as between grain weight per ear and grain weight per plant ( $r = 0.70$ ). High-yielding hulless accessions failed to demonstrate high stability across all growing seasons. Yield had strong correlations with CA, IS, and  $b_i$  ( $r = 0.85$ – $0.93$ ), so they can be used to select genotypes with a more balanced combination of yield and stability. Relatively high yields and stability were observed in the six-row genotypes Local (k-17948) and N167 (k-11070), as well as in the two-row cultivar 'Omsky Golozerny 1' (2538\*).

**Keywords:** biodiversity, genotype, *Hordeum vulgare* L., productivity, variety

**Acknowledgements:** the research was carried out within the framework of the state task assigned to the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, No. 0432-2021-0003 "Preserve, replenish, and study genetic collections of agricultural plants and establish repositories of fruit and berry crops planted free of viruses".

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Tetyannikov N.V. Adaptability, plasticity, and yield stability in hulless barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(1):38-51. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-38-51

## Введение

В Российской Федерации основные сельскохозяйственные угодья традиционно заняты пшеницей и ячменем, значимость которых как продовольственных и стратегически важных культур сложно переоценить. По данным Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/>), в России посевные площади ярового ячменя в хозяйствах всех категорий за 2023 г. составили порядка 7247,1 тыс. га, при мировой занимаемой площади около 47 млн га. Из-за меньшей требовательности данной культуры к условиям окружающей среды ее возделывают в различных географических регионах с умеренным, континентальным и субтропическим климатом (Verstegen et al., 2014).

Прежде всего, ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является кормовой культурой, и его основные производственные объемы используются для кормления животных. Вегетативные части и зерно используются в качестве фуража, в виде комбикормов для крупного и мелкого рогатого скота, свиней, домашней птицы. Второе значимое направление использования ячменя – это солодоращение, что является важным этапом при производстве алкогольных напитков. Также в научной литературе неоднократно упоминается, что благодаря своему химическому составу ячмень может выступать в качестве сырья для производства здоровых и функциональных продуктов питания, что определяет третье производственное направление (Geng et al., 2022). В сухом веществе зерновки ячменя содержится достаточно высокое количество белка, углеводов, клетчатки, а именно: бета-глюканов, липидов, минералов, фитохимических веществ, включая фенольные кислоты, флавоноиды, лигнаны, токолы, фитостеролы и фолаты (Raj et al., 2023), что может способствовать снижению уровня холестерина, уменьшению риска сердечно-сосудистых заболеваний, регулированию уровня сахара в крови.

В этом ключе отечественные и зарубежные исследователи указывают на большой практический интерес и производственную привлекательность использования голозерного ячменя не только в качестве фуражной культуры, но и как перспективный продукт питания для человека. В то же время получение зерна, свободного от цветочных чешуй, способствует снижению затрат на послеуборочную обработку (Sidorenko et al., 2016). Считается, что основными признаками, по которым шла доместикация ячменя, были ломкость колоса, рядность колоса, а также голая зерновка (Salamini et al., 2002; Pourkheirandish, Komatsuda, 2007). Для голозерного ячменя характерна голая зерновка, легко отделяемая от пленки, что принято связывать с отсутствием склеивающего липидного слоя между эпидермисом околоплодника зерновки и цветковыми чешуями (Lukina et al., 2022). Известно, что пленчатость является доминантным признаком, а голозерность – рецессивным, контролирующимся транскрипционным фактором гена *nud* (*nudum*), расположенным на хромосомном плече 7HL (Zang et al., 2022).

Широкое распространение голозерный ячмень имеет в странах Центральной, Северо-Восточной и Юго-Восточной Азии и остается одной из важнейших продовольственных культур в Китае, в частности на высокогорной территории Цинхай-Тибетского Плато (Zeng et al., 2016). Зерно голозерных форм, как правило, характеризуется повышенным содержанием химических веществ, в сравнении с пленчатыми сортами, что, несомненно, повышает общую питательную ценность и кормовые досто-

инства такого зерна (Lyu et al., 2022). В то же время голозерный ячмень имеет ряд факторов, ограничивающих его распространение. К ним можно отнести невысокую и нестабильную урожайность и адаптивную способность, низкую устойчивость к полеганию и ряду грибных заболеваний, излишнее травмирование семян при обмолаоте (Zhelesnov et al., 2013).

В культуре ячменя преобладают пленчатые разновидности, и основная селекционная работа на повышение урожайности и устойчивости к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды ведется именно по ним. К настоящему времени в нашей стране в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 8 сортов голозерного ячменя, что составляет около 3% от общего числа сортов (State Register..., 2023). По принадлежности к разновидностям данные сорта относятся к подвиду двурядного ячменя (subsp. *distichon* (L.) Körn.): var. *nudum* L. – ‘Дева’, ‘Нудум 95’, ‘Омский Голозерный 1’, ‘Оскар’; var. *viride* Vav. et Orl. – ‘Ручей’; и многорядного (subsp. *vulgare*): var. *coeleste* L. – ‘Ергенинский Голозерный’, ‘Омский Голозерный 2’, ‘Омский Голозерный 4’.

Тем не менее результаты целенаправленной работы селекционеров на повышение адаптивного и продуктивного потенциала голозерного ячменя свидетельствуют о возможности создания конкурентоспособных сортов, сочетающих устойчивость растений к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды и высокую урожайность, не уступающих пленчатым сортам. Безусловно, в этой связи важная роль отводится оценке исходного материала и последующему вовлечению его в селекционный процесс, что способствует совершенствованию сортимента сельскохозяйственных культур. Особое внимание уделяется источникам ценных признаков, обладающим высокой и стабильной урожайностью, а также характеризующимся широкой адаптивностью к климатическим изменениям окружающей среды.

*Цель настоящего исследования* – оценка адаптивности и стабильности формирования урожайности голозерного ячменя в различные вегетационные периоды с использованием параметрических и непараметрических методов статистики.

## Материалы и методы

### Объект исследования

Исследование проведено в период 2020–2022 гг. на опытном поле Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства (ФНЦ Садоводства, Московская обл.) в полевом севообороте. Почва участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая. В качестве объекта исследования взяли 57 образцов из мировой коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), а также 3 сорта, полученные из Омского аграрного научного центра (Омский АНЦ). Образцы представлены подвидом двурядного ячменя subsp. *distichon* (L.) Körn. (21 шт.), и подвидом многорядного ячменя subsp. *vulgare* (39 шт.), в том числе 15 разновидностями. В качестве стандартов использовались сорта пленчатого двурядного ячменя ‘Зазерский 85’, ‘Яромир’ (табл. 1). По результатам многолетней оценки лучшим стандартом был сорт ‘Яромир’.

Посев проведен селекционной сеялкой «Клен-1.5» в первую декаду мая; площадь учетной делянки – 2 м<sup>2</sup>, норма высева – 500 шт./м<sup>2</sup>. Закладка полевого опыта,

Таблица 1. Образцы голозерного ячменя, взятые в качестве объекта исследования  
Table 1. Hulless barley genotypes taken as the materials for the study

| Код / Code | № по каталогу / Catalogue No. | Образец, происхождение, разновидность / Accession, origin, variety | Код / Code | № по каталогу / Catalogue No. | Образец, происхождение, разновидность / Accession, origin, variety |
|------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| G1         | к-4276                        | Местный, Россия, var. <i>nudum</i>                                 | G31        | к-30624                       | С. I. 10975, Перу, var. <i>coeleste</i>                            |
| G2         | к-4306                        | Местный, Россия, var. <i>coeleste</i>                              | G32        | к-30664                       | С. I. 11074, Перу, var. <i>trifurcatum</i>                         |
| G3         | к-4526                        | Местный, Россия, var. <i>nudum</i>                                 | G33        | к-25666                       | С. I. 2253, США, var. <i>revelatum</i>                             |
| G4         | к-6360                        | Местный, Россия, var. <i>nudum</i>                                 | G34        | к-24656                       | Nepal b14-7, США, var. <i>trifurcatum</i>                          |
| G5         | к-9425                        | Местный, Россия, var. <i>coeleste</i>                              | G35        | к-21985                       | Athiopien-AB. 1105, Германия, var. <i>nigrinudum</i>               |
| G6         | к-9537                        | Местный сд-2, Россия, var. <i>coeleste</i>                         | G36        | к-22306                       | H.3949 Sulo Coll. v. gruber, Германия, var. <i>cornutiforme</i>    |
| G7         | к-10199                       | –, Россия, var. <i>coeleste</i>                                    | G37        | к-25788                       | Schwarze Nackte Kraftborn, Германия, var. <i>violaceum</i>         |
| G8         | к-10604                       | Местный, Латвия, var. <i>coeleste</i>                              | G38        | к-25804                       | Abyssinian 1139, Германия, var. <i>duplinigrum</i>                 |
| G9         | к-11076                       | Местный, Россия, var. <i>nudum</i>                                 | G39        | к-25529                       | Nackte aus Erytrea, Эфиопия, var. <i>colonicum</i>                 |
| G10        | к-11082                       | –, Россия, var. <i>nudum</i>                                       | G40        | к-26595                       | Местный, Эфиопия, var. <i>neogenes</i>                             |
| G11        | к-16448                       | Колхозный 7, Россия, var. <i>nudum</i>                             | G41        | к-23444                       | H. 3786 Jimma7, Эфиопия, var. <i>asachicum</i>                     |
| G12        | к-16885                       | Гаринский, Россия, var. <i>coeleste</i>                            | G42        | к-22308                       | H.2198 Ubamer Baso, Эфиопия, var. <i>griseinudinierme</i>          |
| G13        | к-17493                       | Вышневолоцкий, Россия, var. <i>coeleste</i>                        | G43        | к-23450                       | De printermre, Франция, var. <i>nudum</i>                          |
| G14        | к-17568                       | Walpersi, Великобритания, var. <i>coeleste</i>                     | G44        | к-23491                       | H.2866 Coll.Halle EP80, Эфиопия, var. <i>griseinudinierme</i>      |
| G15        | к-17844                       | –, Россия, var. <i>coeleste</i>                                    | G45        | к-25855                       | Ra 6, Франция, var. <i>nigrinudum</i>                              |
| G16        | к-17948                       | Местный, Россия, var. <i>coeleste</i>                              | G46        | к-24817                       | H-3869 Gidole, Ботсвана, var. <i>tibetanum</i>                     |
| G17        | к-18031                       | Кабамаруми, Россия, var. <i>coeleste</i>                           | G47        | к-18071                       | –, Россия, var. <i>coeleste</i>                                    |
| G18        | к-18683                       | Caspian C.I.5644, Канада, var. <i>cornutum</i>                     | G48        | к-11069                       | N166, Россия, var. <i>nudum</i>                                    |
| G19        | к-18700                       | Himalaya C.I.2448, Канада, var. <i>himalayense, coeleste</i>       | G49        | к-18118                       | Пайтовский голозерный, Россия, var. <i>coeleste</i>                |

Таблица 1. Окончание  
Table 1. The end

| Код /<br>Code | № по каталогу /<br>Catalogue No. | Образец, происхождение, разновидность /<br>Accession, origin, variety | Код /<br>Code | № по каталогу /<br>Catalogue No. | Образец, происхождение, разновидность /<br>Accession, origin, variety |
|---------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| G20           | к-18727                          | Ranando C.I.15170, КНДР, var. <i>coeleste</i>                         | G50           | к-4826                           | Местный, Россия, var. <i>coeleste, revelatum</i>                      |
| G21           | к-31286                          | C-105, Россия, var. <i>coeleste</i>                                   | G51           | к-16623                          | 24, Россия, var. <i>coeleste</i>                                      |
| G22           | к-22784                          | Abyssinian 1102, Швеция, var. <i>nigrinudum</i>                       | G52           | к-9647                           | Местный, Россия, var. <i>himalayense, coeleste</i>                    |
| G23           | к-25008                          | Местный, Эфиопия, var. <i>dupliatrum</i>                              | G53           | к-11070                          | N167, Россия, var. <i>coeleste</i>                                    |
| G24           | к-25796                          | Uamto [АНОР 350/70], Германия, var. <i>coeleste</i>                   | G54           | к-15549                          | Himalayen, Канада, var. <i>himalayense</i>                            |
| G25           | к-26391                          | 62-Ir24 Manchuria × C.I.2286, Швеция, var. <i>coeleste</i>            | G55           | к-30173                          | Buck CDC, Канада, var. <i>coeleste</i>                                |
| G26           | к-29189                          | Turper, Канада, var. <i>coeleste</i>                                  | G56           | к-21694                          | Голозерный 1, Россия, var. <i>nudum</i>                               |
| G27           | к-29336                          | Линия-1289, Россия, var. <i>neogenes</i>                              | G57           | к-6380                           | Местный, Россия, var. <i>coeleste</i>                                 |
| G28           | к-30440                          | 23007, Дания, var. <i>nudum</i>                                       | G58           | 2539*                            | Омский Голозерный 2, Россия, var. <i>coeleste</i>                     |
| G29           | к-30796                          | Ц-99-2837, Россия, var. <i>nudum</i>                                  | G59           | 2538*                            | Омский Голозерный 1, Россия, var. <i>nudum</i>                        |
| G30           | к-30663                          | C. I. 11073, Перу, var. <i>himalayense</i>                            | G60           | 2540*                            | Омский Голозерный 4, Россия, var. <i>coeleste</i>                     |

Примечание: к-... – номер по каталогу ВИР; ...\* – номер по каталогу ФНИЦ Садоводства

Note: к-... – VIR catalogue No.; ...\* – ARHCBAN catalogue No.

учеты за растениями и структурный анализ выполнены в соответствии с «Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса» (Loskutov et al., 2012), и «Методикой полевого опыта» (Dospikhov, 2011).

#### Статистический анализ

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методами описательной статистики и корреляционного анализа. Достоверность различий

мирования урожая ячменя, о чем говорят полученные отрицательные значения  $I_j = -5,69$  и  $I_j = -11,87$  соответственно. Оптимальные условия для развития растений отмечались в 2022 г. ( $I_j = 17,56$ ). При этом по показателю гидротермического коэффициента (ГТК) вегетационный период 2020 г. характеризовался избыточным увлажнением (ГТК = 1,5), 2021 г. – достаточным увлажнением (ГТК = 1,2), а 2022 г. был засушливым (ГТК = 0,8) (табл. 2).

**Таблица 2. Погодные условия в годы проведения исследований** (п. Михнево, Московская обл.)

**Table 2. Weather conditions in the years of research** (Mikhnevo, Moscow Province)

| Месяц / Month  | n (1968–2022)  |               | 2020 г.        |               | 2021 г.        |               | 2022 г.        |               |
|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|                | $\bar{x}$ (°C) | $\Sigma$ (mm) | $\bar{x}$ (°C) | $\Sigma$ (mm) | $\bar{x}$ (°C) | $\Sigma$ (mm) | $\bar{x}$ (°C) | $\Sigma$ (mm) |
| май            | 13,2           | 42,2          | 11,4           | 135,4         | 13,6           | 90,4          | 10,2           | 62,5          |
| июнь           | 17,2           | 60,8          | 18,3           | 159,7         | 19,7           | 85,5          | 18,2           | 28,7          |
| июль           | 19,2           | 70,1          | 18,6           | 106,8         | 21,6           | 51,0          | 20,3           | 48,6          |
| август         | 17,4           | 57,1          | 16,9           | 23,8          | 19,5           | 66,0          | 21,3           | 15,9          |
| $\bar{x}$ (°C) | 16,8           | –             | 16,3           | –             | 18,6           | –             | 17,5           | –             |
| $\Sigma$ (mm)  | –              | 230,2         | –              | 425,7         | –              | 292,9         | –              | 155,7         |
| $I_j$          |                |               | –5,69          |               | –11,87         |               | 17,56          |               |
| ГТК            |                |               | 1,5            |               | 1,2            |               | 0,8            |               |

Примечание: n – среднееголетние значения (по данным государственных фондов Гидрометеоцентра);  $\bar{x}$  – среднесуточная температура воздуха;  $\Sigma$  – сумма осадков  
 Note: n – long-term mean across the years (according to official databases of the Hydrometeorological Center);  $\bar{x}$  – mean daily temperature;  $\Sigma$  – precipitation amount

средних величин ( $p < 0,05$ ) определена при помощи t-критерия Стьюдента. Оценка адаптивной способности образцов ячменя рассчитана при помощи коэффициента адаптивности (КА) (Zhivotkov et al., 1994) и индекса стабильности (ИС) (Udachin, Golovchenko, 1990). Для оценки стабильности урожайности голозерного ячменя применялись как параметрические методы, такие как коэффициент регрессии ( $b_j$ ) (Finlay, Wilkinson, 1963), отклонение от регрессии ( $S^2 d_i$ ) (Eberhart, Russell, 1963), средний компонент дисперсии ( $\theta_j$ ) (Plaisted, Peterson, 1959), компонент дисперсии GE ( $\theta_{ij}$ ) (Plaisted, 1960), экологическая валентность ( $W_j^2$ ) (Wricke, 1962), дисперсия стабильности ( $\sigma_j^2$ ) (Shukla, 1972), коэффициент вариации (CV) (Francis, Kannenberg, 1978), так и непараметрические методы статистики – ранговые статистики ( $S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}, S^{(6)}$ ) (Nassar, Hühn, 1987; Hühn, 1990), непараметрическая статистика стабильности ( $NP^{(1-4)}$ ) (Thennagasu, 1995), ранговая сумма (KR) (Kang, 1988). Расчет данных показателей выполнен с использованием программы STABILITYSOFT (Pour-Aboghadareh et al., 2019).

#### Метеорологические условия вегетационных периодов

Для сравнения условий возделывания образцов голозерного ячменя рассчитывались индекс условий среды ( $I_j$ ) (Eberhart, Russell, 1966) и гидротермический коэффициент (ГТК) по методике, предложенной Г. Т. Селяниновым (Selyaninov, 1930). При расчете индекса условий среды ( $I_j$ ) установлено, что вегетационные периоды 2020 и 2021 г. были менее благоприятны для роста и фор-

#### Результаты исследования и их обсуждение

В оценке исходного материала зерновых культур одними из важных признаков являются высота растений и их устойчивость к полеганию. В работах как отечественных, так и зарубежных исследователей подтверждается тот факт, что, несмотря на селекционные достижения в данном направлении, многие современные сорта по-прежнему подвержены полеганию (Surin, Kovrigina, 2010; Bai et al., 2019; Zaytseva, Shchennikova, 2020) вследствие действия неблагоприятных условий окружающей среды, нарушения технологии выращивания и анатомических особенностей растений. Исследуемые растения в 2020 и 2022 г. по морфотипу относились к среднерослым, с высотой  $77,3 \pm 1,1$  см (CV = 11,15%) и  $82,4 \pm 1,1$  см (CV = 10,78%) соответственно. Во второй год исследования высота растений была ниже и составила 60,6 см (CV = 12,54). Как правило, растения многорядного ячменя в большей степени подвержены стеблевому полеганию за счет более высокой массы колоса. В нашем исследовании существенных различий между двурядными и многорядными образцами не выявлено, большинство образцов характеризовались высокой устойчивостью к полеганию, получив 7–9 баллов. Стабильно высокую устойчивость имели многорядные образцы G20, G26, G27, G33, G38, G60 и двурядные G29, G35, G44, G56, G59 (табл. 3). Достоверное превышение стандарта по высоте растений отмечено у двурядного образца G22 ( $84,4 \pm 6,0$  см) с относительно высокой устойчивостью к полеганию (7,7 балла).

Таблица 3. Результаты комплексной оценки коллекционных образцов голозерного ячменя (2020–2022 гг., п. Михнево, Московская обл.)  
Table 3. Results of an integrated assessment of hullless barley accessions (average for 2020–2022, Mikhnevo, Moscow Province)

| Код/<br>Code                                                                    | ВР, см / PH,<br>cm | ПК, шт. /<br>TP, pcs. | МР, г /<br>WP, g | МК, г /<br>WS, g | МТЗ, г /<br>TGW, g | УР, г/м² /<br>GY, g/m² | Код /<br>Code | ВР, см /<br>PH, cm | ПК, шт. /<br>GT, pcs. | МР, г /<br>WP, g | МК, г /<br>WS, g | МТЗ, г /<br>TGW, g | УР, г/м² /<br>GY, g/m² |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| подвид двурядного ячменя – <i>Hordeum vulgare</i> L. subsp. <i>distichon</i> L. |                    |                       |                  |                  |                    |                        |               |                    |                       |                  |                  |                    |                        |
| G1                                                                              | 71,8 ± 0,6         | 3,6 ± 0,5             | 2,9±0,6          | 0,8±0,1          | 50,2 ± 4,2         | 107,3 ± 46,2           | G35           | 65,9 ± 5,9         | 3,9 ± 0,5             | 1,4 ± 0,3*       | 0,4 ± 0,1*       | 41,6 ± 3,6         | 24,3 ± 8,0*            |
| G3                                                                              | 64,0 ± 7,2         | 4,3 ± 0,5             | 2,8 ± 0,6        | 0,6 ± 0,1        | 47,7 ± 1,6         | 114,5 ± 84,6           | G39           | 73,5 ± 6,1         | 3,9 ± 0,7             | 2,3 ± 0,9        | 0,6 ± 0,2        | 41,3 ± 5,4         | 75,8 ± 70,4            |
| G4                                                                              | 73,3 ± 7,7         | 3,6 ± 0,2             | 2,6 ± 0,4        | 0,7 ± 0,1        | 45,6 ± 4,0         | 129,3 ± 60,3           | G40           | 67,3 ± 3,8         | 4,3 ± 0,9             | 2,2 ± 1,0        | 0,5 ± 0,1        | 37,4 ± 4,7         | 40,6 ± 28,8            |
| G9                                                                              | 68,4±7,3           | 4,1 ± 1,0             | 3,0 ± 1,1        | 0,8 ± 0,1        | 47,0 ± 5,1         | 105,7 ± 27,0           | G42           | 77,1 ± 6,5         | 3,3 ± 0,5             | 2,0 ± 0,6        | 0,6 ± 0,1        | 36,9 ± 1,8*        | 74,8 ± 35,5            |
| G10                                                                             | 67,3 ± 6,1         | 4,0 ± 1,0             | 3,1 ± 1,3        | 0,7 ± 0,1        | 46,7 ± 5,0         | 129,6 ± 49,0           | G43           | 78,3 ± 6,5         | 4,7 ± 0,6             | 3,6 ± 1,6        | 0,6 ± 0,1        | 39,9 ± 4,2         | 93,3 ± 42,5            |
| G11                                                                             | 68,5 ± 6,8         | 3,9 ± 0,4             | 2,9 ± 0,6        | 0,7 ± 0,1        | 48,7 ± 3,8         | 74,7 ± 40,4            | G44           | 75,1 ± 6,9         | 4,6 ± 1,1             | 3,3 ± 0,8        | 0,8 ± 0,2        | 41,5 ± 2,1         | 143,3 ± 79,5           |
| G22                                                                             | 84,4 ± 6,0*        | 3,3 ± 0,5             | 1,6 ± 0,5*       | 0,5 ± 0,1*       | 38,2 ± 4,1         | 115,0 ± 46,6           | G45           | 77,0 ± 6,2         | 4,7 ± 0,8             | 2,5 ± 1,0        | 0,5 ± 0,2        | 39,6 ± 3,8         | 131,6 ± 75,2           |
| G23                                                                             | 66,8 ± 9,8         | 2,4±0,1*              | 1,4 ± 0,1*       | 0,6 ± 0,1        | 32,3 ± 0,2*        | 92,2 ± 58,9            | G48           | 70,1 ± 7,3         | 4,9 ± 1,1             | 3,8 ± 1,2        | 0,7 ± 0,1        | 47,3 ± 5,7         | 139,6 ± 81,2           |
| G27                                                                             | 72,3 ± 2,8         | 4,5 ± 0,5             | 3,9 ± 1,1        | 0,8 ± 0,2        | 41,3 ± 3,9         | 180,6 ± 133,9          | G56           | 76,7 ± 9,9         | 3,1 ± 0,5             | 2,6 ± 1,0        | 0,8± 0,2         | 40,8 ± 3,3         | 164,9 ± 142,9          |
| G28                                                                             | 71,2 ± 5,3         | 3,7 ±0,6              | 3,1 ± 1,0        | 0,7 ± 0,1        | 38,7 ± 4,7         | 118,3 ± 86,2           | G59           | 68,3 ± 6,1         | 4,3 ± 0,6             | 3,1 ± 0,9        | 0,7 ± 0,1        | 43,4± 2,1          | 269,5 ± 161,5          |
| G29                                                                             | 65,8 ± 5,8         | 3,8 ± 0,7             | 3,0 ± 1,1        | 0,8 ± 0,1        | 40,6 ± 3,4         | 178,0 ± 152,8          | St2           | 67,7 ± 5,5         | 3,7 ± 0,3             | 3,2 ± 0,6        | 0,8 ± 0,1        | 44,0 ± 1,4         | 243,3 ± 100,4          |
| подвид шестирядного ячменя – <i>Hordeum vulgare</i> L. subsp. <i>vulgare</i>    |                    |                       |                  |                  |                    |                        |               |                    |                       |                  |                  |                    |                        |
| G2                                                                              | 76,7 ± 7,0         | 2,5 ± 0,4*            | 3,0 ± 0,9        | 1,2 ± 0,2        | 32,6 ± 1,0*        | 208,7 ± 138,1          | G32           | 66,6 ± 8,5         | 3,1 ± 0,4             | 2,8 ± 1,5        | 0,8 ± 0,3        | 36,7 ± 6,7         | 91,7 ± 79,4            |
| G5                                                                              | 77,5 ± 5,9         | 3,1 ± 0,4             | 2,7 ± 0,8        | 0,8 ± 0,2        | 33,1 ± 1,1*        | 210,0 ± 108,4          | G33           | 59,4 ± 5,5         | 3,4 ± 0,3             | 1,8± 0,7         | 0,5 ± 0,2        | 31,7 ± 1,3*        | 108,5 ± 89,2           |
| G6                                                                              | 79,2 ± 7,1         | 2,3 ± 0,1*            | 2,7 ± 0,6        | 1,2 ± 0,2        | 32,0 ± 2,1*        | 232,4 ± 133,3          | G34           | 71,2 ± 5,5         | 3,6 ± 0,6             | 3,5 ± 1,8        | 0,9 ± 0,3        | 37,9 ± 4,7         | 83,5 ± 75,5            |
| G7                                                                              | 75,1 ± 5,7         | 2,6± 0,0*             | 2,6 ± 0,5        | 1,1 ± 0,1        | 33,5±2,2*          | 179,2 ± 136,6          | G36           | 74,7 ± 12,4        | 2,8±0,0*              | 2,1 ± 0,5        | 0,7 ± 0,2        | 28,8 ± 0,0*        | 113,2 ± 104,9          |
| G8                                                                              | 74,7 ± 6,4         | 2,5 ± 0,1*            | 3,1 ± 0,4        | 1,2 ± 0,1*       | 33,1 ± 0,9*        | 197,7 ± 139,9          | G37           | 81,7 ± 7,3         | 3,3 ± 0,1             | 2,4 ± 0,3        | 0,7 ± 0,1        | 36,7±0,4*          | 172,8 ± 119,3          |
| G12                                                                             | 77,3 ± 6,4         | 3,1 ± 0,4             | 2,9 ± 0,6        | 0,9 ± 0,1        | 32,2 ± 3,1*        | 110,6 ± 85,0           | G38           | 71,8 ± 8,4         | 3,3 ± 0,5             | 2,8 ± 1,7        | 0,7 ± 0,3        | 37,4 ± 4,3         | 120,8 ± 60,1           |
| G13                                                                             | 80,2 ± 6,5         | 2,7 ± 0,3*            | 3,2 ± 0,6        | 1,1 ± 0,1        | 34,3 ± 2,0*        | 170,5 ± 93,8           | G41           | 69,5 ± 7,0         | 3,5 ± 0,3             | 2,7 ± 1,0        | 0,8 ± 0,2        | 35,4 ± 1,9*        | 37,6 ± 19,4*           |
| G14                                                                             | 70,3 ± 15,6        | 3,1 ± 0,3             | 4,0 ± 2,5        | 1,2 ± 0,7        | 33,2 ± 0,6*        | 122,8 ± 73,0           | G46           | 70,9 ± 7,6         | 3,3 ± 0,4             | 2,4 ± 0,6        | 0,7 ± 0,1        | 33,7 ± 2,1*        | 119,9 ± 59,2           |
| G15                                                                             | 85,5 ± 10,7        | 2,5 ± 0,2*            | 3,1 ± 0,5        | 1,3 ± 0,2*       | 33,1 ± 1,8*        | 224,4 ± 138,5          | G47           | 80,7 ± 13,7        | 3,2 ± 0,5             | 4,5 ± 1,3        | 1,4 ± 0,2*       | 33,8 ± 2,0*        | 308,8 ± 137,9          |
| G16                                                                             | 75,4 ± 9,8         | 2,8 ± 0,2*            | 3,5 ± 0,3        | 1,3 ± 0,1*       | 32,3 ± 1,7*        | 291,6 ± 140,0          | G49           | 74,1 ± 7,9         | 3,1 ± 0,5             | 3,9 ± 0,9        | 1,2 ± 0,1*       | 32,3 ± 2,6*        | 224,8 ± 138,8          |

Таблица 3. Окончание  
Table 3. The end

| Код /<br>Code | ВР, см / PH,<br>cm | ПК, шт. /<br>TP, pcs. | МР, г /<br>WP, g | МК, г /<br>WS, g | МТЗ, г /<br>TGW, g | УР, г/м <sup>2</sup> /<br>GY, g/m <sup>2</sup> | Код /<br>Code | ВР, см /<br>PH, cm | ПК, шт. /<br>GT, pcs. | МР, г /<br>WP, g | МК, г /<br>WS, g | МТЗ, г /<br>TGW, g | УР, г/м <sup>2</sup> /<br>GY, g/m <sup>2</sup> |
|---------------|--------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------------------------------|
| G17           | 67,7 ± 11,7        | 3,4 ± 0,4             | 2,5 ± 0,5        | 0,7 ± 0,1        | 32,2 ± 1,3*        | 182,0 ± 106,7                                  | G50           | 77,1 ± 6,1         | 2,9 ± 0,5             | 3,9 ± 1,0        | 1,3 ± 0,1*       | 36,0 ± 3,6*        | 213,5 ± 136,6                                  |
| G18           | 73,8 ± 4,7         | 2,7 ± 0,1*            | 1,8 ± 0,4        | 0,7 ± 0,1        | 32,7 ± 3,1*        | 53,2 ± 34,2                                    | G51           | 75,8 ± 4,9         | 2,7 ± 0,1*            | 2,7 ± 0,2        | 1,0 ± 0,1        | 33,8 ± 1,7*        | 183,6 ± 122,7                                  |
| G19           | 78,4 ± 7,4         | 3,1 ± 0,4             | 2,8 ± 0,9        | 0,8 ± 0,2        | 40,2 ± 5,0         | 153,0 ± 83,5                                   | G52           | 78,4 ± 4,5         | 3,7 ± 0,4             | 3,8 ± 0,7        | 1,0 ± 0,1        | 32,7 ± 3,2*        | 196,0 ± 130,5                                  |
| G20           | 65,3 ± 8,8         | 3,2 ± 0,2             | 2,0 ± 1,1        | 0,6 ± 0,3        | 28,6 ± 0,3*        | 186,8 ± 108,2                                  | G53           | 80,1 ± 7,5         | 3,3 ± 0,4             | 3,6 ± 0,9        | 1,0 ± 0,1        | 36,4 ± 1,0*        | 245,0 ± 139,6                                  |
| G21           | 73,2 ± 9,5         | 2,9 ± 0,7             | 3,2 ± 0,5        | 1,2 ± 0,3        | 39,5 ± 2,1         | 138,3 ± 61,8                                   | G54           | 75,6 ± 9,3         | 3,1 ± 0,8             | 3,3 ± 1,5        | 1,0 ± 0,2        | 38,9 ± 4,0         | 176,8 ± 102,2                                  |
| G24           | 80,9 ± 9,1         | 2,7 ± 2,7             | 3,8 ± 0,4        | 1,4 ± 0,1*       | 32,1 ± 2,6*        | 166,0 ± 113,6                                  | G55           | 81,6 ± 7,3         | 3,0 ± 0,5             | 2,7 ± 0,7        | 0,8 ± 0,1        | 32,5 ± 3,0*        | 165,0 ± 104,8                                  |
| G25           | 74,3 ± 8,0         | 2,3 ± 0,2*            | 1,8 ± 0,1*       | 0,8 ± 0,1        | 31,3 ± 0,0*        | 105,9 ± 77,5                                   | G57           | 76,5 ± 8,6         | 3,1 ± 0,8             | 3,0 ± 1,6        | 0,8 ± 0,3        | 32,2 ± 1,6*        | 135,1 ± 114,8                                  |
| G26           | 72,4 ± 10,6        | 2,9 ± 0,5             | 3,6 ± 1,3        | 1,2 ± 0,2        | 37,2 ± 3,1         | 177,9 ± 110,6                                  | G58           | 78,8 ± 8,9         | 3,4 ± 0,3             | 3,3 ± 0,7        | 0,9 ± 0,1        | 36,5 ± 1,0*        | 260,7 ± 176,7                                  |
| G30           | 68,2 ± 5,9         | 2,9 ± 0,2             | 2,3 ± 0,6        | 0,8 ± 0,2        | 35,6 ± 0,5*        | 87,4 ± 83,0                                    | G60           | 76,1 ± 10,7        | 3,5 ± 0,4             | 3,4 ± 0,9        | 1,0 ± 0,2        | 35,3 ± 2,3*        | 235,2 ± 153,4                                  |
| G31           | 58,0 ± 6,8         | 2,7 ± 0,2*            | 1,8 ± 0,8        | 0,7 ± 0,3        | 37,7 ± 5,4         | 80,1 ± 48,2                                    | St2           | 67,7 ± 5,5         | 3,7 ± 0,3             | 3,2 ± 0,6        | 0,8 ± 0,1        | 44,0 ± 1,4         | 243,3 ± 100,4                                  |

Примечание: \* – достоверно при  $p < 0,05$ ; ВР – высота растений; ПК – продуктивная кустистость; МР – масса зерна с колоса; МТЗ – масса 1000 зерен; УР – урожайность  
Note: \* – statistically significant at  $p < 0,05$ ; ВР – plant height; ПК – number of generative tillers per plant; МР – grain weight per ear; МТЗ – 1000-grain weight; УР – grain yield

Продуктивная кустистость, или же количество продуктивных стеблей, образованное одним растением, является ценным селекционным признаком, оказывающим влияние на густоту стеблестоя, эффективность фотосинтеза растений и конечную урожайность (Aniskov, Garis, 2008). Степень развития кущения ячменя связывают с генетическими и экологическими факторами, приводящими к высокой фенотипической пластичности растений в ответ на различные условия окружающей среды; при этом к числу генов, способных так или иначе оказывать влияние на количество стеблей, относят *cul2*, *Int1*, *als1*, *Inc-c* (Zhou et al., 2018). За три года исследований более высокой продуктивной кустистостью обладали образцы, относящиеся к подвиду двурядного ячменя ( $3,9 \pm 0,1$  шт.), с максимальным значением 4,9 шт. (G48). У многорядных образцов способность формировать продуктивные стебли была ниже и в среднем составила  $3,0 \pm 0,1$  шт., при максимуме (3,7 шт.) у образца G57. В зависимости от вегетационного периода изменчивость данного признака была в пределах  $CV = 21,22-28,50\%$ .

Масса зерна с растения, а также масса зерна с колоса как одни из показателей продуктивности способны оказывать значительное влияние на формирование конечной урожайности (Singh et al., 2024). Рассматривая среднее популяционное значение, наблюдалось снижение массы зерна с растения в 2021 г. до  $1,9 \pm 0,1$  г ( $CV = 39,14\%$ ), в то время как в условиях вегетационных периодов 2020 и 2022 г. оно было выше  $-2,4 \pm 0,2$  ( $CV = 48,03\%$ ) и  $4,2 \pm 0,2$  г ( $CV = 29,67\%$ ) соответственно. Среди голозерных образцов, относящихся к подвиду двурядного ячменя, масса зерна (2020–2022 гг.) изменялась в пределах от 1,4 г (G23) до 3,9 г (G27), при среднем значении  $2,7 \pm 0,2$  г. Многорядные образцы за годы исследования варьировали от 1,8 (G33) до 4,5 г (G47), среднее значение составило  $3,0 \pm 0,1$  г. Масса зерна с растения у большинства голозерных образцов была ниже или на уровне пленчатого стандарта, превышение над стандартом отмечено у G14, G16, G24, G27, G34, G43, G45, G47, G48, G49, G50, G52, G53, G54, G58, G60, однако статистически достоверных различий между стандартом и данными образцами не выявлено.

Схожая тенденция наблюдалась при анализе массы зерна с колоса. Более высокими значениями характеризовались многорядные образцы ( $1,0 \pm 0,04$  г) в сравнении с двурядными ( $0,6 \pm 0,03$  г), при этом наибольшую массу с колоса голозерные образцы формировали в 2022 г. –  $1,1 \pm 0,04$  г. Относительно высокими значениями в сравнении со стандартом по данному признаку характеризовались многорядные образцы G2, G6, G7, G8, G12, G13, G14, G15, G16, G21, G24, G26, G47, G49, G50, G51, G52, G53, G54, G58, G60 ( $0,9-1,4$  г), среди двурядных образцов выделились G1, G27, G29, G44, G56 (см. табл. 3).

Масса 1000 зерен является важным элементом продуктивности, тесно связанным с крупностью зерновки. Данный показатель характеризуется более высокой наследуемостью среди генотипов, чем урожайность. К числу генов кандидатов, участвующих в формировании массы 1000 зерен и оказывающих влияние на длину зерновки, относят *HvDEP1*, при этом у современных сортов частота встречаемости аллелей с более крупным зерном выше, что может быть связано с ведением селекционных программ на повышение урожайности (Watt et al., 2020). В нашем исследовании масса 1000 зерен большинства голозерных образцов была ниже пленчатых стандартов 'Зазерский 85' ( $40,7-46,3$  г) и 'Яромир' ( $41,3-45,8$  г) во все годы исследования и в среднем составила в 2020 г. – 39,1 г, в 2021 г. – 33,8 г, в 2022 г. – 39,1 г. Среди двурядных

образцов в среднем за годы исследования данный показатель варьировал в пределах от 21,5 до 50,2 г, в то время как среди многорядных образцов размах варьирования наблюдался в меньшем пределах – 28,6–40,2 г. Относительно высокими значениями на уровне лучшего стандарта или превышающими его отличились образцы, относящиеся к подвиду двурядного ячменя: G1, G3, G4, G10, G11, G48.

Как известно, урожайность – это комплексный признак, определяющийся сложным взаимодействием между генотипом и окружающей средой. К числу причин невысокой урожайности голозерных сортов называются отсутствие пленки при учете урожайности, меньшее число продуктивных колосьев на единицу площади, а также меньшее число зерен в колосе (Thomason et al., 2009). Частично решить эту проблему можно за счет привлечения в селекционную работу перспективного исходного материала и новых источников ценных признаков. В годы исследования изменчивость массы зерна среди голозерных образцов была высокой ( $CV = 44,29-165,93\%$ ); наибольшим потенциалом урожайности характеризовались многорядные образцы, при среднем значении  $165,7$  г/м<sup>2</sup> ( $CV = 38,02\%$ ); у двурядных образцов данное значение составило  $119,2$  г/м<sup>2</sup> ( $CV = 44,42\%$ ). Урожайностью, превышающей стандартные сорта до 24,9%, отличились многорядные образцы G53 ( $245,0$  г/м<sup>2</sup>), G58 ( $260,7$  г/м<sup>2</sup>), G16 ( $291,6$  г/м<sup>2</sup>), G47 ( $308,8$  г/м<sup>2</sup>). Наибольший потенциал урожайности отмечен в 2022 г., при этом максимальная урожайность среди многорядных образцов составила  $612,7$  г/м<sup>2</sup> (G58), среди двурядных –  $588,7$  г/м<sup>2</sup> (G59). У большинства двурядных образцов, как в среднем, так и отдельно по годам, урожайность была ниже или на уровне стандарта. Относительно высокую урожайность среди двурядных образцов продемонстрировали G27, G29, максимальное значение отмечено у G59 –  $269,5$  г/м<sup>2</sup> (см. табл. 3).

Проведенный корреляционный анализ изучаемых образцов голозерного ячменя позволил установить связь между урожайностью и ее компонентами (табл. 4). Наиболее тесная сопряженность отмечена между урожайностью и массой зерна с колоса ( $r = 0,64$ ), массой зерна с растения ( $r = 0,58$ ), высотой растений ( $r = 0,40$ ). Также достоверная взаимосвязь выявлена между массой зерна с колоса и массой зерна с растения ( $r = 0,70$ ) и высотой растений ( $r = 0,46$ ); массой 1000 зерен и продуктивной кустистостью ( $r = 0,67$ ); высотой растений и массой зерна с растения ( $r = 0,32$ ). Отрицательная корреляция наблюдалась между массой зерна с колоса и продуктивной кустистостью ( $r = -0,53$ ); высотой растений и устойчивостью к полеганию ( $r = -0,35$ ), продуктивной кустистостью ( $r = -0,27$ ), массой 1000 зерен ( $r = -0,30$ ); массой зерен с растения и устойчивостью к полеганию ( $r = -0,26$ ).

Как правило, высокоурожайные сорта не всегда способны формировать стабильную по годам урожайность. Для более объективной оценки исследуемого материала по отношению к изменяющимся погодным условиям и последующего целенаправленного отбора наиболее перспективных форм существует множество статистических методов определения адаптивности, пластичности и стабильности.

Коэффициент адаптивности (КА) позволяет проанализировать изменчивость признака у изучаемых генотипов по отношению к общей популяционной адаптивной реакции растений в различные вегетационные периоды (Zhivotkov et al., 1994). Так, в годы исследования образцы голозерного ячменя характеризовались достаточно ши-

**Таблица 4. Корреляционная матрица между урожайностью голозерного ячменя и ее компонентами, 2020–2022 гг.****Table 4. Correlation matrix between the grain yield and yield components in hulless barley, 2020–2022**

| Признак / Character | BP / PH | УП / LR | ПК / TP | МР / WP | МК / WS | МТЗ / TGW |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| УП / LR             | -0,35*  |         |         |         |         |           |
| ПК / TP             | -0,27*  | -0,07   |         |         |         |           |
| МР / WP             | 0,32*   | -0,26*  | 0,18    |         |         |           |
| МК / WS             | 0,46*   | -0,15   | -0,53*  | 0,70*   |         |           |
| МТЗ / TGW           | -0,30*  | -0,11   | 0,67*   | 0,11    | -0,35*  |           |
| УР / GY             | 0,40*   | -0,01   | -0,19   | 0,58*   | 0,64*   | -0,19     |

Примечание: \* – достоверное при  $p < 0,05$ ; BP – высота растений, см; УП – устойчивость к полеганию, балл; ПК – продуктивная кустистость, шт.; МР – масса зерна с растений, г; МК – масса зерна с колоса, г; МТЗ – масса 1000 зерен, г; УР – урожайность, г/м<sup>2</sup>

Note: \* – statistically significant at  $p < 0.05$ ; PH – plant height, cm; LR – lodging resistance, score; GT – number of generative tillers per plant, pcs.; WP – grain weight per plant, g; WS – grain weight per ear, g; TGW – 1000-grain weight, g; GY – grain yield, g/m<sup>2</sup>

рокой изменчивостью урожайности. Низким коэффициентом адаптивности характеризовались двурядные образцы G23, G35, G39, G40 ( $KA = 0,20-0,29$ ), а также многорядные G18, G30, G32, G41 ( $KA = 0,30-0,36$ ), урожайность которых не превышала 91,7 г/м<sup>2</sup>. У сорта 'Яромир', взятого в качестве лучшего стандарта, коэффициент адаптивности составил 2,05. По данному показателю высокие значения отмечены у многорядных образцов G6 (1,67), G16 (2,22), G47 (2,29), G53 (1,66), G58 (2,01), G60 (1,79), среди двурядных образцов можно выделить G27 (1,30), G59 (1,87).

Используемый при оценке зерновых культур индекс стабильности (ИС) является показателем гомеостатичности, позволяющим сравнивать сорта по способности формировать высокую и устойчивую урожайность в различные годы. Среди изученного материала высокими значениями индекса на уровне стандарта (ИС = 3,40) или превышающими его обладали многорядные образцы G16 (3,51) и G47 (3,86), среди двурядных голозерных образцов наибольшее значение индекса стабильности отмечено у G59 (2,60), что позволяет сделать вывод об их более высокой приспособленности к изменениям погодных условий.

К числу методов оценки стабильности относят параметрическую статистику, включающую такие показатели, как коэффициент регрессии ( $b_i$ ), отклонение от регрессии ( $S^2 d_i$ ), средний компонент дисперсии ( $\theta_i$ ), компонент дисперсии GE ( $\theta_{(i)}$ ), экологическая валентность ( $W_i^2$ ), дисперсия стабильности ( $\sigma_i^2$ ), коэффициент вариации (CV), а также некоторые непараметрические методы, основанные на ранжировании: ранговые статистики ( $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ), непараметрическую статистику стабильности ( $NP^{(i)}$ ), ранговую сумму (KR) (Pour-Aboughadareh et al., 2019).

Первые два параметрических показателя характеризуют пластичность и стабильность генотипов в ответ на изменения окружающей среды. У сорта 'Яромир' зарегистрированы следующие значения по данным показателям:  $b_i = 1,06$ ;  $S^2 d_i = 8,38$ . За годы исследования наблюдаемый диапазон значений изменялся в пределах  $b_i = 0,02$  (G35) – 1,89 (G58);  $S^2 d_i = 0,00$  (G42, G55) – 57,21 (G47). К числу образцов с высокой отзывчивостью на изменения условий среды, при которой значения коэффициента регрессии  $b_i > 1$ , отнесли 28 образцов ( $b_i = 1,13-1,89$ ), в том числе высокоурожайные образцы G16, G27, G29,

G47, G53, G58, G59; со слабой отзывчивостью, при которой  $b_i < 1$ , – 24 образца. Высокая экологическая пластичность отмечена у двурядных образцов G3 ( $b_i = 0,94$ ;  $S^2 d_i = 0,63$ ), G28 ( $b_i = 0,93$ ;  $S^2 d_i = 4,33$ ) и многорядных G12 ( $b_i = 0,92$ ;  $S^2 d_i = 3,92$ ), G13 ( $b_i = 1,02$ ;  $S^2 d_i = 3,35$ ), G19 ( $b_i = 0,90$ ;  $S^2 d_i = 3,54$ ), G30 ( $b_i = 0,91$ ;  $S^2 d_i = 1,81$ ), G33 ( $b_i = 0,99$ ;  $S^2 d_i = 1,20$ ), при этом урожайность данных образцов была невысокой и соответствовала изменениям условий среды.

Показатель эквалентности ( $W_i^2$ ) оценивает влияние отдельного генотипа в общем взаимодействии «генотип × среда» (GE), и чем ниже отклонение генотипа от среднего значения в разных средах, тем более стабилен сорт. По данному показателю выделились G3 ( $W_i^2 = 6,18$ ), G5 ( $W_i^2 = 28,52$ ), G13 ( $W_i^2 = 23,71$ ), G19 ( $W_i^2 = 29,07$ ), G20 ( $W_i^2 = 25,89$ ), G25 ( $W_i^2 = 11,46$ ), G26 ( $W_i^2 = 26,73$ ), G30 ( $W_i^2 = 16,51$ ), G32 ( $W_i^2 = 12,82$ ), G33 ( $W_i^2 = 8,44$ ), G36 ( $W_i^2 = 29,28$ ), G45 ( $W_i^2 = 28,55$ ), G48 ( $W_i^2 = 21,99$ ), G54 ( $W_i^2 = 15,84$ ), G55 ( $W_i^2 = 13,95$ ), однако урожайность данных образцов была ниже стандартов и составила 91,67–186,80 г/м<sup>2</sup>.

Согласно среднему компоненту дисперсии ( $\theta_i$ ) оценка изучаемого материала проводится на основе расчета взаимодействия «генотип × среда» для каждой возможной пары комбинаций генотипов: чем ниже получаемое значение, тем стабильнее сорт. В свою очередь, компонент дисперсии генотип-средового взаимодействия ( $\theta_{(i)}$ ) основан на удалении отдельного генотипа из общей выборки, а изменчивость генотип-средового взаимодействия является индексом стабильности для него, и чем выше получаемые значения  $\theta_{(i)}$ , тем сорт считается стабильнее. По данным показателям более стабильными оказались многорядные образцы G25 ( $\theta_i = 37,54$ ;  $\theta_{(i)} = 69,15$ ), G32 ( $\theta_i = 37,88$ ;  $\theta_{(i)} = 69,14$ ) и G33 ( $\theta_i = 36,77$ ;  $\theta_{(i)} = 69,14$ ).

Варианса стабильности ( $\sigma_i^2$ ) позволяет оценить стабильность генотипа исходя из того предположения, что она является его изменчивостью в разных средах после устранения основных эффектов среды, и чем ниже значение, тем стабильнее должен быть генотип. В нашем исследовании самые низкие значения имели G3 ( $\sigma_i^2 = 2,06$ ), G25 ( $\sigma_i^2 = 4,79$ ), G30 ( $\sigma_i^2 = 7,39$ ), G32 ( $\sigma_i^2 = 5,49$ ), G33 ( $\sigma_i^2 = 3,22$ ), G54 ( $\sigma_i^2 = 7,05$ ), G55 ( $\sigma_i^2 = 6,07$ ).

Среди непараметрических методов стабильности используют различные ранговые показатели, одними из них являются  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ , предложенные R. Nassar и M. Hühn (1987). Рассматриваемые четыре показателя

Таблица 5. Корреляционная матрица между параметрическими и непараметрическими методами стабильности  
Table 5. Correlation matrix between parametric and nonparametric stability indicators

| Показатель     | УР / GY | КА    | ИС    | $b_i$ | $s^2 d_i$ | CV    | $W_i^2$ | $\sigma^2_i$ | $\theta_{(i)}$ | $\theta_i$ | $S^{(1)}$ | $S^{(2)}$ | $S^{(3)}$ | $S^{(6)}$ | $NP^{(1)}$ | $NP^{(2)}$ | $NP^{(3)}$ | $NP^{(4)}$ |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-----------|-------|---------|--------------|----------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| КА             | 0,93    |       |       |       |           |       |         |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| ИС             | 0,88    | 0,95  |       |       |           |       |         |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $b_i$          | 0,85    | 0,64  | 0,51  |       |           |       |         |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $s^2 d_i$      | 0,37    | 0,45  | 0,44  | 0,12  |           |       |         |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| CV             | -0,10   | -0,38 | -0,48 | 0,38  | -0,14     |       |         |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $W_i^2$        | 0,10    | 0,27  | 0,21  | -0,13 | 0,54      | -0,38 |         |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $\sigma^2_i$   | 0,10    | 0,27  | 0,21  | -0,13 | 0,54      | -0,38 | 1,00    |              |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $\theta_{(i)}$ | -0,10   | -0,27 | -0,21 | 0,13  | -0,54     | 0,38  | -1,00   | -1,00        |                |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $\theta_i$     | 0,10    | 0,27  | 0,21  | -0,13 | 0,54      | -0,38 | 1,00    | 1,00         | -1,00          |            |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $S^{(1)}$      | -0,04   | 0,10  | 0,03  | -0,14 | 0,38      | -0,22 | 0,39    | 0,39         | -0,39          | 0,39       |           |           |           |           |            |            |            |            |
| $S^{(2)}$      | -0,03   | 0,13  | 0,04  | -0,14 | 0,40      | -0,20 | 0,47    | 0,47         | -0,47          | 0,47       | 0,97      |           |           |           |            |            |            |            |
| $S^{(3)}$      | -0,35   | -0,23 | -0,26 | -0,38 | 0,26      | -0,05 | 0,38    | 0,38         | -0,38          | 0,38       | 0,86      | 0,87      |           |           |            |            |            |            |
| $S^{(6)}$      | -0,64   | -0,61 | -0,57 | -0,51 | 0,04      | 0,26  | 0,14    | 0,14         | -0,14          | 0,14       | 0,45      | 0,44      | 0,77      |           |            |            |            |            |
| $NP^{(1)}$     | 0,37    | 0,38  | 0,30  | 0,32  | 0,36      | -0,06 | 0,68    | 0,68         | -0,68          | 0,68       | 0,24      | 0,27      | 0,12      | -0,03     |            |            |            |            |
| $NP^{(2)}$     | -0,70   | -0,69 | -0,64 | -0,53 | -0,19     | 0,28  | 0,08    | 0,08         | -0,08          | 0,08       | -0,31     | -0,26     | 0,00      | 0,49      | 0,00       |            |            |            |
| $NP^{(3)}$     | -0,64   | -0,60 | -0,55 | -0,53 | -0,10     | 0,17  | 0,27    | 0,27         | -0,27          | 0,27       | -0,17     | -0,12     | 0,13      | 0,56      | 0,16       | 0,95       |            |            |
| $NP^{(4)}$     | -0,67   | -0,63 | -0,60 | -0,56 | 0,05      | 0,21  | 0,17    | 0,17         | -0,17          | 0,17       | 0,51      | 0,48      | 0,80      | 0,99      | -0,03      | 0,47       | 0,55       |            |
| KR             | -0,63   | -0,46 | -0,43 | -0,69 | 0,10      | -0,21 | 0,63    | 0,63         | -0,63          | 0,63       | 0,32      | 0,36      | 0,53      | 0,59      | 0,34       | 0,60       | 0,71       | 0,62       |

Примечание: УР – урожайность;  $W_i^2$  – эквалентность;  $\sigma^2_i$  – дисперсия;  $S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}, S^{(6)}$  – ранговые статистики;  $NP^{(1)}, NP^{(2)}, NP^{(3)}, NP^{(4)}$  – непараметрические статистики; CV – коэффициент вариации;  $\theta_{(i)}$  – коэффициент дисперсии;  $\theta_i$  – компонент дисперсии GE;  $S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}, S^{(6)}$  – ранговые статистики;  $NP^{(1)}, NP^{(2)}, NP^{(3)}, NP^{(4)}$  – непараметрические статистики; KR – ранговая сумма

Note: GY – grain yield;  $W_i^2$  – Wricke's ecovalence stability index;  $\sigma^2_i$  – Shukla's stability variance;  $S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}, S^{(6)}$  – regression coefficient;  $NP^{(1)}, NP^{(2)}, NP^{(3)}, NP^{(4)}$  – regression coefficient; CV – coefficient of variance;  $\theta_{(i)}$  – Plaisted and Peterson's mean variance component;  $\theta_i$  – Plaisted's GE variance component;  $S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}, S^{(6)}$  – Hühn's and Nassar and Hühn's nonparametric statistics;  $NP^{(1)}, NP^{(2)}, NP^{(3)}, NP^{(4)}$  – Hühn's nonparametric statistics; KR – Kang's rank-sum

учитывают среднее значение абсолютных ранговых различий в разных средах, дисперсию между рангами в испытываемых средах, сумму абсолютных отклонений относительно среднего значения рангов, сумму квадратов рангов для каждого генотипа относительно среднего значения. Стабильными считаются генотипы, если их ранги схожи во всех средах. Согласно полученным данным, по статистике  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$  образцы G3, G25, G40, G55 определены как наиболее стабильные. По статистическим показателям  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$  выделены G6, G25, G55, имеющие минимальные значения, что говорит о схожих рангах урожайности этих мутантов в разных средах.

Существуют еще четыре метода непараметрической статистики стабильности ( $NP^{(1-4)}$ ), основанные на рангах скорректированных средних значений генотипов в каждой среде. Низкие значения по статистике  $NP^{(1)}$  имели G3, G25, G54. Образцы G5, G16, G20, G26, G37, G53, G54, G55 были более стабильными по  $NP^{(2)}$ ,  $NP^{(3)}$  и  $NP^{(4)}$ .

Сумма рангов  $KR$ , предложенная М. С. Kang (1988) в качестве критерия оценки, одновременно использует урожайность и дисперсию стабильности  $\sigma_i^2$ , что позволяет выявить высокоурожайные и стабильные генотипы. Наименьшими значениями  $KR$  характеризовались G5, G20, G54. Присвоенные ранги по каждому показателю в сумме характеризуют генотипы по их общей стабильности и уровню получаемой урожайности. Из всех образцов меньшей суммой рангов ( $SR$ ) и средним значением суммы рангов ( $ASR$ ) в сочетании с относительно высокой средней урожайностью характеризовались многорядные образцы G16, G53, а также двурядный образец G3.

По результатам корреляционного анализа, сильная положительная связь отмечена между урожайностью и  $KA$ ,  $IS$  и  $b_p$ ;  $IS$  и  $KA$ ;  $\sigma_i^2$  и  $W_i^2$ ;  $\theta_i$  и  $\sigma_i^2$  ( $r = 1,00$ ),  $W_i^2$  ( $r = 1,00$ );  $S^{(2)}$  и  $S^{(1)}$  ( $r = 0,97$ ),  $S^{(3)}$  ( $r = 0,87$ ),  $S^{(1)}$  и  $S^{(3)}$  ( $r = 0,86$ );  $S^{(3)}$  и  $S^{(6)}$  ( $r = 0,77$ );  $NP^{(4)}$  и  $S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ ;  $NP^{(2)}$  и  $NP^{(3)}$  ( $r = 0,77-1,00$ ) (табл. 5).

Отрицательно коррелировали между собой  $\theta_{ij}$  и  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ ,  $\theta_i$  ( $r = -1,00$ ), а также ранговые показатели статистики  $S^{(6)}$ ,  $NP^{(2)}$ ,  $NP^{(3)}$ ,  $NP^{(4)}$ ,  $KR$  с урожайностью. Выявленные связи позволяют использовать наиболее информативные показатели для выявления генотипов с равномерным соотношением урожайности и стабильности.

### Заключение

По результатам многолетнего комплексного изучения 60 образцов голозерного ячменя проведена оценка стабильности урожайности и выявлены различия в ответной реакции растений на изменчивость факторов окружающей среды. При формировании урожайности наибольшее значение имели такие признаки, как масса зерна с колоса ( $r = 0,64$ ) и масса зерна с растения ( $r = 0,58$ ), с другими признаками связь была менее выражена. Достоверная взаимосвязь выявлена между массой 1000 зерен и продуктивной кустистостью ( $r = 0,67$ ), а также между массой зерна с колоса и массой зерна с растения ( $r = 0,70$ ).

Высокоурожайные образцы голозерного ячменя не отличались высокой стабильностью по годам, в то время как наиболее стабильными были менее урожайные образцы. Использование статистических методов позволило оценить реакцию генотипов на факторы внешней среды как в относительно благоприятные, так и в стрессовые годы. Отмечена сильная корреляция урожайности с коэффициентом адаптивности ( $r = 0,93$ ), индексом стабильности ( $r = 0,88$ ) и пластичностью ( $r = 0,85$ ), что поз-

воляет их использовать для отбора генотипов с более равномерным сочетанием урожайности и стабильности. С другими показателями сопряженность была менее выраженной, и все же их применение может способствовать отбору стабильных генотипов, без учета урожайности.

Относительно высокой урожайностью характеризовались многорядные образцы Местный (к-17948), (к-18071), N167 (к-11070), 'Омский Голозерный 2' (2539\*) (245,0–308,8 г/м<sup>2</sup>), и двурядные образцы Линия-1289 (к-29336), Ц-99-2837 (к-30796), 'Омский Голозерный 1' (2538\*) (177,9–269,5 г/м<sup>2</sup>), из которых большей стабильностью обладали Местный и N167, а также двурядный сорт 'Омский Голозерный 1'.

### References / Литература

- Aniskov N.I., Garis D.V. The pattern of inheritance and system of genetic control of productive tillage capacity in diallel crossing of hulless and chaffy barley varieties. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2008;2(40):26-30. [in Russian] (Анисков Н.И., Гарис Д.В. Характер наследования и системы генетического контроля продуктивной кустистости в диаллельных скрещиваниях голозерных и пленчатых разновидностей ячменя. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2008;2(40):26-30).
- Bai Y.X., Yao X.H., Yao Y.H., Wu K.L. Difference of traits relating to lodging resistance in hulless barley genotypes. *Scientia Agricultura Sinica*. 2019;52(2):228-238. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2019.02.004
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 6th ed. Moscow: Alyans; 2011. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. Москва: Альянс; 2011).
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- Federal State Statistics Service (Rosstat): [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики (Росстат): [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru/> [дата обращения: 29.06.2024].
- Finlay K.W., Wilkinson G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1963;14:742-754. DOI: 10.1071/AR9630742
- Francis T.R., Kannenberg L.W. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 1978;58(4):1029-1034. DOI: 10.4141/cjps78-157
- Geng L., Li M., Zhang G., Ye L. Barley: a potential cereal for producing healthy and functional foods. *Food Quality and Safety*. 2022;6:fyac012. DOI: 10.1093/fqsafe/fyac012
- Hühn M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*. 1990;47:189-194. DOI: 10.1007/BF00024241
- Kang M.S. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication*. 1988;16(1/2):113-115.
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniuyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоску-

- тов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Lukina K.A., Kovaleva O.N., Loskutov I.G. Naked barley: taxonomy, breeding, and prospects of utilization. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(6):524-536. DOI: 10.18699/VJGB-22-64
- Lyu Y., Ma S., Liu J., Wang X. A systematic review of highland barley: Ingredients, health functions and applications. *Grain and Oil Science and Technology*. 2022;5(1):35-43. DOI: 10.1016/j.gaost.2021.12.002
- Nassar R., Hühn M. Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*. 1987;43(1):45-53. DOI: 10.2307/2531947
- Plaisted R.L. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *American Potato Journal*. 1960;37:166-172. DOI: 10.1007/BF02855271
- Plaisted R.L., Peterson L.C. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*. 1959;36:381-385. DOI: 10.1007/BF02852735
- Pour-Aboughadareh A., Yousefian M., Moradkhani H., Poczai P., Siddique K.H.M. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. *Applications in Plant Sciences*. 2019;7(1):e01211. DOI: 10.1002/aps3.1211
- Pourkheirandish M., Komatsuda T. The importance of barley genetics and domestication in a global perspective, *Annals of Botany*. 2007;100(5):999-1008. DOI: 10.1093/aob/mcm139
- Raj R., Shams R., Pandey V.K., Dash K.K., Singh P., Bashir O. Barley phytochemicals and health promoting benefits: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;14:100677. DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100677
- Salamini F., Özkan H., Brandolini A., Schäfer-Pregl R., Martin W. Genetics and geography of wild cereal domestication in the near east. *Nature Reviews. Genetics*. 2002;3(6):429-441. DOI: 10.1038/nrg817
- Selyaninov G.T. To the methodology of agricultural climatology (K metodike selskohozyaystvennoy klimatografii). *Contributions to Agricultural Meteorology*. 1930;2(22):45-91. [in Russian] [Селянинов Г.Т. К методике сельскохозяйственной климатологии. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1930;2(22):45-91].
- Shukla G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*. 1972;29(2):237-245. DOI: 10.1038/hdy.1972.87
- Sidorenko V.S., Naumkin D.V., Kostromicheva V.A., Starikova Zh.V., Uhova F.V. Prospects of selection of the naked barley and oats in the Central Russia. *Legumes and Groat Crops*. 2016;1(17):78-83. [in Russian] [Сидоренко В.С., Наумкин Д.В., Костромичева В.А., Старикова Ж.В., Ухова Ф.В. Перспективы селекции голозерного ячменя и овса в Центральной России. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016;1(17):78-83].
- Singh J., Kumar S., Gangwar O.P., Kumar D., Kumar L., Lal C. et al. Genetic evaluation of hullless barley (*Hordeum vulgare*) genotypes for morpho-physiological traits and stripe rust resistance. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2024;94(2):129-134. DOI: 10.56093/ijas.v94i2.111208
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotech; 2023. [in Russian] [Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2023].
- Surin N.A., Kovrigina L.N. Characteristics of various forms of barley in connection with resistance to lodging. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2010;5(209):25-32. [in Russian] [Сурин Н.А., Ковригина Л.Н. Характеристика различных форм ячменя в связи с устойчивостью к полеганию. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2010;5(209):25-32].
- Thennarasu K. On certain non-parametric procedures for studying genotype – environment interactions and yield stability [dissertation]. New Delhi: IARI; 1995.
- Thomason W.E., Brooks W.S., Griffey C.A., Vaughn M.E. Hullless barley seeding rate effects on grain yield and yield components. *Crop Science*. 2009;49(1):342-346. DOI: 10.2135/cropsci2008.03.0174
- Udachin R.A., Golovchenko A.P. Method for assessing the ecological plasticity of wheat varieties (Metodika otsenki ekologicheskoy plastichnosti sortov pshenitsy). *Selektiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1990;(5):2-6. [in Russian] [Удачин Р.А., Головченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы. *Селекция и семеноводство*. 1990;(5):2-6].
- Verstegen H., Köneke O., Korzun V., von Broock R. The world importance of barley and challenges to further improvements. In: J. Kumlehn, N. Stein (eds). *Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 69. Biotechnological Approaches to Barley Improvement*. Berlin; Heidelberg: Springer; 2014. p.3-19. DOI: 10.1007/978-3-662-44406-1\_1
- Watt C., Zhou G., Angessa T.T., Moody D., Li C. A novel polymorphism in the 5' UTR of *HvDEP1* is associated with grain length and 1000-grain weight in barley (*Hordeum vulgare*). *Crop and Pasture Science*. 2020;71(8):752-759. DOI: 10.1071/CP20169
- Wricke G. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1962;47:92-96. [in German]
- Zang Y., Gong Q., Xu Y., Liu H., Bai H., Li N. et al. Production of conjoined transgenic and edited barley and wheat plants for *nud* genes using the CRISPR/SpCas9 system. *Frontiers in Genetics*. 2022;13:873850. DOI: 10.3389/fgene.2022.873850
- Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N. Association of morphological traits with lodging resistance in spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):32-40. [in Russian] [Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):32-40]. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40
- Zeng X., Bai L., Wei Z., Yuan H., Wang Y., Xu Q. et al. Transcriptome analysis revealed the drought-responsive genes in Tibetan hullless barley. *BMC Genomics*. 2016;17:386. DOI: 10.1186/s12864-016-2685-3
- Zhelesnov A.V., Kukoeva T.V., Zheleznova N.B. Naked barley: origin, distribution, and prospects of utilization. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(2):286-297. [in Russian] [Железнов А.В., Кукоева Т.В., Железнова Н.Б. Ячмень голозерный: происхождение, распространение и перспективы использования. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(2):286-297].
- Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Methods of detecting potential productivity and adaptability in cul-

tivars and breeding forms of winter wheat according to their 'yield' indicator (Metodika vyavleniya potentsialnoy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu "urozhaynosti"). *Selektsiya i semenovodstvo* = *Plant Breeding and Seed Production*. 1994;(2):3-6. [in Russian] (Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной

продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6).

Zhou Y., Zhou G., Broughton S., Westcott S., Zhang X, Xu Y. et al. Towards the identification of a gene for prostrate tillers in barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS One*. 2018;13(2): e0192263. DOI: 10.1371/journal.pone.0192263

---

#### Информация об авторе

**Николай Валерьевич Тетяников**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, 115598 Россия, Москва, ул. Загорьевская, 4, tetyannikovnv@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8496-5365>

#### Information about the author

**Nikolay V. Tetyannikov**, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, 4 Zagoryevskaya St., Moscow 115598, Russia, tetyannikovnv@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8496-5365>

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 13.01.2025; принята к публикации 09.02.2025. The article was submitted on 12.08.2024; approved after reviewing on 13.01.2025; accepted for publication on 09.02.2025.