

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 248-262.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 1. P. 248-262.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.16:631.559
doi: 10.33284/2658-3135-109-1-248

Анализ адаптивных параметров продуктивности селекционных форм ярового ячменя

Антонина Александровна Новикова¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

Аннотация. Цель исследования – оценка гомогенных групп ярового ячменя, характеризующихся сходными профилями продуктивности и стабильности на основе кластеризации генотипов по комплексу адаптивных свойств продуктивности. Для анализа использованы методы многомерной статистики, включая иерархический агломеративный метод Уорда с последующим анализом кластеров методом k-средних для проверки устойчивости. Оценивались адаптивность и продуктивность по ключевым признакам продуктивности – масса главного колоса и масса зерна с растения, а также их взаимодействие со средой. Результаты показали выделение трех кластеров с различными адаптивными профилями: 1) стабильно-адаптивные генотипы: Линия-13, Линия-11, Линия-12, Линия-10, Т 25, Оренбургский 11, Губернаторский; характеризуются высокой гомеостатичностью (2,03-2,80) и селекционной ценностью (0,19-0,23), перспективны для прямого использования в селекции; 2) высокопродуктивные, но нестабильные генотипы: Линия-4, Линия-14, Лекарь 3; демонстрируют высокий потенциал в оптимальных условиях (0,67-0,81) и повышенную чувствительность к стрессу; 3) умеренно-адаптивные или низкоконкурентные генотипы: Лекарь 2, Линия-6, Линия-7, Линия-8, Натали, Нутанс 285, Оренбургский 24, Т 25, Губернаторский; характеризуются умеренной адаптивностью (1,36-2,24) и конкурентоспособностью (0,01-0,24). Анализ полученных результатов демонстрирует эффективность кластерного подхода для отбора родительских форм с учетом межкластерного расстояния и среднего уровня продуктивности. В перспективе возможно формирование идеотипа адаптивности на уровне популяций и линий, что повысит прогнозируемость производственных характеристик в изменяющихся условиях и ускорит селекционные программы.

Ключевые слова: яровой ячмень, урожайность, генотип, кластеризация, генетическая гибкость, устойчивость к стрессу

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022-0015).

Для цитирования: Новикова А.А. Анализ адаптивных параметров продуктивности селекционных форм ярового ячменя // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 248-262. [Novikova AA. Assessment of adaptive yield components in spring barley varieties. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(1):248-262. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-1-248>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Assessment of adaptive yield components in spring barley varieties

Antonina A Novikova¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

Abstract. The aim of the study was to evaluate homogeneous groups of spring barley characterized by similar productivity and stability profiles based on genotype clustering according to a set of adaptive productivity properties. Multidimensional statistical methods were used for the analysis, including Ward's hierarchical agglomerative method followed by k-means cluster analysis to test stability. Adaptability and productivity were assessed based on key performance indicators - the mass of the main spike and the mass of grain from the plant, as well as their interaction with the environment. The results showed the identification of three clusters with different adaptive profiles: 1) stably adaptive genotypes: Line-13, Liniya-11, Liniya-12, Liniya-10, T 25, Orenburgskiy 11, Gubernatorskiy; characterized by high homeostaticity (2.03-2.80) and breeding value (0.19-0.23), promising for direct use in breeding; 2) highly productive but unstable genotypes: Liniya-4, Liniya-14, Lekar 3; they demonstrate high potential in optimal conditions (0.67-0.81) and increased sensitivity to stress; 3) moderately adaptive or low-competitive genotypes: Lekar 2, Liniya-6, Liniya-7, Liniya-8, Nataly, Nutans 285, Orenburgskiy 24, T 25, Gubernatorskiy; characterized by moderate adaptability (0.67-0.81) and competitiveness (0.01-0.24). The analysis of the results demonstrates the effectiveness of the cluster approach for selecting parent forms, taking into account the intercluster distance and the average productivity level. In the future, it is possible to form an ideotype of adaptivity at the level of populations and lines, which will increase the predictability of production characteristics in changing conditions and accelerate breeding programs.

Keywords: spring barley, yield, genotype, clustering, genetic flexibility, stress tolerance

Acknowledgments: the work was supported in accordance to the plan of research works for 2022-2026 of the Federal State Budgetary Institution FNC BST RAS (No. FNWZ-2022-0015).

For citation: Novikova AA. Assessment of adaptive yield components in spring barley varieties. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(1):248-262. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-1-248>

Введение.

Яровой ячмень (*Hordeum vulgare L.*) занимает одно из ключевых мест среди зерновых яровых культур во многих агроклиматических зонах и служит важным источником кормового и пивоваренного сырья. Успех селекции данной культуры в значительной степени определяется способностью генотипов сочетать высокую продуктивность с устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессам, а также с воспроизводимой реакцией на изменяющиеся агроклиматические условия. В современных условиях ускоренных климатических изменений и возрастания требований к устойчивому использованию ресурсов становится особенно актуальной задача отбора и формирования сортов, обладающих комплексом адаптивных свойств (Бесалиев И.Н. и др., 2021; Бесалиев И.Н. и Мироненко С.И., 2024; Козулина Н.С. и др., 2025).

Адаптивные характеристики продуктивности, такие как стабильность урожайности и компонентов урожая в разных средах, пластичность реакции на факторы окружающей среды и вариабельность генотипического выражения признаков, представляют собой многомерный фенотипический профиль, требующий применения методов многомерного анализа. Классические подходы, ориентированные на оценку отдельных признаков или среднестатистических показателей, не всегда позволяют выявить внутреннюю структуру популяции селекционных генотипов и выделить

гетерогенные группы с полезными сочетаниями признаков (Новикова А.А. и др., 2022; Гулянов Ю.А. и др., 2022; Неверов А.А. и др., 2023). В этой связи применение методов многомерной статистики в обработке экспериментальных данных является необходимым.

Одним из методов, позволяющих обработать большой массив признаков объектов исследований и группировать их по мере сходства в кластеры, считается кластерный анализ (Перевязка Д.С. и др., 2021), поскольку в каждый кластер включаются схожие генотипы по большинству признаков, при этом образцы разных кластеров должны достаточно различаться (Плешаков А.А. и др., 2021). Мерой различия между кластерами является евклидово расстояние.

Предлагаемый подход к оценке и подбору исходного материала для будущих комбинаций значительно обусловит успех в селекции ярового ячменя, за счет увеличения информативности экспериментальных данных, а также подбора генотипов из различных объединенных групп. Известно, что выбор родительских форм должен основываться на более широком межкластерном расстоянии и более высоких средних показателях.

Для практической реализации данного подхода следует дополнительно учитывать несколько аспектов. Во-первых, важно обеспечить широкий диапазон условий выращивания и репродукции признаков в полевых условиях, включая разные уровни влаги, температуры и питательности почвы, чтобы обеспечить надежную оценку адаптивности и устойчивости генотипов. Во-вторых, целесообразно расширить набор признаков за счет ключевых агрономических и качественных характеристик: урожайность и ее компоненты (число зерен в колосе, масса 1000 зерен, масса зерна на единицу площади), качество зерна и пивоваренного сырья (массовая доля белка, тестовая масса, модифицируемость к полному хлебному или пивоваренному профилю), а также показатели устойчивости к стрессовым факторам (засухам, перегреву, болезням и вредителям) и пластичности. Параллельно собираются данные о воспроизводимости признаков и их взаимодействии со средой (генотип–среда взаимодействие). На этапе обработки данных рекомендуется применить предварительную нормализацию признаков (стандартизацию), чтобы обеспечить сопоставимость масштаба различных характеристик. Часто целесообразно сначала выполнить редукцию размерности методами главных компонент или другими подходами многомерной интеграции, чтобы выделить доминирующие оси вариации, а затем применить кластеризацию к сниженному пространству. В качестве кластеризационных моделей может использоваться иерархическая кластеризация (например, метод Уорда), метод *k*-средних, а для проверки устойчивости кластеров – бутстрэп-оценка и индексы силуэта. Важной частью является выбор числа кластеров, который оценивается с помощью нескольких показателей качества: силуэт-коэффициент, эвристические критерии (например, Calinski–Harabasz, Davies–Bouldin) и повторяемость кластеров в разных условиях и годах (He T et al., 2022).

Еще одним важным элементом является связь кластерного профиля с практикой селекции. Межкластерное расстояние должно использоваться как основной индикатор дифференциации родительских форм, однако не менее важна и средняя продуктивность по кластерам. Оптимальная стратегия отбора может состоять в комбинировании родительских форм из нескольких разных кластеров с максимальным межкластерным расстоянием и одновременным учётом того, чтобы их средние значения по урожайности и устойчивости соответствовали целям программы селекции. Такой подход позволяет создать сочетания генотипов, которые потенциально дополняют друг друга по адаптивности, устойчивости и качеству зерна.

Цель исследований.

Оценка гомогенных групп ярового ячменя, характеризующихся сходными профилями продуктивности и стабильности на основе кластеризации генотипов, по комплексу адаптивных свойств продуктивности.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. 22 селекционных генотипа ячменя ярового, в том числе 8 сортов – Лекарь 2, Лекарь 3, Натали, Нутанс 285, Оренбургский 11, Оренбургский 24, Т 25, Губернаторский и 14 селекционных линий – Линия-10, Линия-11, Линия-12, Линия-13, Линия-14, Линия-2, Линия-3, Линия-4, Линия-5, Линия-6, Линия-7, Линия-8, Линия-9.

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Полевые исследования проводили в 2022-2024 гг. на опытных полях ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (п. Чебеньки, Оренбургский район, 51.937720° N 55.703965° E), математическая обработка результатов структурного анализа снопового материала выполнена в 2025 г. в лаборатории селекционно-генетических исследований в растениеводстве. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднемощный средне- и малогумусный (содержание гумуса в слое 0-30 см составляет 4,69-7,60 %). Предшественник – чистый пар (Скороходов В.Ю. и др., 2023). Длина делянки составляет 20 м, ширина – 1,65 м, учетная площадь – 16,4 м², повторность опыта трехкратная. Сортообразцы изучали на естественном инфекционном фоне. Агротехнические условия проведения опытов соответствовали агротехнике, принятой в центральной зоне Оренбургской области (Бакиров Ф.Г. и др., 2024; Гречишкина О.С. и др., 2022).

Климатические условия периода вегетации ярового ячменя в 2022 г. можно характеризовать как влажные. За период от посева до уборки сумма активных температур колебалась от 1364,6 до 1448,8 °С и была выше среднегодовой нормы на 33 %. Сумма осадков составила 249,1 мм, что превышало среднегодовую норму на 36 %.

В 2023 г. засушливые условия проявлялись в течении всего периода вегетации, сумма активных температур варьировала в пределах 1577,2 до 1822,5 °С, сумма осадков составила 96,9 мм и была ниже на 24,3 % относительно среднегодовой нормы.

В 2024 г. погодные условия периода вегетации ярового ячменя отличались повышенной влажностью. Сумма активных температур в этот период составила от 1626,3 до 1876,9 °С, количество осадков – 204 мм, что превзошло среднегодовую норму на 59,4 %.

Схема эксперимента. Исследуемые сорта и селекционные генотипы изучали в конкурсном сортоиспытании в течении 3 лет. Исследования и оценка элементов структуры урожая проводили согласно «Методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (2019) и методики полевого опыта (Доспехов Б.А., 2014).

Для оценки адаптивного потенциала и стабильности изучаемых генотипов, на основании количественных признаков продуктивности, в частности, массы главного колоса и массы зерна с растения, определяли показатели гомеостатичности (Hom1 и Hom2) и селекционной ценности (Sc). Расчет осуществляли по методике, предложенной В.В. Хангильдиным (Плешаков А.А. и др., 2021). При этом в качестве Xlim принимали минимальное значение признака, зафиксированное в течение периода исследований, а Хорт соответствовало наивысшему значению. В дополнение к указанным параметрам, оценивали эффект генотипа (разность между средним значением количественного признака по всей совокупности генотипов и значением конкретного генотипа), уровень устойчивости к стрессовым факторам (разница между минимальным и максимальным значением признака), а также генетическая гибкость. Последний показатель, характеризующий степень соответствия генотипа изменяющимся условиям внешней среды, вычисляли как полусумма минимального и максимального значения показателя.

Кластерный анализ селекционных генотипов по показателям экологической адаптивности включал несколько этапов. На первом этапе данные были стандартизованы для исключения влияния масштаба признаков. Далее определяли оптимальное число кластеров с использованием иерархического агломеративного кластерного анализа (метод Варда, Евклидово расстояние) и визуального анализа дендрограммы. Третий этап включал подтверждение и уточнение кластеров методом k-средних (100 итераций) с сохранением информации о принадлежности объектов. Заключительный этап – интерпретация результатов – базировался на анализе средних значений признаков в каждом кластере и сравнении результатов обоих методов для оценки стабильности кластеризации. Последовательное применение иерархического и k-средних методов позволило повысить надежность группирования генотипов и минимизировать риск произвольного отнесения к кластерам.

Оборудование и технические средства. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>), в том числе весы аналитические (Госметр, Россия).

Статистическая обработка. Кластерный анализ для группирования селекционных генотипов по показателям экологической адаптивности проводился в программе «Statistica 12» («StatSoft Inc.»), США). Экспериментальные данные опыта подвергали математической обработке с помощью

дисперсионного анализа в изложении Б.А. Доспехова (2014) с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

Масса главного колоса в оптимальных условиях в среднем за годы исследований составила 1,36 г, а в лимитированных – 0,30 г (табл. 1). Размах вариации при оптимальных условиях ($R=0,84$ г) превышал аналогичный показатель при лимитированных ($R=0,26$ г), что свидетельствует о большей нестабильности признака в благоприятной среде. Вариабельность средней продуктивности была умеренной, о чем свидетельствует коэффициент вариации, составивший 9,89 %.

Таблица 1. Показатели экологической адаптивности генотипов ярового ячменя по признаку «масса главного колоса», г

Table 2. Indicators of ecological adaptability in spring barley genotypes based on main spike mass, g

Сорт, селекционный номер / Variety, breeding number	Xlim	Xopt	X	Hom1	Hom2	Sc	Эффект генотипа / The genotype effect	Устойчивость к стрессу / Stress tolerance	Генетическая гибкость / Genetic flexibility
Оренбургский 11 / <i>Orenburgskiy 11</i>	0,19	1,45	0,61	2,03	1,61	0,08	-0,05	-1,26	0,82
Лекарь 2 / <i>Lekar 2</i>	0,27	0,98	0,61	2,04	2,87	0,17	-0,05	-0,71	0,63
Лекарь 3 / <i>Lekar 3</i>	0,31	1,74	0,69	1,85	1,29	0,12	0,03	-1,43	1,03
Линия-10 / <i>Linija-10</i>	0,27	1,37	0,69	2,16	1,97	0,14	0,03	-1,10	0,82
Линия-11 / <i>Linija-11</i>	0,42	1,31	0,72	2,80	3,14	0,23	0,06	-0,89	0,87
Линия-12 / <i>Linija-12</i>	0,39	1,13	0,67	2,63	3,56	0,23	0,01	-0,74	0,76
Линия-14 / <i>Linija-14</i>	0,37	1,32	0,72	2,34	2,46	0,20	0,06	-0,95	0,85
Линия-13 / <i>Linija-13</i>	0,44	1,21	0,81	3,65	4,74	0,29	0,15	-0,77	0,83
Линия-2 / <i>Linija-2</i>	0,22	1,80	0,60	1,64	1,04	0,07	-0,06	-1,58	1,01
Линия-3 / <i>Linija-3</i>	0,36	1,66	0,64	1,67	1,29	0,14	-0,02	-1,30	1,01
Линия-4 / <i>Linija-4</i>	0,23	1,60	0,78	1,73	1,26	0,11	0,12	-1,37	0,92
Линия-5 / <i>Linija-5</i>	0,33	1,24	0,64	2,33	2,56	0,17	-0,02	-0,91	0,79
Линия-6 / <i>Linija-6</i>	0,35	1,18	0,62	2,07	2,50	0,18	-0,04	-0,83	0,77
Линия-7 / <i>Linija-7</i>	0,33	1,17	0,61	1,99	2,37	0,17	-0,05	-0,84	0,75
Линия-8 / <i>Linija-8</i>	0,24	1,25	0,67	2,13	2,11	0,13	0,01	-1,01	0,75
Линия-9 / <i>Linija-9</i>	0,24	1,63	0,70	2,28	1,64	0,10	0,04	-1,39	0,94
Натали / <i>Nataly</i>	0,35	1,30	0,67	2,11	2,22	0,18	0,01	-0,95	0,83
Нутанс 285 / <i>Nutans 285</i>	0,20	1,66	0,54	1,34	0,92	0,06	-0,12	-1,46	0,93
Оренбургский 24 / <i>Orenburgskiy 24</i>	0,18	1,24	0,61	1,68	1,59	0,09	-0,05	-1,06	0,71
T 25 / <i>T 25</i>	0,38	1,34	0,67	2,00	2,08	0,19	0,02	-0,96	0,86
Губернаторский / <i>Gubernatorskiy</i>	0,22	0,96	0,58	1,93	2,61	0,13	-0,08	-0,74	0,59
Среднее / Average	0,30	1,36	0,66	2,12	2,18	0,15	0,00	-1,06	0,83
Min	0,18	0,96	0,54	1,34	0,92	0,06	-0,12	-1,58	0,59
Max	0,44	1,80	0,81	3,65	4,74	0,29	0,15	-0,71	1,03
R	0,26	0,84	0,27	2,31	3,82	0,23	0,27	0,87	0,44
V, %	26,61	17,67	9,89	22,98	41,94	38,94	-	-	14,07

Лидером по средней массе колоса стала Линия-13, превзойдя сорта Оренбургский 11 и Лекарь 2 на 0,20 г. Высокая гомеостатичность этого образца указывает на ее стабильность в различных условиях. Селекционная ценность признака также была максимальной у Линии-13, что подчеркивает ее высокий потенциал для селекции. Районированные сорта Лекарь 2 и Оренбургский 11 уступали по этому показателю. Положительный эффект генотипа наблюдался у Линии-13, Линии-4 и Линии-1, что свидетельствует об их превосходстве над средними значениями группы. Наибольшим уровнем устойчивости к стрессу обладала Линия-12, в то время как Линия-2 и Линия-10 проявили неустойчивость. Максимальная генетическая гибкость отмечена у Линии-3 (1,03), Линии-11 (0,87) и Линии-13 (0,83), что указывает на их способность адаптироваться к изменчивым условиям. Размах вариации генетической гибкости составил 0,44 ($V=14,07\%$).

Кластерный анализ по данным экологической пластичности признака «масса главного колоса» показал распределение генотипов по трем кластерам (рис. 1).

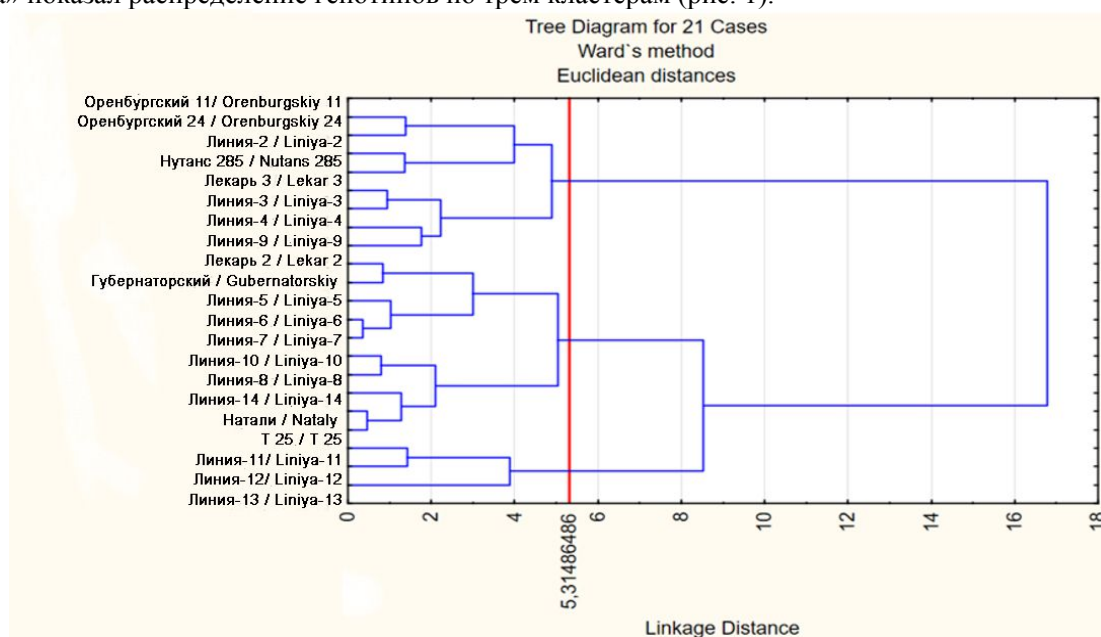


Рисунок 1. Результаты иерархического кластерного анализа экологической пластичности признака «масса главного колоса»

Figure 1. Hierarchical cluster analysis of ecological plasticity for the main spike mass trait

Кластер 1 включал Лекарь 2, Линию-10, Линию-14, Линию-5, Линию-6, Линию-7, Линию-8, Натали, Оренбургский 24, Т 25, Губернаторский. Эти генотипы характеризуются умеренной продуктивностью (средняя урожайность 0,61-0,67 г), низкой селекционной ценностью (0,06-0,18), умеренной стабильностью (1,68-2,33) и умеренной генетической гибкостью (0,59-0,86). Генотипы данного кластера рекомендуются для гибридизации.

В кластер 2 попали Линия-11, Линия-12, Линия-13. Данный кластер объединяет перспективные генотипы, сочетающие высокую продуктивность (средняя урожайность 0,67-0,81 г, максимум у Линии-13), высокую селекционную ценность (0,23-0,29), высокую гомеостатичность (2,63-3,65, Линия-13 является лидером) и хорошую генетическую гибкость (0,76-0,87). Эти генотипы являются приоритетными для создания устойчивых сортов.

Кластер 3 включает 7 сортов и линий – Оренбургский 11, Лекарь 3, Линию-2, Линию-3, Линию-4, Линию-9, Нутанс 285. Генотипы этого кластера демонстрируют низкую продуктивность (средняя урожайность 0,54-0,69 г, минимум у Нутанс 285), низкую селекционную ценность (0,06-

0,14), неустойчивость в стрессовых условиях (1,34-2,28) и критически низкую устойчивость к стрессу (от -1,30 до -1,58, наиболее критично у Линии-2). Несмотря на высокую генетическую гибкость (0,93-1,03), это не компенсирует их низкую продуктивность. Генотипы данного кластера рекомендуются для исключения из селекции, за исключением случаев гибридизации с генотипами Кластера 2 для использования в качестве источников генетического разнообразия.

График средних значений для кластеров генотипов анализируемого признака показывает четкое разграничение между кластером 2 (высокая адаптивность и продуктивность) и кластером 3 (высокая генетическая гибкость, но низкая продуктивность и уровень устойчивости к стрессу) подчеркивает важный компромисс в селекции (рис. 2). Генетическая гибкость сама по себе недостаточна, она должна сочетаться с внутренней продуктивностью и стабильностью, чтобы быть ценной для прямого отбора. Генотипы кластера 3, несмотря на свою гибкость, не обеспечивают стабильно высоких урожаев, особенно в условиях стресса, что делает их пригодными лишь для привнесения генетического разнообразия, а не для прямого использования в селекции. В отличие от них, кластер 2 объединяет генотипы, сочетающие высокую продуктивность с высокой гомеостатичностью и селекционной ценностью, что делает их идеальными кандидатами для непосредственного продвижения в селекционных программах.

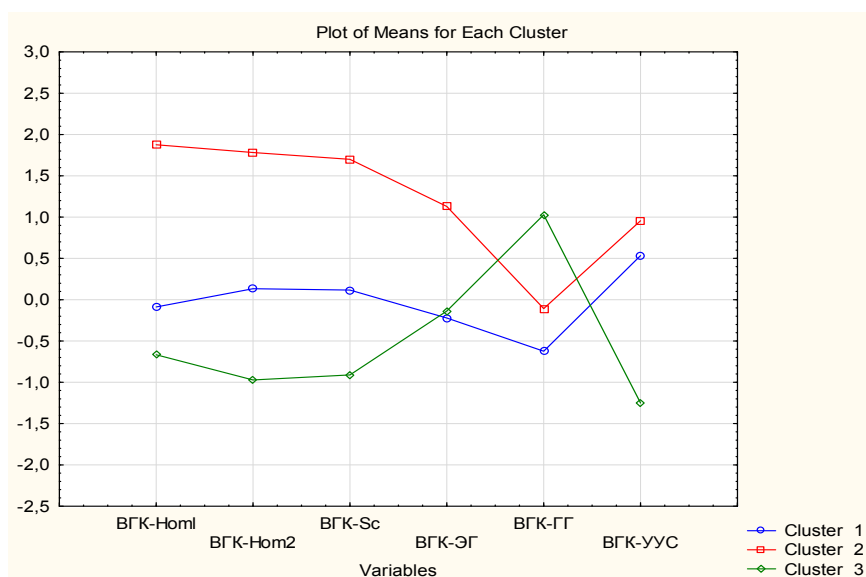


Рисунок 2. График средних значений для кластеров генотипов признака «масса главного колоса», выделенных с помощью метода K-means (стандартизованные данные)

Figure 2. Mean value plot for genotype clusters based on main spike mass, identified by K-means clustering (standardized data)

Анализ результатов исследования сортов ярового ячменя по показателю «масса зерна с 1 растения» выявили значительную зависимость продуктивности генотипов от условий вегетации. Разница между средним значением признака в оптимальных и лимитированных условиях составила 2,87 г (табл. 2). Размах вариации при оптимальных условиях превысил аналогичный показатель при лимитированных на 1,8 г, что указывает на более выраженную реакцию генотипов в благоприятной среде. Коэффициент вариации средней продуктивности свидетельствует о низкой изменчивости признака.

Таблица 2. Показатели экологической адаптивности генотипов ярового ячменя по признаку «масса зерна с 1 растения», г

Table 2. Ecological adaptability indicators of spring barley genotypes based on the grain mass per plant trait, g

Сорт, селекционный номер / <i>Variety, breeding number</i>	Xlim	Xopt	X	Hom1	Hom2	Sc	Эффект генотипа/ <i>The genotype effect</i>	Устойчивость к стрессу / <i>Stress tolerance</i>	Генетическая гибкость / <i>Genetic flexibility</i>
Оренбургский 11/ <i>Orenburgskiy 11</i>	0,40	2,70	1,15	2,09	0,91	0,17	-0,07	-2,30	1,55
Лекарь 2 / <i>Lekar 2</i>	0,38	2,60	1,08	1,97	0,89	0,16	-0,13	-2,22	1,49
Лекарь 3 / <i>Lekar 3</i>	0,38	3,83	1,26	1,88	0,55	0,13	0,05	-3,45	2,11
Линия-10/ <i>Linija-10</i>	0,27	2,68	1,32	2,59	1,07	0,13	0,11	-2,41	1,48
Линия-11/ <i>Linija-11</i>	0,50	3,63	1,33	2,45	0,78	0,18	0,11	-3,13	2,07
Линия-12/ <i>Linija-12</i>	0,42	2,53	1,18	2,57	1,22	0,20	-0,04	-2,11	1,48
Линия-14/ <i>Linija-14</i>	0,37	4,06	1,36	2,21	0,60	0,12	0,14	-3,69	2,22
Линия-13/ <i>Linija-13</i>	0,44	2,53	1,37	3,21	1,54	0,24	0,16	-2,09	1,49
Линия-2/ <i>Linija-2</i>	0,22	3,27	1,23	2,33	0,76	0,08	0,01	-3,05	1,75
Линия-3/ <i>Linija-3</i>	0,43	3,50	1,17	2,05	0,67	0,14	-0,05	-3,07	1,97
Линия-4/ <i>Linija-4</i>	0,33	4,47	1,45	2,24	0,54	0,11	0,24	-4,14	2,40
Линия-5/ <i>Linija-5</i>	0,41	3,63	1,23	2,05	0,64	0,14	0,01	-3,22	2,02
Линия-6/ <i>Linija-6</i>	0,35	3,65	1,06	1,67	0,51	0,10	-0,15	-3,30	2,00
Линия-7/ <i>Linija-7</i>	0,33	2,60	1,09	1,84	0,81	0,14	-0,13	-2,27	1,47
Линия-8/ <i>Linija-8</i>	0,24	3,62	1,25	2,14	0,63	0,08	0,03	-3,38	1,93
Линия-9/ <i>Linija-9</i>	0,40	3,61	1,30	2,39	0,75	0,14	0,09	-3,21	2,01
Натали / <i>Nataly</i>	0,35	2,37	1,13	2,29	1,13	0,17	-0,09	-2,02	1,36
Нутанс 285 / <i>Nutans 285</i>	0,20	2,77	1,04	1,75	0,68	0,07	-0,18	-2,57	1,49
Оренбургский 24/ <i>Orenburgskiy 24</i>	0,30	2,77	1,09	1,98	0,80	0,12	-0,13	-2,47	1,54
T 25 / <i>T 25</i>	0,40	4,08	1,23	1,84	0,50	0,12	0,02	-3,68	2,24
Губернаторский / <i>Gubernatorskiy</i>	0,46	2,90	1,21	2,07	0,85	0,19	-0,01	-2,44	1,68
Среднее / <i>Average</i>	0,36	3,23	1,21	2,17	0,80	0,14	0,00	-2,87	1,79
Min	0,20	2,37	1,04	1,67	0,50	0,07	-0,18	-4,14	1,36
Max	0,50	4,47	1,45	3,21	1,54	0,24	0,24	-2,02	2,40
R	0,30	2,10	0,41	1,54	1,04	0,16	0,41	2,12	1,04
V, %	21,99	19,35	9,35	16,08	32,60	29,52	-	-	17,73

Линия-13 и Линия-14 продемонстрировали наивысшее среднее значение признака, превышая районированные сорта Оренбургский 11 и Губернаторский. Линия-4 и сорт T 25 выделились максимальной продуктивностью в оптимальных условиях, однако их устойчивость к стрессу оказалась низкой. Наивысшей гомеостатичностью характеризовались Линия-13, Линия-10 и Линия-12. Селекционная ценность была максимальна у Линии-13, Линии-12 и сорта Губернаторский, тогда как низкие значения отмечены у Нутанс 285 и Линии-6. Положительный эффект генотипа выявлен

у Линии-4, Линии-13 и Линии-14. Наиболее устойчивыми к стрессу оказались сорт Натали и Линия-13, в то время как Линия-4 и сорт Т 25 проявили нестабильность. Максимальная адаптивность к условиям среды отмечена у Линии-4, Линии-14 и Линии-11. Изменчивость показателя в группе генотипов была умеренной ($R=1,04$ г; $V=17,73$ %).

Кластеризация сортов ярового ячменя по признаку «масса зерна с 1 растения» методом k-средних выделила три кластера (рис. 3).

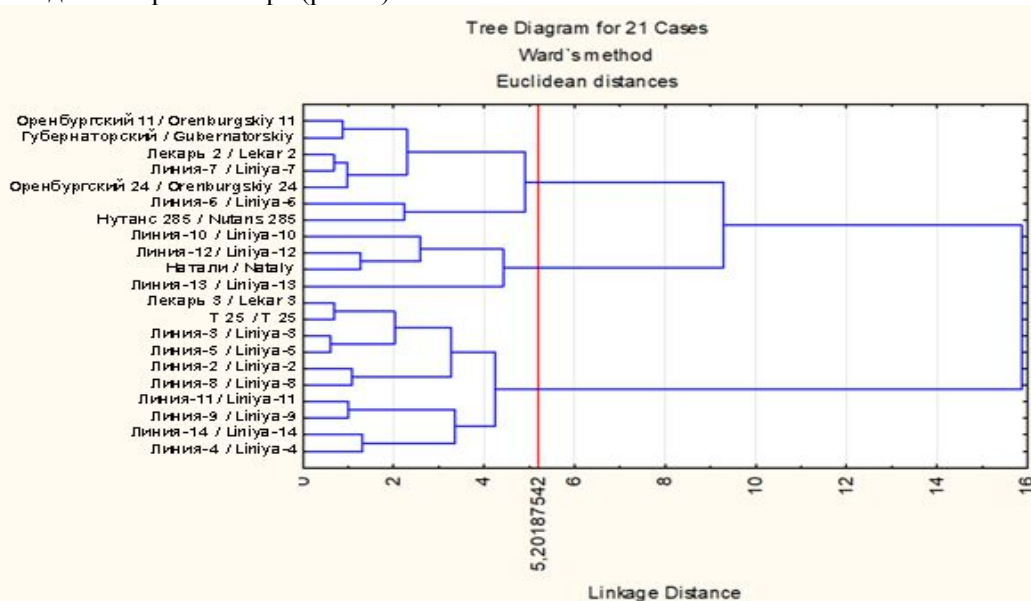


Рисунок 3. Результаты иерархического кластерного анализа экологической пластичности признака «масса зерна с 1 растения»

Figure 3. Results of hierarchical cluster analysis of the ecological plasticity of the "grain mass per plant" trait

Кластер 1 включает Линию-10, Линию-12, Линию-13. Генотипы этого кластера характеризуются высокой гомеостатичностью (Hom1: 2,59-3,21; Hom2: 1,07-1,54), высокой селекционной ценностью (0,13-0,24), умеренной устойчивостью к стрессу (от -2,09 до -2,41) и сбалансированной генетической гибкостью (1,48-1,49 г/га). Этот кластер рекомендуется для создания сортов, стабильных в условиях нестабильного климата.

Кластер 2 состоит из умеренно-адаптивных сортов – Оренбургский 11, Лекарь 2, Линию-7, Натали, Нутанс 285, Оренбургский 24, Губернаторский. Особенности данного кластера включают средние показатели продуктивности (1,04-1,21 г), низкую генетическую гибкость (1,36-1,68) и умеренную селекционную ценность (0,07-0,19). Устойчивость к стрессу (от -2,02 до -2,57) ниже, чем в кластере 1, что указывает на ограниченную стабильность в экстремальных условиях (рис. 4). Эффект генотипа близок к нулю, что свидетельствует о средней конкурентоспособности. Данный кластер подходит для регионов с умеренными стрессовыми факторами.

Кластер 3 – это высокопродуктивные, но нестабильные генотипы: Лекарь 3, Линия-11, Линия-14, Линия-2, Линия-3, Линия-4, Линия-5, Линия-6, Линия-8, Линия-9, сорт Т 25. Эти генотипы демонстрируют максимальную продуктивность в оптимальных условиях (3,5-4,47 г), но при этом низкую гомеостатичность (0,5-0,8) и высокую нестабильность (от -3,05 до -4,14), что подтверждает их зависимость от благоприятных факторов. Несмотря на высокую генетическую гибкость (1,75-2,4) и положительный эффект генотипа (0,01-0,24), их нестабильность ограничивает прямое использование. Генотипы Линия-4 и Линия-14 выделяются как перспективные для гибридизации.

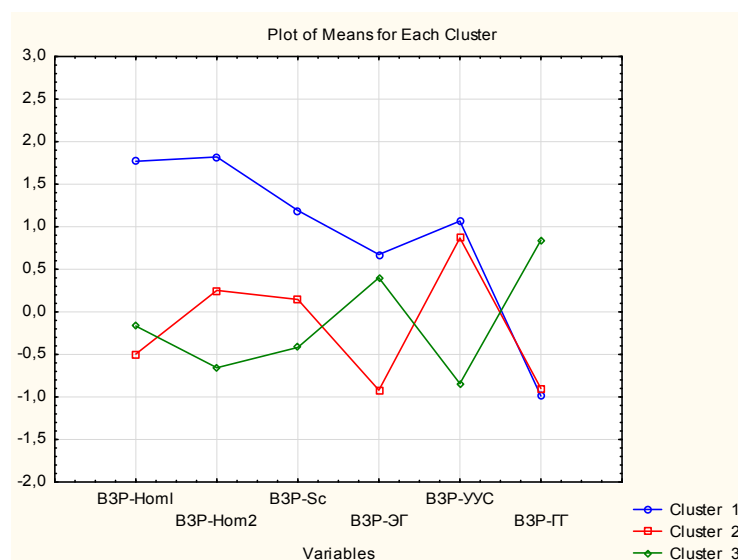


Рисунок 4. График средних значений для кластеров генотипов признака «масса зерна с 1 растения», выделенных с помощью метода K-means (стандартизованные данные)
 Figure 4. Mean value plot for genotype clusters based on the 'grain mass per plant' trait, identified via K-means clustering (standardized data)

Обсуждение полученных результатов.

Эффективность кластерного анализа для выявления адаптивных генотипов подтверждается ранее опубликованными исследованиями. Elakhdar A с соавторами (2022), используя аналогичный подход (k-means clustering), выявили группы ячменей с различной устойчивостью к засухе. В нашей работе кластерный анализ показателей экологической адаптивности, основанный на массе главного колоса и массе зерна с одного растения, позволил дифференцировать селекционные генотипы ярового ячменя на три группы, различающиеся по экологической стабильности, продуктивности и общему адаптивному потенциалу.

В первую группу вошли стабильно-адаптивные генотипы (кластер 2 по массе главного колоса и кластер 1 по массе зерна с 1 растения) – Линия-13, Линия-11, Линия-12, Линия-10, Т 25, Оренбургский 11 и Губернаторский, которые демонстрировали высокую гомеостатичность (2,0-3,21), селекционную ценность (0,19-0,29) и сбалансированную генетическую пластичность (0,76-2,24). Они являются наиболее перспективными для прямого использования в селекции и создания новых сортов, устойчивых к нестабильным климатическим условиям. Последовательное попадание некоторых генотипов (Линия 13) в данную группу по разным признакам Elakhdar A с соавторами (2022) объясняет плейотропным действием генов, регулирующих эти признаки и существованием устойчивых генетических архитектур, обеспечивающих широкую адаптивность. Аналогичная закономерность наблюдалась в исследованиях на ячмене в Австралии, где было показано, что генотипы с высоким уровнем стабильности по нескольким признакам продуктивности часто имеют общие генетические маркеры (He T et al., 2022).

Вторая группа включает высокопродуктивные, но нестабильные генотипы (кластер 1 по массе зерна с растения, кластер 3 по массе главного колоса) – Линия-4, Линия-14, Лекарь 3. Они обладают высоким потенциалом продуктивности в оптимальных условиях (3,83-4,47), но характеризуются низкой гомеостатичностью (0,54-0,60) и высокой чувствительностью к стрессу (от -3,42 до -4,14). Исследования Зорова А.А. с коллегами (2021) показывают, что такие генотипы представляют ценный

генетический материал для гибридизации, особенно в сочетании со стабильно-адаптивными генотипами, что позволит привнести гены высокого потенциала в более устойчивые генетические фоны.

Третью группу составляют умеренно-адаптивные или низкоконкурентные генотипы (кластер 3 по массе главного колоса, кластер 2 по массе зерна с 1 растения) – Лекарь 2, Линия-6, Линия-7, Линия-8, Натали, Нутанс 285, Оренбургский 24, Т 25, Губернаторский (в зависимости от признака). Они показывают средние или низкие показатели адаптивности и конкурентоспособности: генетическая гибкость 1,36-1,68, селекционная ценность 0,07-0,19, устойчивость к стрессу от -2,02 до -2,57. В проведенных ранее исследованиях (Рекашус Э.С., 2022) отмечалось, что некоторые из таких генотипов могут обладать уникальными механизмами устойчивости к специфическим стрессовым факторам, которые не проявляются при общей оценке адаптивности. Анализ физиологических и биохимических параметров этих генотипов может помочь в выявлении таких механизмов.

Следует подчеркнуть, что адаптивные профили генотипов могут быть специфичными для отдельных признаков. Исследования показали, что отдельные генотипы – Т 25 и Губернаторский – демонстрировали высокую устойчивость к стрессу по одному признаку и низкую по другому. Аналогичная ситуация наблюдалась при оценке параметров адаптивности ярового ячменя у Филиппова Е.Г. с соавторами (2021). Это подтверждает необходимость многопризнакового анализа для принятия комплексных селекционных решений.

В целом, кластеризация методом k-средних оказалась эффективным инструментом для оптимизации селекционных программ, позволяя выделять группы генотипов с различным адаптивным потенциалом (Неверов А.А., 2025). Для дальнейшего совершенствования селекционных критериев целесообразно разработать интегрированный индекс адаптивности, например, на основе произведения гомеостатичности и селекционной ценности. Это позволит получить единый, комплексный показатель для более эффективного ранжирования генотипов.

Заключение.

Таким образом в результате проведенных исследований 22 селекционных генотипов ярового ячменя, включающих 14 перспективных линий конкурсного сортоиспытания и 8 районированных сортов, была всесторонне оценена их экологическая адаптивность по ключевым количественным признакам продуктивности: масса главного колоса и масса зерна с 1 растения.

Установлены генотипы, демонстрирующие наилучшие показатели по развитию признаков как в оптимальных, так и в лимитированных условиях, а также по гомеостатичности, селекционной ценности, эффекту генотипа, стрессоустойчивости и генетической пластичности. К ним относятся Линия-13, сорт Губернаторский и сорт Оренбургский 11, которые последовательно выделялись как лидер по средней массе колоса (0,81; 0,58 и 0,61 г соответственно), гомеостатичности (3,65; 1,93 и 2,03 соответственно) и селекционной ценности (0,29; 0,13 и 0,08 соответственно).

Полученные результаты и выявленные перспективные генотипы и кластеры имеют высокую ценность для ускорения разработки адаптивных и продуктивных сортов ярового ячменя, что в конечном итоге способствует устойчивому развитию сельского хозяйства.

Список источников

1. Бесалиев И.Н., Мироненко С.И. Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 324-336. [Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л., Регер Н.С. Особенности формирования морфологических признаков проростков и активность ферментов яровой мягкой пшеницы на фоне индуциро-

ванного солевого стресса // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 3. С. 138-146. [Besaliev IN, Panfilov AL, Reger NS. Peculiarities of formation of morphological characters and the activity of enzymes in spring wheat seedlings the background of induced salinity stress. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(3):138-146. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-104-3-138

3. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Бейская в условиях Красноярской лесостепи / Н.С. Козулина, А.В. Василенко, А.В. Бобровский, А.А. Крючков, Н.С. Герасимова // Земледелие. 2025. № 1. С. 20-23. [Kozulina NS, Vasilenko AV, Bobrovsky AV, Kryuchkov AA, Gerasimova NS. The influence of mineral nutrition on the yield and quality of spring wheat of the Beiskaya variety in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Zemledelie*. 2025;1:20-23. (*In Russ.*). doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-20-23

4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Стереотипное изд. Перепечатка с 5-го изд., доп. и перераб. М.: Альянс, 2014. 351 с. [Dospikhov BA. Metodika polevogo opita (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy). Stereotipnoe izd. Perepechatka s 5-go izd., dop. i pererab. Moscow: Alyans; 2014:351 p. (*In Russ.*)].

5. Изменение плотности чернозёма южного под влиянием приёмов и систем обработки почвы / Ф.Г. Бакиров, Н.Д. Берлишев, И.В. Васильев, Т.Н. Васильева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 179-187. [Bakirov FG, Berlishev ND, Vasiliev IV, Vasilyeva TN. Changes in the density of southern black soil under the influence of soil cultivation techniques and systems. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):179-187. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-107-2-179

6. Качество зерна яровой мягкой и твёрдой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, А.А. Зоров, Е.Н. Скороходова, Н.А. Зенкова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 260-272. [Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260

7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. М., 2019. 329 с. [Metodika gosudarstvennogo sortoispitaniya selskokhozyaistvennikh kultur. Vipusk pervii. Obshchaya chast. Moscow; 2019:329 p. (*In Russ.*)].

8. Неверов А.А. Прогнозирование продуктивности зерновых культур в степной зоне Оренбургского Предуралья на основе солнечно-земных связей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2(80). С. 138-148. [Neverov AA. The grain crops productivity forecasting in the steppe zone of the Orenburg Cis-Urals on the basis of solar-terrestrial relations. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2025;2(80):138-148. (*In Russ.*). doi: 10.32786/2071-9485-2025-02-16

9. Неверов А.А., Верещагина А.С., Бельков Г.И. Влияние погодных условий и внекорневой подкормки на водопотребление и продуктивность ячменя в степной зоне Оренбургской области // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 225-238. [Neverov AA, Vereshchagina AS, Bel'kov GI. Influence of weather conditions and foliar feeding on water consumption and productivity of barley in the steppe zone of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):225-238. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-3-225

10. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя / Е.Г. Филиппов, Р.Н. Брагин, А.А. Донцова, Д.П. Донцов // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 172-179. [Filippov EG, Bragin RN, Dontsova AA, Dontsov DP. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;3(27):172-179. (*In Russ.*). doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179

11. Параметры адаптивности и гомеостатичности сортов ярового ячменя в условиях Оренбургской области / А.А. Новикова, О.С. Гречишкина, А.А. Емельянова и др. // Земледелие. 2022. № 8. С. 35-38. [Novikova AA, Grechishkina OS, Emelyanova AA, et al. Parameters of adaptability and homeostaticity of spring barley varieties in the Orenburg region. Zemledelie. 2022;8:35-38. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38
12. Перевязка Д.С., Перевязка Н.И., Супрунов А.И. Кластерный анализ нового исходного материала для создания раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы // Рисоводство. 2021. № 4 (53). С. 30-35. [Perevyazka DS, Perevyazka NI, Suprunov AI. Cluster analysis of a new initial material for the creation of early and medium corn hybrids. Rice Growing. 2021;4(53):30-35. (*In Russ.*)]. doi: 10.33775/1664-2464-2021-53-4-30-35
13. Пleshakov А.А., Цаценко Л.В., Савиченко Д.Л. Кластеризации коллекционных сортообразцов озимой пшеницы по элементам продуктивности колоса // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 168(04). С. 195-207. [Pleshakov AA, Tsatsenko LV, Savichenko DL. Clustering of winter wheat collection varieties by ear productivity elements. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2021;168(04):195-207. (*In Russ.*)]. doi: 10.21515/1990-4665-168-014
14. Проблемы адаптации степного землепользования к антропогенным и климатическим изменениям (на примере Оренбургской области) / Ю.А. Гулянов, А.А. Чибилев (Мл), А.А. Чибилев, С.В. Левыкин // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 28-40. [Gulyanov YuA, Chibilyov (jr) AA, Chibilyov AA, Levykin SV. Problems of steppe land use adaptation to anthropogenic and climatic changes (the case of Orenburg Oblast). Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2022;86(1):28-40. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S258755662201006X
15. Рекашус Э.С. Современные методы оценки продуктивности и стабильности селекционных достижений (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 52-60. [Rekashus ES. Modern methods for assessing productivity and stability of breeding achievements (review). Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2022;36(4):52-60. (*In Russ.*)]. doi: 10.53859/02352451_2022_36_4_52
16. Селекция ярового ячменя в Оренбуржье / А.А. Зоров, Н.И. Тишков, Д.Н. Тишков, Т.А. Тимошенкова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6(92). С. 65-73. [Zorov AA, Tishkov NI, Tishkov DN, Tymoshenkova TA. Selection of spring barley in the Orenburg region. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;6(92):65-73. (*In Russ.*)]. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-65-73
17. Яровой ячмень. Современные технологии возделывания в хозяйствах Оренбургской области (методические рекомендации) / О.С. Гречишкина, И.Н. Бесалиев, Л.А. Мухитов и др. Оренбург: ООО «Типография «Агентство Пресса», 2022. 20 с. [Grechishkina OS, Besaliev IN, Mukhitov LA, et al. Yarovoi yachmen. Sovremennie tekhnologii vozdelivaniya v khozyaistvakh Orenburgskoi oblasti (metodicheskie rekomendatsii). Orenburg: ООО «Tipografija «Agentstvo Pressa»; 2022:20 p. (*In Russ.*)].
18. Elakhdar A, Solanki S, Kubo T, Abed A, Elakhdar I, Khedr R, Hamwiah A, Capochichi LJA, Abdelsattar M, Franckowiak JD, Qualset CO. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. Environmental and Experimental Botany. 2022;201:104965. doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965
19. He T, Angessa T, Hill CB, Zhang X-Q, Telfer P, Westcott S, Li C. Genetic solutions through breeding counteract climate change and secure barley production in Australia. Crop Design. 2022;1(1):100001. doi: 10.1016/j.cropd.2021.12.001

References

1. Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Besaliev IN, Panfilov AL, Reger NS. Peculiarities of formation of morphological characters and the activity of enzymes in spring wheat seedlings the background of induced salinity stress. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(3):138-146. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-138
3. Kozulina NS, Vasilenko AV, Bobrovsky AV, Kryuchkov AA, Gerasimova NS. The influence of mineral nutrition on the yield and quality of spring wheat of the Beiskaya variety in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Agriculture*. 2025;1:20-23. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-20-23
4. Dospekhov BA. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Stereotype ed. Reprinted from the 5th edition, supplemented and revised. Moscow: Alliance; 2014:351 p.
5. Bakirov FG, Berlishev ND, Vasiliev IV, Vasilyeva TN. Changes in the density of southern black soil under the influence of soil cultivation techniques and systems. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):179-187. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-179
6. Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
7. Methodology of state variety testing of agricultural crops. First release. General part. Moscow; 2019:329 p.
8. Neverov AA. The grain crops productivity forecasting in the steppe zone of the Orenburg Cis-Urals on the basis of solar-terrestrial relations. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2025;2(80):138-148. doi: 10.32786/2071-9485-2025-02-16
9. Neverov AA, Vereshchagina AS, Bel'kov GI. Influence of weather conditions and foliar feeding on water consumption and productivity of barley in the steppe zone of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):225-238. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-225
10. Filippov EG, Bragin RN, Dontsova AA, Dontsov DP. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;3(27):172-179. doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179
11. Novikova AA, Grechishkina OS, Emelyanova AA, et al. Parameters of adaptability and homeostaticity of spring barley varieties in the Orenburg region. *Agriculture*. 2022;8:35-38. doi: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38
12. Perevyazka DS, Perevyazka NI, Suprunov AI. Cluster analysis of a new initial material for the creation of early and medium corn hybrids. *Rice Growing*. 2021;4(53):30-35. doi: 10.33775/1664-2464-2021-53-4-30-35
13. Pleshakov AA, Tsatsenko LV, Savichenko DL. Clustering of winter wheat collection varieties by ear productivity elements. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2021;168(04):195-207. doi: 10.21515/1990-4665-168-014
14. Gulyanov YuA, Chibilyov (jr) AA, Chibilyov AA, Levykin SV. Problems of steppe land use adaptation to anthropogenic and climatic changes (the case of Orenburg Oblast). *News of the Russian Academy of Sciences. Series Geographical*. 2022;86(1):28-40. doi: 10.31857/S258755662201006X
15. Rekasus ES. Modern methods for assessing productivity and stability of breeding achievements (review). *Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex*. 2022;36(4):52-60. doi: 10.53859/02352451_2022_36_4_52

16. Zorov AA, Tishkov NI, Tishkov DN, Tymoshenkova TA. Selection of spring barley in the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;6(92):65-73. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-65-73
17. Grechishkina OS, Besaliev IN, Mukhitov LA, et al. Spring barley. Modern cultivation technologies on farms of the Orenburg region (methodological recommendations). Orenburg: ООО «Publishing House “Press Agency”»; 2022:20 p.
18. Elakhdar A, Solanki S, Kubo T, Abed A, Elakhdar I, Khedr R, Hamwiah A, Capochichi LJA, Abdelsattar M, Franckowiak JD, Qualset CO. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;201:104965. doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965
19. He T, Angessa T, Hill CB, Zhang X-Q, Telfer P, Westcott S, Li C. Genetic solutions through breeding counteract climate change and secure barley production in Australia. *Crop Design*. 2022;1(1):100001. doi: 10.1016/j.crope.2021.12.001

Информация об авторах:

Антонина Александровна Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекционно-генетических исследований в растениеводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89228884481.

Information about the authors:

Antonina A Novikova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory for Breeding and Genetic Research in Plant Growing, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89228884481.

Статья поступила в редакцию 16.01.2026; одобрена после рецензирования 10.02.2026; принята к публикации 16.03.2026.

The article was submitted 16.01.2026; approved after reviewing 10.02.2026; accepted for publication 16.03.2026.