

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Научная статья

УДК 633.16:631.527

EDN GLCPJG

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-5-15>**Белковые маркеры в селекции адаптивных сортов ячменя
селекции Федерального исследовательского центра «Немчиновка»****Любовь Михайловна Ерошенко¹, Николай Анатольевич Ерошенко²,
Иван Александрович Дедушев³, Виктор Алексеевич Новоселов⁴,
Олег Викторович Котов⁵**^{1, 2, 3, 4, 5} Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

Московская область, Одинцово, Россия

¹ eroshenko.lm@yandex.ru, ² eroshenko.lm@yandex.ru, ³ dedushev_95@mail.ru,⁴ vitya.novosyolov@mail.ru, ⁵ oleg79002230821@yandex.ru

Аннотация. Исследование проводили с целью изучения генетического разнообразия ярового ячменя селекции Федерального исследовательского центра «Немчиновка» по показателям адаптивности с использованием белковых маркерных систем, в качестве которых применялись электрофоретические спектры гордеина. Изучение полиморфизма гордеин-кодирующих локусов позволило выявить 9 вариантов блоков компонентов, контролируемых аллелями локуса *Hrd A*; 10 вариантов – аллелями локуса *Hrd B* и 3 варианта – аллелями локуса *Hrd F*. По частоте встречаемости доминировали аллели *Hrd A2* (44,2 %), *Hrd A23* (23,2 %), *Hrd B8* (29,3 %), *Hrd B25* (24,4 %), *Hrd F1* (35,0 %), *Hrd F2* (45,0 %), а в селекции на повышение адаптивного потенциала имели преимущество варианты *Hrd A4*, *Hrd B45*, *Hrd B164*, *Hrd F3*. В результате анализа электрофоретических спектров гордеинов *Hrd ABF* установлено, что основное направление отбора высокоадаптивных форм в экологических условиях Центрального Нечерноземья, с различной частотой встречаемости в сортообразцах ячменя, происходило в сторону вариантов формул 2.25.1, 23.19.1, 23.8.2, 2.8.2, 18.8.2, 2.45.2, 23.164.3, 2.45.3, 4.164.3. Отмечено 10 групп с идентичными спектрами гордеина. Наиболее распространенный тип спектра имел формулу гордеина 2.25.1. Выявлены варианты формул 2.45.2, 2.45.3, 23.164.3, 4.164.3, сопряженные с высоким уровнем урожайности генотипов. Учитывая адаптивный характер полиморфизма гордеинов, использование белковых маркеров сортов, превысивших показатель продуктивности стандартного сорта Надежный на 4,22–6,25 %, позволит значительно ускорить селекционную работу по выведению новых сортов ячменя.

Ключевые слова: ячмень яровой, сорта, полиморфизм гордеинов, белковые маркеры, адаптивность

Для цитирования: Ерошенко Л. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Новоселов В. А., Котов О. В. Белковые маркеры в селекции адаптивных сортов ячменя селекции Федерального исследовательского центра «Немчиновка» // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 2. С. 5–15. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-2-5-15>.

Original article

**Protein markers in the selection of adaptive barley varieties
bred by the Federal Research Center "Nemchinovka"****Lyubov M. Eroshenko¹, Nikolay A. Eroshenko², Ivan A. Dedushev³,
Victor A. Novosyolov⁴, Oleg V. Kotov⁵**^{1, 2, 3, 4, 5} Federal Research Center "Nemchinovka", Moscow region, Odintsovo, Russian Federation

¹ eroshenko.lm@yandex.ru, ² eroshenko.lm@yandex.ru, ³ dedushev_95@mail.ru,
⁴ vitya.novosyolov@mail.ru, ⁵ oleg79002230821@yandex.ru

Abstract. The genetic diversity of spring barley was studied according to adaptability indicators using protein marker systems, for which electrophoretic spectra of hordein were applied. Spring barley was bred at Federal Research Center "Nemchinovka". The study of the polymorphism of hordein-coding loci made it possible to identify 9 variants of component blocks controlled by alleles of the *Hrd A* locus; 10 variants controlled by alleles of the *Hrd B* locus, and 3 variants controlled by alleles of the *Hrd F* locus. According to the occurrence frequency the following alleles were dominant: *Hrd A2* (44,2%), *Hrd A23* (23,2%), *Hrd B8* (29,3%), *Hrd B25* (24,4%), *Hrd F1* (35,0%), *Hrd F2* (45,0%). Variants *Hrd A4*, *Hrd B45*, *Hrd B164*, *Hrd F3* were found to be the most suitable for future adaptation potential's increase. Based to the results of the analysis of electrophoretic profiles of *Hrd ABF* hordeins, the main tendency of selection of highly adaptive forms in the ecological conditions of the Central Non-Black Earth region, with variable occurrence stability in barley varieties, was stated for the variants of formulas 2.25.1, 23.19.1, 23.8.2, 2.8.2, 18.8.2, 2.45.2, 23.164.3, 2.45.3, 4.164.3. Ten groups with identical hordein profiles were marked. The most common registered hordein profile was demonstrated by a formula of hordein 2.25.1. Formula types matched with high level of crops' yield (e. g. 2.45.2, 2.45.3, 23.164.3, 4.164.3) were discovered. Considering the adaptive pattern of hordein polymorphism, an acceleration of creating the new barley kinds by using electrophoresis hordein profiles is proved. Nadyozhnyi spring barley kind was used as a source material, demonstrating the crops' productivity index increase by 4,22–6,25%.

Keywords: spring barley, varieties, hordein polymorphism, hordein markers, adaptivity

For citation: Eroshenko L. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Novosyolov V. A., Kotoch O. V. Protein markers in the selection of adaptive barley varieties bred by the Federal Research Center "Nemchinovka". *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;2:5–15 (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-2-5-15>.

Введение. Ячмень, являясь древнейшей культурой, занимает одно из ведущих мест в мировом производстве зерна, уступая по валовому сбору и посевным площадям только рису, пшенице и кукурузе, что обусловило его использование в пищевой, кормовой и пивоваренной промышленности. Особенностью развития селекции данной культуры на современном этапе считается создание высокопродуктивных с повышенной адаптивной способностью сортов ярового ячменя, способных обеспечивать конкурентное преимущество в производстве. Разработка и исполнение селекционных программ по принципам адаптивной селекции дает возможность создавать сорта ячменя для конкретного региона, включая вариabельность погоднo-климатических условий и действия лимитирующих факторов среды [1, 2].

Важнейшим критерием адаптивности отбираемых генотипов в селекционном процессе при этом является способность стабильно формировать более высокую относительно эталонных сортов урожайность при достаточном разнообразии погодных и почвенно-климатических условий возделывания [3]. Именно поэто-

му для целенаправленного, своевременного и качественного решения важнейших селекционных задач необходимы эффективные инновационные методы, обеспечивающие их решение наиболее оптимальным образом.

При создании новых сортов, наряду с традиционными способами селекции, эффективными методами оценки хозяйственно-ценных признаков селекционного материала являются биотехнологические, среди которых большое значение имеет применение системы генетических маркеров, в качестве которых часто выступают запасные спирторастворимые белки зерновки – проламины. Спирторастворимые белки зерна ячменя – гордеины характеризуются уникальным разнообразием и по своей информативности не уступают генетическим молекулярным маркерам [4–6].

Современный биохимический метод электрофоретического анализа запасных белков зерен ячменя дает возможность в лабораторных условиях осуществлять сортовую идентификацию и широко используется в селекционных программах для отбора определенных генотипов [7, 8].

Известно, что аллельные варианты блоков компонентов проламинов имеют жестко детерминированные связи с адаптивными свойствами генотипов, а также маркируют важные хозяйственные признаки, что позволяет выделять ценные ассоциации генов и использовать их в селекции для выявления перспективных форм, сочетающих высокую урожайность и устойчивость к факторам окружающей среды [9, 10]. При этом спектры генетически близких сортов могут быть одинаковыми, что по всему является либо следствием общности происхождения сортов, или же экологического фактора формирования адаптивного морфотипа [11].

Изучение генетического разнообразия номеров экологического сортоиспытания по белковым маркерам позволяет выделить часто встречающиеся аллели, преобладающие и уникальные варианты генетических формул особо ценных генотипов, что может служить дополнительным критерием оценки селекционной ценности различных форм ячменя при отборе на повышение адаптивного потенциала сортов [8, 12].

Цель работы – изучение генетического разнообразия номеров конкурсного сортоиспытания селекции Федерального исследовательского центра «Немчиновка» по белковым маркерам с целью использования этих сведений в селекции адаптивных форм ячменя.

Материалы и методы исследований. Исходным материалом для исследований послужили 18 сортов и 22 селекционные линии ярового ячменя селекции Федерального исследовательского центра (ФИЦ) «Немчиновка».

С целью определения их адаптивного потенциала было проведено экологическое испытание номеров конкурсного сортоиспытания в двух пунктах, находящихся в различных почвенно-климатических условиях: ФИЦ «Немчиновка» (Московская область); Институт семеноводства и агротехнологий (филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ) (Рязанская область).

Погодные условия в годы исследований (2021–2023 гг.) были различными по температурному режиму и количеству выпавших осадков. К умеренно благоприятному по влагообеспеченности отнесен

2023 г. Засушливым режимом в течение всего периода вегетации характеризовались 2021, 2022 гг.

Электрофорез гордеинов (*Hrd*) выполнен в 13-процентном крахмальном геле в присутствии 3 М мочевины в алюминий-лактатном буфере с pH 3,1 по методике, утвержденной Научно-техническим советом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследуемый материал представлен 36-ю гомогенными и 4-мя гетерогенными по одному или двум блокам гордеинов *Hrd A*, *Hrd B* и *Hrd F* селекционными образцами ярового ячменя.

В результате проведенного электрофоретического анализа гордеина в крахмальном геле у исследованных гомогенных селекционных форм было выявлено восемь вариантов блоков компонентов, контролируемых аллелями локуса *Hrd A* (*A2*, *A4*, *A12*, *A18*, *A21*, *A23*, *A28*, *A126*); десять вариантов – аллелями локуса *Hrd B* (*B1*, *B6*, *B8*, *B19*, *B2*, *B25*, *B45*, *B67*, *B164*, *B129*) и три варианта – аллелями локуса *Hrd F* (*F1*, *F2*, *F3*). В локусах гетерогенных номеров конкурсного сортоиспытания зафиксированы варианты блоков компонентов *Hrd A* (*A2*, *A18*, *A21*, *A32*), *Hrd B* (*B6*, *B8*, *B25*, *B32*), *Hrd F* (*F1*, *F2*, *F3*).

Современный сортимент ярового ячменя различных регионов России различается разнообразием по вариантам блока *Hrd A*, который, по мнению А. А. Новиковой, обеспечивает экологическую составляющую устойчивости к конкретным почвенно-климатическим условиям возделывания [13]. Исследования полиморфизма запасных белков с помощью электрофореза показали, что среди перспективных форм ярового ячменя селекции Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства по блоку *Hrd A* наиболее часто встречались аллели *A2*, *A12*, *A18*, *A23* [10, 14].

В результате идентификации аллелей локуса *Hrd A* было установлено, что доминирующим аллелем в сортообразцах конкурсного сортоиспытания селекции ФИЦ «Немчиновка» был также вариант *A2*, который был обнаружен в спектрах 46,5 % номеров. На втором месте по распространенности был аллель *A23* (23,2 %). Частота встречаемости других аллелей

этого локуса находилась в пределах от 2,3 до 9,3 % (табл. 1).

Сопоставление результатов оценки данных урожайности селекционных номеров, различающихся по вариантам блоков компонентов, с показателями адаптивной способности сорта Надежный, являющегося стандартом в различных областях Центрального федерального округа России, позволило оценить адаптивную и селекционную значимость аллелей гордеинов для агроэкологических условий данного региона (табл. 2).

Сравнительный анализ обнаруженных аллелей локуса *Hrd A* выявил вариант *A4*, сортообразцы которого имели преимущество над стандартом по среднесортному значению урожайности (7,23 против 6,87 т/га), определяющему общую адаптивную способность; среднесортным величинам продуктивности в благоприятных (8,67 против 8,23 т/га) и лимитированных (5,43 против 5,39 т/га) условиях, а также по показателю уровня стабильности сорта (104,13 %) относительно стандарта, учитывающего величину и стабильность урожайности.

Благодаря включению широко известного сорта более ранней селекции Эльф, а также сортов западноевропейской селекции Kangoo, Alicia, обладающих аллелями *Hrd B45* и *Hrd B164*, в родословную создаваемых селекционных форм, в современных экологических условиях

Центрального региона Нечерноземной зоны определились две группы сортообразцов, характеризующиеся высокими значениями адаптивной способности. Среднесортные значения показателей номеров конкурсного испытания выделенных групп с селекционно-ценными аллельными вариантами *Hrd B45* и *Hrd B164* превосходили показатель уровня стабильности стандартного сорта Надежный на 2,86–3,42 %; параметр среднего значения урожайности – на 1,46–2,76 %; минимальную урожайность – на 0,56–1,11 %, максимальную урожайность – на 0,44–0,73 %.

Нельзя не отметить, что сортообразцы с вариантами *F1* и *F2*, встречающиеся с высокой частотой в спектрах гордеинов номеров конкурсного испытания, характеризовались сравнительно низкими значениями среднесортных величин урожайности в благоприятных условиях, и, судя по показателю уровня стабильности сорта (81,27–83,7 %) были неустойчивы к неблагоприятным факторам среды.

Наряду с этим, в условиях региона отбор сортов и перспективных линий, согласно оценкам показателей среднесортной урожайности, особенно благоприятствовал генотипам с аллелем *Hrd F3*, который обеспечил селекционным номерам лучшую адаптивность в экологическом сортоиспытании. Таким образом, в селекции на повышение адаптивного потенциала обозначилась перспектива наличия

Таблица 1 – Встречаемость аллелей локусов гордеинов *Hrd A*, *Hrd B*, *Hrd F* в селекционных номерах конкурсного сортоиспытания

Table 1 – Frequency of alleles of hordein loci *Hrd A*, *Hrd B*, *Hrd F* in selection numbers of competitive variety testing

<i>Hrd A</i>	Количество, шт.	Процент	<i>Hrd B</i>	Количество, шт.	Процент	<i>Hrd F</i>	Количество, шт.	Процент
<i>A2</i>	19	44,2	<i>B1</i>	1	2,4	<i>F1</i>	14	35,0
<i>A4</i>	2	4,7	<i>B6</i>	3	7,3	<i>F2</i>	18	45,0
<i>A12</i>	1	4,7	<i>B8</i>	12	29,3	<i>F3</i>	8	20,0
<i>A18</i>	4	9,3	<i>B19</i>	4	9,8	–	–	–
<i>A21</i>	4	9,3	<i>B21</i>	1	2,4	–	–	–
<i>A23</i>	10	23,2	<i>B25</i>	10	24,4	–	–	–
<i>A28</i>	1	2,3	<i>B45</i>	4	9,8	–	–	–
<i>A32</i>	1	2,3	<i>B67</i>	1	2,4	–	–	–
<i>A126</i>	1	2,3	<i>B164</i>	4	9,8	–	–	–
–	–	–	<i>B209</i>	1	2,4	–	–	–

Таблица 2 – Параметры адаптивности урожайности сортов и селекционных линий ярового ячменя, различающихся по аллелям локусов *Hrd A*, *Hrd B*, *Hrd F* (2021–2023 гг.)Table 2 – Adaptability parameters of yield of varieties and breeding lines of spring barley, differing in alleles of loci *Hrd A*, *Hrd B*, *Hrd F* (2021–2023)

Варианты аллелей	Урожайность, т/га			Показатели адаптивности	
	средняя	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>Cv</i> , %	ПУСС, %
Надежный, стандарт	6,87	5,39	8,23	14,97	100,00
<i>Hrd A2</i>	6,56	5,18	7,83	15,06	90,79
<i>Hrd A4</i>	7,23	5,43	8,67	15,94	104,13
<i>Hrd A12</i>	6,26	5,05	7,65	18,00	69,21
<i>Hrd A18</i>	6,54	4,96	7,86	15,58	86,98
<i>Hrd A21</i>	5,77	4,90	6,67	13,32	79,36
<i>Hrd A23</i>	6,63	5,19	8,18	15,45	90,16
<i>Hrd A28</i>	6,23	5,04	8,15	19,19	64,13
<i>Hrd A126</i>	6,43	4,74	7,45	17,78	73,65
<i>Hrd B1</i>	6,90	5,47	8,16	14,65	91,11
<i>Hrd B6</i>	5,76	4,55	6,50	13,12	80,32
<i>Hrd B8</i>	6,42	4,94	7,67	15,92	82,22
<i>Hrd B19</i>	6,54	5,20	7,91	14,63	92,70
<i>Hrd B21</i>	6,26	5,05	7,65	17,99	69,21
<i>Hrd B25</i>	6,39	4,98	7,89	16,34	76,36
<i>Hrd B45</i>	6,97	5,42	8,29	14,57	102,86
<i>Hrd B67</i>	6,36	4,32	7,46	20,13	63,81
<i>Hrd B164</i>	7,06	5,45	8,76	15,30	103,42
<i>Hrd B209</i>	6,77	5,92	8,01	11,45	126,98
<i>Hrd F1</i>	6,36	4,73	7,14	15,78	81,27
<i>Hrd F2</i>	6,46	4,51	7,67	15,90	83,17
<i>Hrd F3</i>	6,88	5,16	8,38	15,78	95,23
НСР ₀₅	0,33	—	—	—	—
Примечания: <i>Cv</i> – коэффициент вариации; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта.					

в селекционных формах в условиях Центрального региона Нечерноземной зоны аллелей *A4* локуса *Hrd A*; *B45*, *B164* локуса *Hrd B* и *F3* локуса *Hrd F*.

Разнообразие в общей выборке гомогенных селекционных номеров различных периодов и направлений селекции включало 18 вариантов формул *Hrd ABF*. Шесть образцов этого набора характеризовались вариантами 2.25.1; четыре образца имели генетическую формулу гордеина 23.8.2; две группы в своем составе включали по три номера с идентичными электрофореграммами гордеина 2.8.2 и 21.25.1; шесть групп имели по два образ-

ца с одинаковыми генетическими формулами гордеина 2.45.2, 2.6.2, 4.164.3, 18.8.2, 23.19.1, 23.164.3. Формулы 2.19.1, 2.45.3, 2.209.2, 12.21.1, 18.67.3, 23.1.3, 28.19.3, 126.8.2, встретившиеся в наборе изучаемых селекционных номеров неоднократно, принадлежали в основном к новейшим селекционным формам. Образцы, характеризующиеся гетерогенностью, имели биотипы с формулами 32.45.3, 21.8.2, 2.25.1, 18.25.1, 23.6.2 (табл. 3).

Группа образцов, наделенная формулой 2.25.1, включала гомогенные сорта и линии Нур, Любояр, Зоран, 119/9-16 h 283, 119/11-17 h 283, 85/3-16 1149, а также гете-

Таблица 3 – Оценка сортов и перспективных линий в экологическом сортоиспытании (2021–2023 гг.)**Table 3 – The estimation of varieties and promising lines in ecological variety testing (2021–2023)**

Сорт, линия	Формула <i>Hrd ABF</i>	Урожайность, т/га		
		средняя	<i>min</i>	<i>max</i>
Знатный (10/3-09 h 597(Яромир × Ханаду)	2.8.2	6,56	4,89	8,16
31/3-19 h 1433(Бикам × 60/2-09 h 714)	2.8.2	6,58	4,83	8,28
Сударь	2.8.2	6,04	3,81	7,53
Нур (Верас × Московский 3)	2.25.1	6,20	4,69	7,70
Златояр (Нур × Якобинец)	2.25.1	6,19	5,01	8,07
Любояр (Нур × 20/5-05 h 62)	2.25.1	6,66	5,05	8,24
Зоран (Нур × Якобинец)	2.25.1	6,86	5,11	8,10
85/3-16 h1149 (Quench × 112/3-02 h 2362 (Нур × МИК 1)	2.25.1	6,60	5,16	8,11
119/9-16 h 283 (Нур × Якобинец)	2.25.1	6,63	5,09	7,90
119/11-17 h 283 (Нур × Якобинец)	2.25.1	6,66	4,89	7,9 4
Надежный (Annabelle × Эльф)	2.45.2	6,87	5,39	8,23
61/1-18 h 1340 (Добрый × Надежный)	2.45.2	7,30	5,58	8,13
Эрудит (Kristaps × Надежный)	2.45.3	7,18	5,47	8,26
Милан (Маентак × Надежный)	18.8.2	6,62	5,18	8,01
Белозар (Маентак × Зазерский 85)	18.8.2	6,63	5,33	8,06
94/1-17 h 1359 (Stratus × 140/6-09 h 745)	23.8.2.	6,49	5,17	7,85
89/5-19 h 1413 (Бикам × Знатный)	23.8.2	6,58	5,39	7,97
ДГС 136 (Taiga × 23 h 343(Кредит × ДГС 1421)	23.8.2	6,03	5,03	8,05
Nord (к-31402)	23.8.2	6,30	5,15	7,22
Рафаэль (Ханаду × Московский 121 × Highproly)	23.19.1	6,73	5,11	8,07
60/3-16 h 1176(Kangoo × 27/2-09 h 648)	23.19.1	6,62	5,03	8,02
88/3-16 h 1156 (Kangoo × 51/2-07 h 354)	23.164.3	6,96	5,22	10,03
58/4-15 h1156 (Kangoo × 51/2-07 h 354)	23.164.3	6,81	5,29	8,16
Добродей (Alicia × Надежный)	4.164.3	7,16	5,41	8,08
72/1-19 h 1324 (Kangoo × Надежный)	4.164.3	7,30	5,88	8,76
НСР ₀₅	–	0,39	–	–

рогенный по гордеин-кодирующему локусу *Hrd A* сорт Златояр.

Заслуживает внимание тот факт, что наличие формулы гордеина 2.25.1 было часто связано с повышенной продуктивностью и содержанием белка в зерне красноярских селекционных линий, созданных по программе адаптивной селекции [14]. Среди сортов ФИЦ «Немчиновка» такая формула впервые была обнаружена у сорта Нур, включенного по занимаемым в производстве площадям в рейтинг 10 сортов лидеров ярового ячменя. Важно под-

черкнуть, что именно с участием этого сорта были созданы другие высокопродуктивные сорта и селекционные линии этой группы, в основном зернофуражного направления, и три из них были отобраны из одной комбинации скрещивания.

По величине средней урожайности (6,86 т/га), полученной в экологическом испытании, выделен сорт Зоран, переданный на государственное испытание, а по потенциалу продуктивности (8,24 т/га), определенному в благоприятных условиях, – сорт Любояр, районированный по Северо-За-

падному, Центральному и Волго-Вятскому регионам. Повышенной устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, согласно значениям минимальной урожайности (5,16 т/га), обладала перспективная линия 85/3-16 1149.

Вторая по численности группа сортообразцов с формулой 23.8.2, состоящая из четырех номеров, в том числе селекционных линий 94/1-17 h 1359, 89/5-19 h 1413, ДГС h 136 и коллекционного образца немецкой селекции (к-31402) под названием Nord, характеризовалась относительно невысоким среднесортным уровнем урожайности (6,35 т/га).

Следует добавить, что идентичная формула гордеина по данным Института общей генетики имени Н. И. Вавилова наблюдалась у сорта свердловской селекции Бином и белорусского сорта Атаман, а также отождествляла генотипы германских и французских сортов Beatrix, Pasadena, Avalon [15].

Превысив значения показателей урожайности образца Nord на 0,24–0,75 т/га, в контрастных погодных условиях экологического сортоиспытания в этой группе лидировала перспективная селекционная линия 89/5-19 h 1413, полученная от скрещивания отечественных сортов Бикам и Знатный. В этой связи можно отметить, что комбинация аллелей с формулой гордеина 23.8.2 также перспективна в селекции высокоадаптивных форм.

Сорта более ранних периодов районирования и различных направлений использования (Раушан, Владимир, Московский 86), характеризующиеся генетической формулой гордеина 21.25.1, благодаря высокой засухоустойчивости обладали способностью формировать стабильные урожаи в различных условиях возделывания. Заслуживает внимание и тот факт, что в экстремальных условиях засухи указанные сорта имеют преимущество над другими генотипами, и до сих пор занимают доминирующее положение в производстве.

Определена группа образцов с одинаковыми спектрами гордеина 2.8.2, которая включала сорта Сударь, Знатный и линию 31/3-19 h 1433. Похожая формула гордеина была отмечена у сортов, районированных во многих регионах Российской Федерации, в различные годы зани-

мавших существенные посевные площади в производстве. К числу таких генотипов относятся сорта Дальневосточного (Амур, Приморский, Русь), Сибирского (Абалак, Сигнал, Омский голозерный 2), Уральского (Сонет, Челябинский 1, Челябинский 99) федеральных округов. Она также зафиксирована у сортов Самарской (Агат, Батик), Белгородской (Осколец) и Кировской (Джин) областей. Относительно высокая встречаемость идентичных аллельных комбинаций указывает на адаптивную направленность отбора таких генотипов [9, 11].

В почвенно-климатических условиях Московской и Рязанской областей это подтверждено высокой экологической значимостью выделенного районированного сорта Знатный и перспективной линии 31/3-19 h 1433.

Наиболее близкими к оптимальной модели адаптивного сорта для центра Нечерноземья были группы сортообразцов, зарегистрированные по двум одинаковым формулам гордеина 2.45.2, 4.164.3, 18.8.2, 23.19.1, 23.164.3. Это районированные сорта Надежный, Рафаэль, Милан, Белозар, перспективные линии 61/1-18 h 1340, 60/3-16 h 1176, 88/3-16 h 1156, 58/4-15 h 1156, 72/1-19 h 1324. При этом наилучшая способность эффективно использовать биоклиматический потенциал региона выявлена у сорта Добродей и селекционных линий 61/1-18 h 1340, 88/3-16 h 1156, 72/1-19 h 1324, которые характеризовались формулами 2.45.2, 4.164.3, 23.164.3. В благоприятных условиях высокая прибавка урожайности (0,53–1,80 т/га) по отношению к стандарту отмечена у линий 88/3-16 h 1156 и 72/1-19 h 1324. А возможность обеспечивать максимальный средний урожай во всей совокупности сред и минимально снижать продуктивность в худших условиях возделывания зафиксирована у сорта Добродей и селекционных линий 61/1-18 h 1340, 72/1-19 h 1324, превысивших показатели стандарта соответственно на 0,29–0,43 и 0,19–0,49 т/га.

Приведенные данные урожайности экологического сортоиспытания показали, что среди уникальных генотипов по гордеин-кодирующим локусам высокой селекционной ценностью характеризовался новый сорт пивоваренного ячменя Эрудит с формулой гордеина 2.45.3. Наиболее

удачная комбинация вариантов блоков компонентов, сопряженных с показателями адаптивности в сравнении с сортом Надежный с формулой 2.45.2, обусловила его преимущество над стандартом по среднему значению урожайности на 7,13 %.

Заключение. В результате электрофоретического анализа гордеина номеров конкурсного сортоиспытания установлен высокий уровень межсортового полиморфизма по локусам *Hrd A*, *Hrd B*, *Hrd F*.

Идентификация вариантов блоков компонентов этих локусов выявила часто встречающиеся аллели в каждом локусе.

Оценка параметров адаптивности урожайности сортов и селекционных линий ярового ячменя, различающихся по аллелям локусов, свидетельствовала в пользу адаптивного преимущества вариантов аллелей *A2*, *A4*, *A23* локуса *Hrd A*;

B45, *B16*, *B8*, *B25* локуса *Hrd B*, а также *F3* локуса *Hrd F*.

Обнаруженная высокая частота встречаемости образцов с совпадающими спектрами проламинов во многом обусловлена адаптивным характером распределения аллелей гордеин-кодирующих локусов в различных почвенно-климатических условиях региона.

Сравнительный анализ данных урожайности селекционных номеров с показателями адаптивной способности стандартного сорта Надежный выделил новейшие сорта Эрудит, Добродей, а также линии 61/1-18 h 1340, 88/3-16 h 1156, 72/1-19 h 1324. Особо ценные варианты формул гордеинов 2.45.2, 2.45.3, 23.164.3, 4.164.3 этих генотипов могут стать ориентирами при отборе селекционных форм с высоким адаптационным потенциалом.

Список источников

1. Баган А. В., Барат Ю. М. Экологическая пластичность сортов ярового ячменя по урожайности и качеству // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 56–59. EDN OTCMOC.
2. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В. [и др.]. Ретроспективный анализ адаптивных свойств сортов ячменя селекции ФИЦ «Немчиновка» // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (4). С. 485–494. EDN SNHYUF.
3. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцов Д. П. Анализ показателей адаптивности сортов и линий ярового ячменя в экологическом сортоиспытании // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 222–231. EDN WFQBII.
4. Богданов В. В., Чуслин А. А., Онуфриенок Т. В. Динамика изменения генетического состава гордеинов ярового ячменя красноярской селекции // Аграрный научный журнал. 2021. № 1. С. 12–16. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i1lpp12-16>. EDN DFAZZQ.
5. Dakir El-H., Ruiz M.-L., Garcia P., de la Vega P. Genetic variability evaluation in Moroccan collection of barley, *Hordeum vulgare* L., by means of storage proteins and RAPDs // Genetic Resources and Crop Evolution. 2002. Vol. 49. P. 619–631. <https://doi.org/10.1023/A:1021228730714>.
6. Cai G., You L., Li X., Wu D., Lu J. Cultivar discrimination/segregation of representative Australian malting barley by quantitative real-time PCR using seed hordein marker // Journal of the Institute of Brewing. 2016. Vol. 122. No. 4. P. 705–705. <https://doi.org/10.1002/jib.367>.
7. Клименков Ф. И., Градсков С. М., Клименкова И. Н., Кузьмина Н. П., Ворончихин В. В. Использование метода электрофореза в практике испытательных лабораторий в области семеноводства сельскохозяйственных культур // Вестник аграрной науки. 2021. № 6 (93). С. 73–78. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.6.73>. EDN RJXJLP.
8. Поморцев А. А., Лялина Е. В., Терешенко Н. А., Болдырев С. В., Яковлева Е. Ю., Березкин А. Н. [и др.]. Генетические маркеры в лабораторном сортовом контроле ячменя // Генетика. 2021. Т. 57. № 9. С. 1054–1061. <https://doi.org/10.31857/S0016675821090101>.
9. Любимова А. В., Еремин Д. И. Анализ закономерностей распределения аллелей авенин-кодирующих локусов у сортов овса посевного отечественной селекции // Вестник

Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 11 (152) С. 30–38. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-11-30-38>. EDN QLFXKG.

10. Зобова Н. В., Сурин Н. А., Герасимов С. А., Чуслин А. А., Онуфриенко Т. В. Спектры проламинов в агроэкологической оценке коллекционного материала ячменя // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 45–47. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10511>. EDN XROGYX.

11. Poets A. M., Fang Z., Clegg M. T., Morrell P. L. Barley landraces are characterized by geographically heterogeneous genomic origin // Genome Biology. 2015. Vol. 16. No. 1. P. 173. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0712-3>.

12. Chesnokov Yu. V., Kosolapov V. M., Savchenko I. V. Morphologic genetic markers for plants // Russian Journal of Genetics. 2020. Vol. 56. No. 12. P. 1406–1415. <https://doi.org/10.1134/S1022795420120042>.

13. Новикова А. А., Богданова О. В. Возможности маркер-ориентированной селекции для создания сортов ячменя, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 138–148. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-1-138>. EDN JOFQCE.

14. Сурин Н. А., Зобова Н. В., Ляхова Н. Е., Нешумаева Н. В., Плеханова Л. В., Чуслин А. А. [и др.]. Источники ценных признаков в селекции ячменя на адаптивность // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 6. С. 36–40. EDN WJXNLV.

15. Поморцев А. А., Лялина Е. В. Идентификация и оценка сортовой чистоты семян ячменя методом электрофоретического анализа запасных белков зерна: теория вопроса, методика электрофореза, каталог электрофореграмм современных сортов ячменя, допущенных к использованию в Российской Федерации : монография. М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2003. 85 с. EDN ZEWCJO.

References

1. Bagan A. V., Barat Yu. M. Ecological plasticity of spring barley kinds' estimation by indexes of crops' yield and grain quality. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2019;4:56–59. EDN OTCMOC (in Russ.).

2. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V. [et al.]. Retrospective analysis of adaptive properties of barley varieties bred by Federal Research Center "Nemchinovka". *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2021;22(4):485–494. EDN SNHYUF (in Russ.).

3. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2022;4(32):222–231. EDN WFQBII (in Russ.).

4. Bogdanov V. V., Chuslin A. A., Onufrienok T. V. Dynamics of changes in genetic composition of spring barley gordeins Krasnoyarsk selection. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021;1:12–16. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i1l1pp12-16>. EDN DFAZZQ (in Russ.).

5. Dakir El-H., Ruiz M.-L., Garcia P., de la Vega P. Genetic variability evaluation in Moroccan collection of barley, *Hordeum vulgare* L., by means of storage proteins and RAPDs. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2002;49:619–631. <https://doi.org/10.1023/A:1021228730714>.

6. Cai G., You L., Li X., Wu D., Lu J. Cultivar discrimination/segregation of representative Australian malting barley by quantitative real-time PCR using seed hordein marker. *Journal of the Institute of Brewing*, 2016;122;4:705–705. <https://doi.org/10.1002/jib.367>.

7. Klimenkov F. I., Gradskov S. M., Klimenkova I. N., Kuzmina N. P., Voronchikhin V. V. The use of the electrophoresis method in the practice of testing laboratories in the field of seed production of agricultural crops. *Vestnik agrarnoi nauki*, 2021;6(93):73–78. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.6.73>. EDN RJXJIP (in Russ.).

8. Pomortsev A. A., Lyalina E. V., Tereshchenko N. A., Boldyrev S. V., Yakovleva E. Yu., Berezkin A. N. [et al.]. Genetic markers in laboratory variety control of barley. *Genetika*, 2021;57;9:1054–1061. <https://doi.org/10.31857/S0016675821090101> (in Russ.).
9. Lyubimova A. V., Eremin D. I. The analysis of regularities of distribution of alleles of avenin-coding loci in domestic selection oat varieties. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019;11(152):30–38. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-11-30-38>. EDN QLFXKG (in Russ.).
10. Zobova N. V., Surin N. A., Gerasimov S. A., Chuslin A. A., Onufrienok T. V. Spectra of prolamines in agroecological evaluation of the collection barley. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018;32;5:45–47. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10511>. EDN XROGYX (in Russ.).
11. Poets A. M., Fang Z., Clegg M. T., Morrell P. L. Barley landraces are characterized by geographically heterogeneous genomic origin. *Genome Biology*, 2015;16;1:173. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0712-3>.
12. Chesnokov Yu. V., Kosolapov V. M., Savchenko I. V. Morphologic genetic markers for plants. *Russian Journal of Genetics*, 2020;56;12:1406–1415. <https://doi.org/10.1134/S1022795420120042>.
13. Novikova A. A., Bogdanova O. V. Marker-oriented selection capabilities for creating barley varieties resistant to biotic and abiotic factors (review). *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2021;104;1:138–148. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-1-138>. EDN JOFQCE (in Russ.).
14. Surin N. A., Zobova N. V., Lyakhova N. E., Neshumaeva N. V., Chuslin A. A., Plekhanova L. V. [et al.]. Sources of valuable features in breeding of barley for adaptability. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016;30;6:36–40. EDN WJXNLV (in Russ.).
15. Pomortsev A. A., Lyalina E. V. *Identification and evaluation of varietal purity of barley seeds by electrophoretic analysis of spare grain proteins: theory of the question, electrophoresis methodology, catalog of electrophoregrams of modern barley varieties approved for use in the Russian Federation: monograph*, Moscow, Rossiiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet – MSKhA imeni K. A. Timiryazeva, 2003, 85 p. EDN ZEWCJO (in Russ.).

© Ерошенко Л. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Новоселов В. А., Котов О. В., 2025

Статья поступила в редакцию 30.01.2025; одобрена после рецензирования 27.02.2025; принята к публикации 26.05.2025.

The article was submitted 30.01.2025; approved after reviewing 27.02.2025; accepted for publication 26.05.2025.

Информация об авторах

Ерошенко Любовь Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», ORCID: 0000-0002-8513-6665, eroshenko.lm@yandex.ru;

Ерошенко Николай Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», ORCID: 0000-0002-6971-957X, eroshenko.lm@yandex.ru;

Дедушев Иван Александрович, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», ORCID: 0000-0002-5059-9299, dedushev_95@mail.ru;

Новоселов Виктор Алексеевич, лаборант-исследователь, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», vitya.novosyolov@mail.ru;

Котов Олег Викторович, лаборант-исследователь, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», oleg79002230821@yandex.ru

Information about the authors

Lyubov M. Eroshenko, Candidate of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka", ORCID: 0000-0002-8513-6665, eroshenko.lm@yandex.ru;

Nikolay A. Eroshenko, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka", ORCID: 0000-0002-6971-957X, eroshenko.lm@yandex.ru;

Ivan A. Dedushev, Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka", ORCID: 0000-0002-5059-9299, dedushev_95@mail.ru;

Victor A. Novosyolov, Laboratory Research Assistant, Federal Research Center "Nemchinovka", vitya.novosyolov@mail.ru;

Oleg V. Kotov, Laboratory Research Assistant, Federal Research Center "Nemchinovka", oleg79002230821@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.