

<https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117>

Оценка пластичности и стабильности сортов озимого ячменя в агробиоценозе Кабардино-Балкарии

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Малкандуева Аминат
Хамидовна

E-mail: malkandyewaax@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Кашукоев М.В., Базгиев М.А., Бадургова К.Ш. Оценка пластичности и стабильности сортов озимого ячменя в агробиоценозе Кабардино-Балкарии. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):66-79. <https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117> EDN VJBNBF

ПОСТУПИЛА: 27.04.2026

ДОРАБОТАНА: 30.07.2026

ПРИНЯТА: 13.08.2026

ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 09.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Кашукоев М.В., Базгиев М.А., Бадургова К.Ш.



А.Х. Малкандуева ¹, Х.А. Малкандуев ¹, Р.И. Шамурзаев ¹, М.В. Кашукоев ², М.А. Базгиев ³, К.Ш. Бадургова ³

¹ Институт сельского хозяйства — филиал Федерального научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия

² Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия им. В. М. Кокова, Нальчик, Россия

³ Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Сунжа, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях усиливающейся климатической нестабильности юга России, характеризующейся ростом засушливости и температурных аномалий, возникает необходимость возделывания сортов озимого ячменя с высокой адаптивностью. Для степной зоны Кабардино-Балкарской Республики, где эта культура занимает значительные площади, актуальна селекция и интродукция сортов, характеризующихся высокой адаптивностью к абиотическим стрессовым факторам среды.

ЦЕЛЬ. Изучить адаптивность сортов озимого ячменя в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии для определения потенциала сортов и формирования научно обоснованных рекомендаций по выращиванию в регионе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Полевые опыты проводили в 2023–2025 гг. Материалом исследований были семь сортов озимого ячменя селекции Национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко совместно с Институтом сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. Пластичность и стабильность сортов определяли по методу Эберхарта – Рассела, стрессоустойчивость и генетическую гибкость – по методике Гончаренко.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В 2025 году при оптимальных условиях ($I_j = +0,72$) урожайность сортов озимого ячменя варьировала от 6,3 до 8,1 т/га. Коэффициент линейной регрессии $b_i > 1$ отмечен у сортов Кладенец (1,47), Мир (1,52) и Инсар (1,21) — они пластичны и положительно отзываются на улучшение агрофона. Стабильными признаны Мадар ($\sigma^2 d = 0,002$) и Вася (0,088). По стрессоустойчивости выделились Иосиф, Вася и Сатурн, а по генетической гибкости – Кладенец (6,65) и Инсар (6,55).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенные исследования позволили идентифицировать сорта озимого ячменя, обладающие потенциалом для выращивания в условиях дефицита и нестабильной влагообеспеченности, демонстрирующие стабильно высокую урожайность независимо от климатических особенностей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: озимый ячмень, экологическая пластичность, стабильность урожайности, стрессоустойчивость сортов, адаптивный потенциал

<https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117>

Evaluation of plasticity and stability in winter barley varieties in the agrobiocenosis of Kabardino-Balkaria

CORRESPONDENCE:

Aminat Kh. Malkanduyeva

E-mail: malkanduyewaax@mail.ru

FOR CITATION:

Malkanduyeva A.Kh., Malkanduyev Kh.A., Shamurzayev R.I., Kashukoyev M.V., Bazgiev M.A., Badurgova K.Sh.

Evaluation of plasticity and stability in winter barley varieties in the agrobiocenosis of Kabardino-Balkaria.

Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2026;16(3):66-79. <https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117>

RECEIVED: 27.04.2026

REVISED: 30.07.2026

ACCEPTED: 13.08.2026

PUBLISHED ONLINE: 09.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026

Malkanduyeva A.Kh.,
Malkanduyev Kh.A.,
Shamurzayev R.I.,
Kashukoyev M.V.,
Bazgiev M.A.,
Badurgova K.Sh.



Aminat Kh. Malkanduyeva ¹, Khamid A. Malkanduyev ¹,
Rustam I. Shamurzayev ¹, Murat V. Kashukoyev ²,
Magomed A. Bazgiev ³, Kulsum Sh. Badurgova ³

¹ Institute of Agriculture — Branch of the Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Nalchik, Russia

² Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia

³ Ingush Research Institute of Agriculture, Sunzha, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Against the background of increasing climatic instability in southern Russia, characterized by growing aridity and temperature anomalies, there is a need to cultivate winter barley varieties with high adaptability. For the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic, where this crop occupies significant areas, the breeding and introduction of varieties characterized by high adaptability to abiotic stress factors of the environment are relevant.

AIM. To study the adaptability of winter barley varieties under the steppe conditions of Kabardino-Balkaria in order to determine their potential and to formulate scientifically based recommendations for cultivation in the region.

MATERIALS AND METHODS. Field experiments were conducted during 2023–2025. The research material comprised seven winter barley varieties bred by the P. P. Lukyanenko National Grain Center in collaboration with the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Plasticity and stability of the varieties were determined using the Eberhart–Russell method, while stress tolerance and genetic flexibility were assessed according to the Goncharenko procedure.

RESULTS. In 2025, under optimal conditions ($I_j = +0.72$), the yield of winter barley varieties ranged from 6.3 to 8.1 t/ha. A linear regression coefficient $b_i > 1$ was recorded for Kladenets (1.47), Mir (1.52), and Insar (1.21) indicating high plasticity and a positive response to improved agronomic background. Madar ($\sigma^2 d = 0.002$) and Vasya (0.088) were recognized as stable. Iosif, Vasya, and Saturn stood out in terms of stress tolerance, while Kladenets (6.65) and Insar (6.55) — in terms of genetic flexibility.

CONCLUSION. The conducted studies made it possible to identify winter barley varieties with potential for cultivation under conditions of deficient and unstable moisture supply, demonstrating consistently high yields regardless of climatic features.

KEYWORDS: winter barley, ecological plasticity, yield stability, stress tolerance of varieties, adaptive potential to reduce labor inputs, and incorporate bee pollination services into the state support system for the agricultural sector

ВВЕДЕНИЕ

В связи с растущей нестабильностью климата, угрожающей глобальной продовольственной безопасности, существует острая необходимость в выведении культур, устойчивых к его изменению. Современные научные исследования направлены на изучение сложных механизмов, лежащих в основе дефицита влаги у сельскохозяйственных растений [1; 2]. Прогнозируемые климатические изменения способны не только приостановить положительную динамику валовых сборов, но и вызвать падение урожайности. В связи с этим предполагается, что 79 % от общего сбора продукции будет обеспечено за счет повышения урожайности [3] сельскохозяйственных культур путем создания или отбора адаптивных генотипов. В течение многих лет пестициды и минеральные удобрения способствовали стабильному урожаю сельскохозяйственных культур, однако ожидается, что их использование будет ограничено из-за негативного воздействия на окружающую среду. Анализ исследований, проведенных за последние 50 лет в Китае, свидетельствует о том, что устойчивость сельского хозяйства и продовольственная безопасность страны сталкиваются с беспрецедентными вызовами из-за участвующих экстремальных климатических явлений, включая, в частности, экстремальные засухи последних лет в стране [4], что в дальнейшем повлечет снижение урожайности у сельскохозяйственных культур.

Ячмень, как одна из древнейших зерновых культур, широко распространен по всему миру благодаря своим ценным качествам, остается четвертой по распространенности культурой в мире и ценится за свою универсальность в солодовенном и пивоваренном производстве, кормах для животных, питании человека, пищевых добавках. В полузасушливых и засушливых регионах достижение стабильности урожая остается труднодостижимой целью. Часто сорта ячменя с хорошим потенциалом урожайности и качества не проявляют устойчивости к дефициту воды, поэтому крайне важно добиться генетических улучшений для создания сортов, устойчивых к изменению климата [5]. Понимание роли изменений окружающей среды в росте зерновых культур крайне важно для отбора генотипов с повышенной адаптивностью. По мнению ряда исследователей, условия окружающей среды оказывают сильное влияние на фенологическое развитие и урожайность зерна ячменя, в то время как признаки качества показывают относительно

большую стабильность, что указывает на более сильный генетический материал [6; 7].

Абиотические стрессоры, связанные с изменением климата, такие как засуха, жара, засоление и дефицит питательных веществ, представляют серьезную угрозу для мирового сельского хозяйства, нарушая рост, развитие и размножение растений. Эти стрессы вносят существенный вклад в снижение урожайности как на региональном, так и на глобальном уровнях, тем самым подрывая продовольственную безопасность. Поэтому разработка стрессоустойчивых культур является важнейшей задачей, достижимой благодаря передовым селекционным стратегиям и интеграции новых технологий. Эффективное управление абиотическими стрессами требует всестороннего понимания лежащих в их основе физиологических, биохимических и экологических процессов [8]. По мере увеличения частоты засух выведение новых засухоустойчивых сортов зерновых культур может приобретать все большее значение. Однако сложно точно изучить комплексное воздействие засухи на признаки, связанные с урожайностью зерна, учитывая недостаточную информацию о влиянии дефицита влаги на рост и развитие озимого ячменя [9].

В этом контексте первостепенное значение имеет отбор генотипов со стабильным и высоким потенциалом урожайности в различных условиях, поскольку это может напрямую повысить продуктивность в регионах, подверженных климатическим изменениям [10]. Как считают Т. Оливото и др. [11], а также С. Рахмати и др. [12], анализ взаимодействия генотипа и окружающей среды (GEI) играет ключевую роль в любой селекционной программе, включающей разработку новых сортов для выращивания в различных условиях или в конкретном регионе. В своих исследованиях Б. Фантахун [13] изучал взаимодействие генотипа и окружающей среды и определил их роль в понимании стабильности с помощью современных статистических методов, которые помогли выявить генотипы ячменя, сочетающие желаемые и стабильные агрономические признаки.

По данным из Доклада Росгидромета, на территории России продолжается потепление, темпы которого намного превышают среднеглобальные. В регионах с переменчивыми природными условиями, такими как юг России (с его теплыми зимами, различными типами засух, переувлажнением и вариативным плодородием почв), способность сортов адаптироваться к этим факторам становит-

ся критически важной. Это позволяет более точно оценивать их экологическую пластичность и выявлять наиболее устойчивые сорта [14]. Учеными из Китая Ц. Цзян и др. [15] представлен предварительный результат селекционной работы по ячменю на период до 2035 года. В материалах проанализированы адаптация сортов ячменя к изменению климата, повышение урожайности и качества зерна, обозначены ключевые области для прорывов: геномные исследования, биоинформатика, создание новых сортов, изучение стрессоустойчивости и улучшение агрономических характеристик. По утверждению авторов, полученные данные могут быть использованы селекционерами при создании новых адаптивных сортов озимого ячменя для конкретных климатических условий. Х. Г. М. Д. Ахмед и др. [16] дали комплексную оценку генотипам ячменя с точки зрения их морфологии, физиологии и генетики для понимания механизма проявления климатической устойчивости в условиях водного дефицита (засухи). Такой подход позволил глубже разобраться в структуре, благодаря которой растения справляются со стрессом, и выявить перспективные образцы для дальнейшей селекции.

Ученые из Института сельского хозяйства (Карнобат, Болгария, 2024 г.) в своих исследованиях оценили взаимодействие генотипа и года для 20 образцов озимого ячменя в условиях юго-восточной Болгарии. Используя различные методы исследований, ими выявлены наиболее урожайные и стабильные по годам генотипы, демонстрирующие стабильно высокую урожайность и генетический ресурс для повышения урожайности зерна [17]. Агрометеорологический полевой эксперимент, проведенный в Берлине-Далеме (Германия, 2019–2022 гг.) А. Йигит и др. [18], с применением различных статистических программ показал, как изменчивость окружающей среды влияет на формирование урожайности озимого и ярового ячменя. По результатам опыта ими получены данные о слабой связи погоды и урожайности, что говорит о большой стабильности озимого ячменя. Для оценки влияния генотипа озимого ячменя и окружающей среды на показатели адаптивности, стабильности и урожайности в целях дальнейшего анализа показателей в условиях юга Эфиопии Ш. Дербеу и др. [19] в своих работах использовали регрессионные модели С. А. Эберхарт и др. [20]. Полученные данные свидетельствуют о влиянии окружающей среды на показатели адаптивности и урожайности сортов озимого ячменя.

Устойчивость сорта к стрессу — еще один показатель адаптивности, он характеризует его приспособ-

ленность к контрастному по метеорологическим условиям году. Чем меньше перепад между показателями максимальной и минимальной урожайности, тем выше стрессоустойчивость сорта, т. е. он более приспособлен к экстремальным факторам [21]. Генетическая гибкость сорта или компенсаторная способность отражает среднюю урожайность в контрастных условиях (стрессовых и не стрессовых), а высокие значения этого показателя указывают на большую степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды.

Климатические условия степной зоны Кабардино-Балкарии характеризуются ярко выраженной изменчивостью погодных условий в течение года. В период с 1961 по 2024 г. происходил рост среднегодовых температур со скоростью 0,37 °C /10 лет, из них в летний сезон на 0,48 °C/10 лет, осенний на 0,53 °C/10 лет, в зимний на 0,44 °C/10 лет и в весенний на 0,31 °C/10 лет. Из описания климатических условий степной зоны Кабардино-Балкарии следует, что наряду с благоприятными условиями зимовки возникают другие риски, связанные с потеплением, а именно — засухи и снижение увлажненности почвы [3]. Ежегодно в Кабардино-Балкарии возделывается около 20 сортов озимого ячменя, большая часть которого размещается в степной зоне и занимает от 15 до 25 % озимого клина республики, поэтому акцент на внедрение адаптивных к стрессовым факторам среды генотипов представляет определенный интерес.

Целью исследований является выявление сортов, адаптивных к условиям дефицита влаги, характерного для степной зоны Кабардино-Балкарии, на основе показателей экологической пластичности, стабильности, стрессоустойчивости и генетической гибкости. В рамках исследования будет раскрыт потенциал сортов для дальнейшего использования при выращивании и в селекционных программах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследования проводили в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики (Терский район, с. Опытное) на экспериментальной базе Института сельского хозяйства — филиала федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук РАН» (ИСХ КБНЦ РАН) в 2022–2025 гг. Степная зона — зона неустойчивого

и недостаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков в зоне составляет 360–480 мм, из них 289–300 мм приходится на вегетационный период.

Опыты закладывали с сортами озимого ячменя Мир, Кладенец, Сатурн, Вася и Иосиф, созданными в Национальном центре зерна им. П. П. Лукьяненко и совместно с ИСХ КБНЦ РАН – Мадар и Инсар.

Методы

При проведении исследований использовали Методику полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) *, Методику государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур **. Оценка почвенных образцов проводили по ГОСТ 26205–91 ***; ГОСТ 26213–91 ****; ГОСТ 26483–85 *****. Для определения экологической устойчивости сортов применена методика, разработанная С. А. Эберхарт и Б. А. Рассел (1966 г.). Данный подход базируется на вычислении коэффициента линейной регрессии b_i (экологической пластичности) и дисперсии $\sigma^2 d$ (экологической стабильности). Параметр экологической пластичности показывает реакцию сорта на улучшение условий возделывания. Он может принимать значение больше или меньше 1 либо равняться ей. Для расчета экологической пластичности вычисляли среднюю урожайность по сортам (Y_i) и по опыту (Y_j). Среднюю урожайность по опыту определяли по формуле

$$Y = \frac{\sum Y_{ij}}{v \times n} \quad (1)$$

Для вычисления коэффициента линейной регрессии b_i (экологической пластичности) определяли индексы условий среды I_j по формуле

$$I_j = \frac{\sum Y_{ij}}{v} - \frac{\sum \sum Y_{ij}}{v \times n} \quad (2)$$

где $\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за определенный год;
 $\sum \sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за весь период;
 v – количество сортов;
 n – количество лет.

Индекс условий среды отражает оптимальность условий возделывания для культуры в определенный период. Рассчитан коэффициент регрессии (b_i) для каждого сорта, который отражает его экологическую пластичность по формуле

$$b_i = \sum Y_{ij} I_j / \sum I_j^2, \quad (3)$$

где $\sum Y_{ij} I_j$ – сумма произведения урожайности сорта за год на соответствующую величину индекса условий среды;
 $\sum I_j^2$ – сумма квадратов индексов условий среды.

Для определения стабильности урожайности вычисляем теоретическую урожайность каждого сорта по формуле

$$Y_{ij} = x_i + b_i \times I_j, \quad (4)$$

где x_i – средняя урожайность сорта за годы исследований;
 $b_i \times I_j$ – произведение коэффициента регрессии сорта на индекс условий среды.

Отклонение фактической урожайности от теоретической вычисляли по формуле

$$\sigma_{ij} = Y_{ij} - x_i, \quad (5)$$

где Y_{ij} – фактическая урожайность сорта за определенный период;
 x_i – теоретическая урожайность сорта за определенный год.

Коэффициент дисперсии (экологическая стабильность) определяли по формуле

$$\sigma d^2 = \sum \sigma_{ij}^2 / (n - 2), \quad (6)$$

где $\sum \sigma_{ij}^2$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической.

Уровень устойчивости сорта к стрессу ($Y_{\min} + Y_{\max}$) и генетическую гибкость (компенсаторная способность) генотипов $((Y_{\min} + Y_{\max})/2)$ вычисляли по формулам в изложении А. А. Гончаренко (2005 г.) [22].

* Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М., 2011. 350 с.

** Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Об. ч. М., 2019. 329 с.

*** ГОСТ 26205–91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М., 1992. 10 с.

**** ГОСТ 26213–91 Почвы. Методы определения органического вещества. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М., 1992. 8 с.

***** ГОСТ 26483–85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М., 1992. 6 с.

Процедура исследования

Схема опыта включала делянки площадью 21 м², расположенные в 4-кратной повторности с систематическим размещением. Посев рядовым способом, сеялкой Клен – 1,5, по предшественнику горох на зерно; норма высева 3,5–4,0 млн всхожих семян на 1 га, сроки посева оптимальные для зоны, уборка комбайном Terrion-2010.

Анализ данных

Интерпретацию статистических данных в исследованиях проводили с использованием пакета приложений Microsoft Excel 2010 г.

Почвенно-климатические условия

Почва опытных участков представлена черноземом обыкновенным карбонатным. Содержание гумуса от 3,0 до 3,5 %, подвижного фосфора – 1,5–2,8 мг/100 г и обменного калия – 36–43 мг/100 г. Реакция почвы слабощелочная (рН – 7,6–8,0). Климатический режим в период исследований характеризовался изменчивостью, что позволило полнее оценить сорта озимого ячменя по показателям адаптивности к условиям возделывания и выделить лучшие из них (рисунки 1, 2).

В период 2022/2023 сельскохозяйственного года погодные условия были в целом благоприятными, с оптимальными температурными показателями на протяжении всего исследуемого периода. Зимние месяцы ознаменовались дефицитом осадков, составившим 50 % от установленной нормы. Март и апрель характеризовались достаточным уровнем влаги и температурами, превышающими среднегодовые значения на +4...+6 °С. В мае наблюдался незначительный дефицит осадков, а обильные ливни в июне (177 % от нормы) отрицательно сказались на урожайности. 2023/2024 сельскохозяйственный год отличался хорошим увлажнением в осенне-зимний период. В апреле и мае недобор осадков составил 22,5 %, но прошедшие дожди в июне (146 % от нормы) покрыли дефицит влаги, а оптимальный температурный режим позволил получить хороший урожай. В 2024/2025 сельскохозяйственном году отмечались обильные осадки в октябре и ноябре, 123 % от нормы, что способствовало появлению дружных всходов озимого ячменя. Положительная температура вместе с достаточной влагообеспеченностью позволили растениям благоприятно уйти в зиму, пройти период весеннего кущения, фазу выхода в трубку и колошения с оптимальным режимом, незначительно превосходящим климатическую норму, и, несмотря на дефицит влаги в мае и июне, этот период исследований характеризуется максимальной урожайностью озимого ячменя.

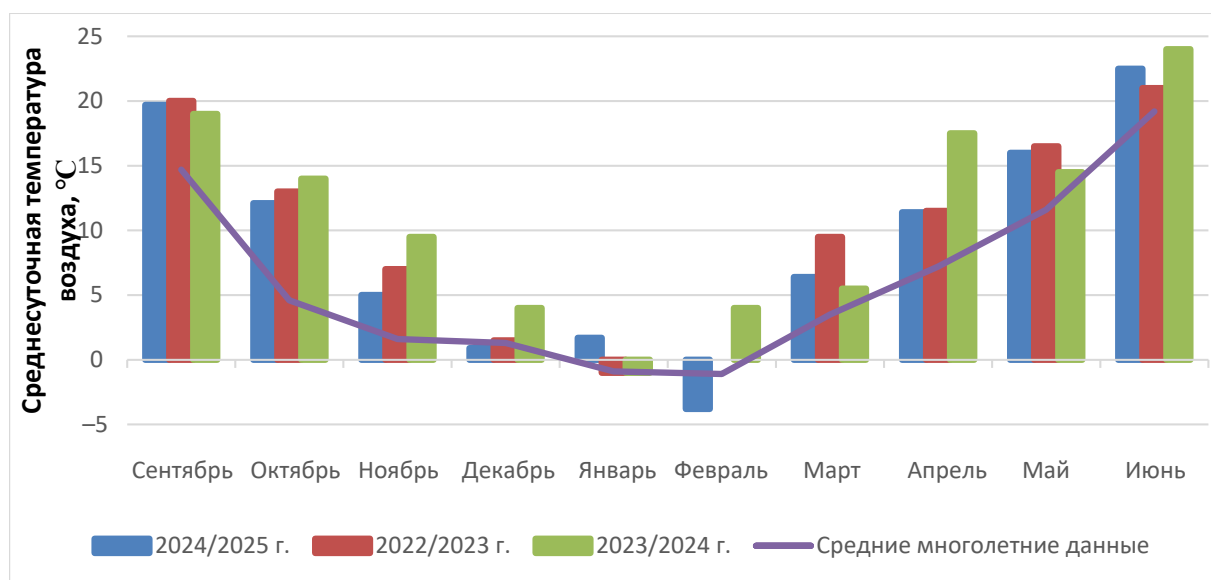


Рисунок 1

Среднесуточная температура воздуха, °C (по данным метеостанции ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2025 гг.)

Figure 1

Average daily air temperature, °C (according to the meteorological station of the Institute of Agriculture Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2022–2025)

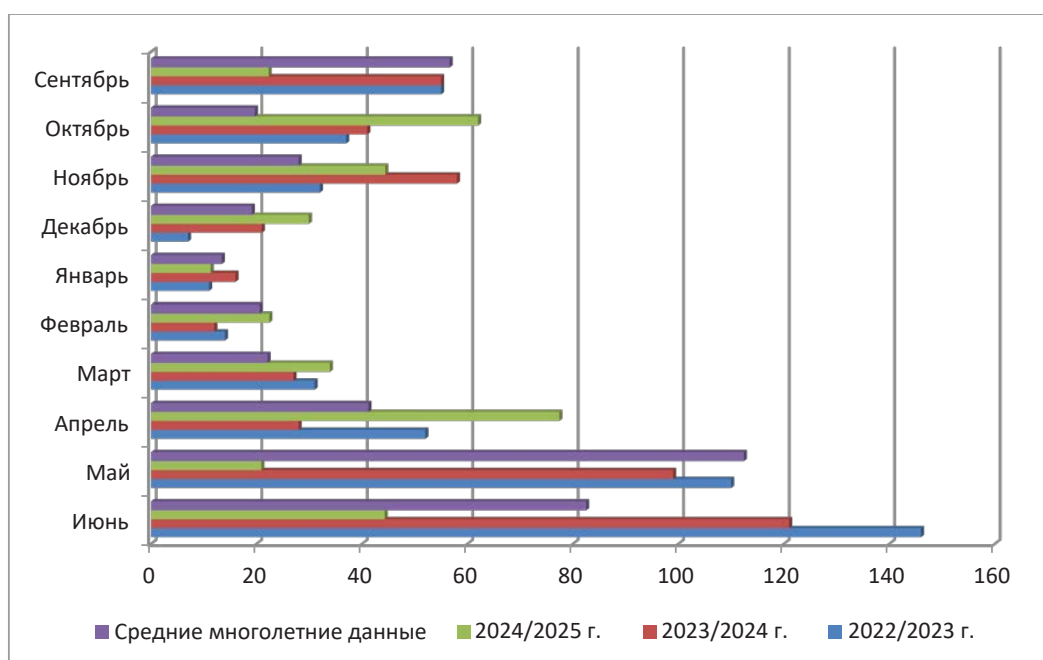


Рисунок 2

Сумма осадков, мм (по данным метеостанции ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2025 гг.)

Figure 2

Total precipitation, mm (according to data from the meteorological station of the Institute of Agriculture Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2022–2025)

Одновременно с этим экстремальная вариабельность климатических условий, значительно превышающая среднемноголетние показатели, создала идеальные условия для комплексной оценки потенциала сортов в отношении их стабильности, пластичности, стрессоустойчивости и генетической гибкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка адаптивного потенциала новых сортов позволяет с высокой точностью прогнозировать продуктивность растений в стрессовых условиях, что способствует оптимизации производственных затрат. В частности, селекция озимого ячменя сегодня сфокусирована на создании экологически пластичных генотипов, сочетающих стабильную урожайность с повышенной устойчивостью к абиотическим факторам среды. В наших исследованиях оценивался вклад генотипа и среды в формирование урожайности. Анализ многолетних данных показал, что климатические факторы оказывают дифференцированное влияние на продуктивность исследуемых сортов. Определение вклада генотипа и среды в урожайность представлены в таблице 1.

Оптимальные условия для озимого ячменя сложились в 2025 году, при положительном значении индекса ус-

ловий среды ($I_j = +0,72$) неблагоприятным оказался 2023 год, при отрицательном значении индекса ($I_j = -0,83$).

Коэффициент линейной регрессии (b_i) отражает отклик сорта на изменение агротехники, а дисперсия характеризует стабильность в различных условиях. Для каждого сорта установили коэффициент линейной регрессии (b_i), где варьирование по сортам составило 0,34–1,52. Это позволило разделить изучаемые сорта на более отзывчивые на изменение условий среды и слабо отзывчивые. Сорта с коэффициентом менее 1 ($b_i < 1$) отличаются слабой реакцией на изменения условий окружающей среды. Они способны формировать высокие урожаи в любых условиях, в том числе и при низком агрофоне. По результатам наших исследований к ним отнесены Иосиф, Сатурн, Вася. Коэффициент линейной регрессии более 1 ($b_i > 1$) получен у сортов Кладенец, Мир, Инсар, т. е. они более пластичны и положительно откликаются на улучшение условий возделывания. Критические погодные условия года, а также недостаточный агрофон у этих сортов снижает зерновую продуктивность. Высокая отзывчивость на улучшение условий выращивания отмечена в 2025 году у сортов Кладенец (7,8 т/га), Инсар (8,1 т/га), Мир (7,3 т/га), которая показывает динамическое изменение урожайности с учетом влияния природной среды на ее формирование. В аналогичных исследова-

ниях Т. Оливото и др. [11] получены данные об урожайности и стабильности генотипов овса в засушливых условиях жаркого субтропического климата, с равномерным распределением осадков от 100 до 170 мм в месяц. Согласно полученным ими результатам обнаружена вариабельность показателей урожайности в зависимости от года и условий окружающей среды. Результаты наших опытов подтверждаются исследованиями Н. В. Тетянникова и Н. А. Боме [14], в исследо-

ваниях которых установлены адаптивность, пластичность, стабильность и гомеостатичность урожайности двух подвидов ячменя, что позволяет рекомендовать эти показатели как наиболее информативные при отборе ценных форм для селекционных программ.

Для вычисления экологической стабильности по урожайности среди изучаемых генотипов была посчитана их теоретическая урожайность (таблица 2, рисунок 3).

Таблица 1

Оценка индекса условий среды и коэффициента линейной регрессии сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.)

Table 1

Assessment of the environmental conditions index and the linear regression coefficient of winter barley varieties (2023–2025)

Сорт	Урожайность, т/га			ΣY_i^*	Y_i^*	b_i^*
	2023 г.	2024 г.	2025 г.			
Мадар	4,73	5,71	6,25	16,69	5,56	0,99
Кладенец	5,46	6,32	7,83	19,61	6,54	1,47
Мир	5,13	7,63	7,32	20,08	6,69	1,52
Сатурн	5,38	6,66	6,32	18,36	6,12	0,67
Инсар	5,87	5,04	8,05	18,96	6,32	1,21
Вася	5,24	6,31	6,45	18,00	6,00	0,81
Иосиф	5,84	6,57	6,31	18,72	6,24	0,34
ΣY_j^*	37,65	44,24	48,53	130,42	4,47	—
Y_j^*	5,38	6,32	6,93	18,63	6,21	—
I_j^*	–0,83	0,11	0,72	—	—	—
HCP_{05}	0,19	0,23	0,17	—	—	—

Примечание: ΣY_i^* – сумма урожайности по сорту; Y_i^* – средняя урожайность по сорту; b_i^* – коэффициент линейной регрессии; ΣY_j^* – сумма урожайности по опыту; Y_j^* – средняя урожайность по опыту; I_j^* – индекс условий среды.

Note: ΣY_i^* is the sum of yields by variety; Y_i^* is the average yield by variety; b_i^* is the coefficient of linear regression; Y_j^* is the sum of yields by experience; Y_j^* is the average yield by experience; I_j^* is the index of environmental conditions.

Таблица 2

Теоретическая урожайность сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.), т/га

Table 2

Theoretical yield of winter barley varieties (2023–2025), t/ha

Сорт	Теоретическая урожайность, т/га			Y_i^* (ср.)
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	
Мадар	4,74	5,67	6,27	5,56
Кладенец	5,32	6,70	7,60	6,54
Мир	5,43	6,86	7,78	6,69
Сатурн	6,68	6,19	6,60	6,49
Инсар	5,32	6,45	7,19	6,32
Вася	5,33	6,09	6,58	6,00
Иосиф	5,96	6,28	6,48	6,24
HCP_{05}	0,16	0,22	0,25	—

Примечание: Y_i^* (ср.) * – средняя теоретическая урожайность по сорту.

Note: Y_i^* (avg.) * – average theoretical yield by variety.

Из представленных в таблице 2 данных видно, что в 2025 году, с максимально-положительным индексом условий среды, более высокая теоретическая урожайность получена у сортов Кладенец, Мир и Инсар (7,60; 7,78; 7,19 т/га).

Данные теоретической урожайности сортов позволили вычислить экологическую стабильность генотипов озимого ячменя в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения (таблица 3).

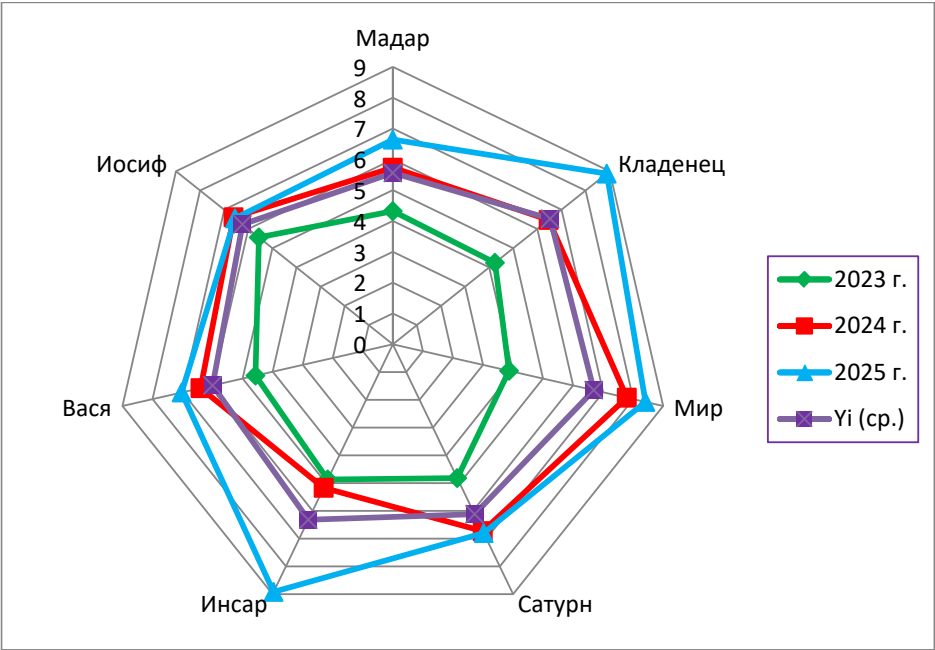


Рисунок 3
Теоретическая урожайность сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.), т/га

Figure 3
Theoretical yield of winter barley varieties (2023–2025), t/ha

Таблица 3
Стабильность урожайности сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.), т/га

Table 3
Yield stability of winter barley varieties (2023–2025), t/ha

Сорт	Отклонение фактической урожайности от теоретической, т/га			$\sum \sigma_{ij}^{2*}$	$\sigma^2 d^*$
	2023 г.	2024 г.	2025 г.		
Мадар	–0,01	0,04	–0,02	0,002	0,002
Кладенец	0,14	–0,38	0,23	0,220	0,220
Мир	–0,30	0,77	–0,46	0,890	0,890
Сатурн	–1,30	0,47	–0,28	1,990	1,990
Инсар	0,55	–1,41	0,86	3,030	3,030
Вася	–0,09	0,25	–0,13	0,088	0,088
Иосиф	–0,12	0,29	–0,17	0,127	0,127

Примечание: $\sum \sigma_{ij}^{2*}$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической; $\sigma^2 d^*$ – коэффициент стабильности.

Note: $\sum \sigma_{ij}^{2*}$ is the sum of deviation squares of the actual yield from the theoretical one; $\sigma^2 d^*$ is the stability coefficient.

Разность между фактической и теоретической урожайностью представляет собой показатель отклонения урожайности. Расчет экологической стабильности (σ^2d) среди изучаемых генотипов озимого ячменя показал следующие результаты. Ранжирование по среднеквадратичному отклонению у сортов позволило выделить более стабильные из них по урожайности в различные по климатическим условиям периоды — Мадар ($\sigma^2d = 0,002$) и Вася ($\sigma^2d = 0,088$). Самыми нестабильными сортами следует считать Инсар ($\sigma^2d = 3,03$) и Сатурн ($\sigma^2d = 1,99$). Аналогичные исследования по изучению влияния условий среды и генотипа на стабильность и урожайность сортов озимого ячменя были проведены учеными Б. Дюльгеровой и др. [17] из Института сельского хозяйства (Карнобат, Болгария, 2024 г.). В своих опытах они оценили взаимодействие генотипа и года для 20 образцов озимого ячменя в условиях юго-восточной Болгарии. Различные методы исследований позволили им выявить наиболее урожайные и стабильные по годам генотипы, демонстрирующие стабильно высокую урожайность и генетический ресурс для повышения урожайности зерна.

Одним из главных показателей адаптивности и экологической пластичности сорта является устойчивость сорта к стрессору. Степень устойчивости сорта к неблагоприятным факторам определяется по разнице между минимальными и максимальными показателями урожайности ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Чем ниже интервал между показателями минимальной и максимальной урожайности, тем выше стрессоустойчивость и выносливость сорта в неблагоприятных условиях. Генетическая гибкость, или компенсаторная способность $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$ отражает среднюю урожайность сорта в контрастных условиях. При

определении адаптивного потенциала сортов озимого ячменя нами дана оценка их стрессоустойчивости и генетической гибкости (таблица 4).

Исследователями из различных научно-исследовательских учреждений Эфиопии (Дербё Ш., и др.) [19] дана оценка влияния взаимодействия генотипа и окружающей среды на урожайность ячменя на юге Эфиопии. По аналогии с нашими исследованиями в своей работе они использовали регрессионные модели, предложенные Эберхартом и Расселом [20], которые, по их мнению, могут быть использованы для поиска адаптивных, высокопродуктивных и стабильных генотипов ячменя. Ими даны рекомендации по 18 перспективным сортам озимого ячменя для широкого распространения в условиях юга Эфиопии.

Для изучения экологической адаптации, формирования урожая и устойчивости к абиотическим стрессам в Центре сельскохозяйственных исследований (HUN-REN ATK, Мартонвашар, Венгрия) было исследовано около 30 сортов озимого ячменя. Полученные результаты исследований свидетельствуют о снижении урожайности озимого ячменя на 44 % из-за влияния засухи. Результаты нашего эксперимента согласуются с выводами коллег из Венгрии. При этом отметим, что урожайность по причине влияния стресса в наших опытах уменьшилась на 12–37 %.

Ранжируя генотипы по стрессоустойчивости можно отметить, что у сортов Иосиф, Вася и Сатурн были зафиксированы минимальные отрицательные значения разности между минимальной и максимальной урожайностью, варьирующие в диапазоне от –0,73 до –1,28, т. е. они являются более стрессоустойчивыми.

Таблица 4

Оценка стрессоустойчивости и генетической гибкости сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.)

Table 4

Assessment of stress tolerance and genetic flexibility of winter barley varieties (2023–2025)

Сорт	Урожайность, т/га		Стрессоустойчивость, $(Y_{\min} - Y_{\max})$	Генетическая гибкость сорта, $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$
	min	max		
Мадар	4,73	6,25	–1,52	5,49
Кладенец	5,46	7,83	–2,37	6,65
Мир	5,13	7,63	–2,50	6,38
Сатурн	5,38	6,66	–1,28	6,02
Инсар	5,04	8,05	–3,01	6,55
Вася	5,24	6,45	–1,21	5,85
Иосиф	5,84	6,57	–0,73	6,21

Кроме того, существует возможность оценки генетической гибкости сортов, которая характеризует их среднюю продуктивность в условиях выраженных контрастов. Увеличение данного параметра коррелирует с повышением показателя взаимодействия между фактором среды и конкретным сортом. Повышенные значения генетической гибкости были идентифицированы у сортов озимого ячменя Кладенец (6,65) и Инсар (6,55). В соответствии с задачами исследований выявлен потенциал 7 сортов озимого ячменя, из которых выделены способные формировать оптимальную урожайность в различные по климатическим условиям годы. В ходе исследований дана оценка их стрессоустойчивости и генетической гибкости. Согласно полученным результатам наиболее стрессоустойчивым сортом признан Иосиф ($-0,73$), так как имеет наименьший отрицательный показатель между минимальной и максимальной урожайностью, а генетически гибким — Кладенец (6,65), средняя урожайность которого является максимальной в контрастных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение реакции сортов озимого ячменя на условия окружающей среды показало, что в формировании урожайности имеют значение генотипы

и показатели адаптивности. По результатам исследований стабильными сортами признаны Мадар ($\sigma^2d = 0,002$) и Вася ($\sigma^2d = 0,088$), у которых изменение условий среды не влияло на показатели урожайности. Сорта озимого ячменя Мир, Кладенец и Инсар, имеющие коэффициенты экологической пластичности $b_i = 1,52$; $1,47$ и $1,21$ соответственно, предпочтительно выращивать на интенсивном фоне с высоким уровнем агротехники. Сорт Иосиф реагировал слабее ($b_i < 1$) остальных сортов на улучшение условий среды и больше подходит для экстенсивного фона, способен формировать высокие урожаи в любых условиях, наиболее стрессоустойчив, так как имеет наименьший отрицательный показатель ($-0,73$) между минимальной и максимальной урожайностью.

По результатам оценки и анализа данных наблюдаются различия в реализации экологической пластичности и стабильности у сортов озимого ячменя. Полученные данные позволяют идентифицировать перспективный генетический материал, необходимый для селекционного совершенствования ячменя. Это создает научно обоснованную базу для выведения сортов, сочетающих высокую экологическую пластичность и стабильность урожайности в контексте глобальных климатических изменений.

Вклад авторов

А. Х. Малкандуева: проведение исследования, формальный анализ, написание черновика рукописи.

Х. А. Малкандуев: научное руководство, разработка методологии.

Р. И. Шамурзаев: проведение исследования, предоставление ресурсов, визуализация.

М. В. Кашукоев: курирование данных.

М. А. Базгиев: валидация результатов, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

К. Ш. Бадургова: визуализация.

Contributions

A. Kh. Malkandueva: investigation, formal analysis, writing – original draft.

Kh. A. Malkanduev: software, methodology.

R. I. Shamurzaev: investigation, resources, visualization.

M. V. Kashukoev: data curation.

M. A. Bazgiev: validation writing – review & editing.

K. Sh. Badurgova: visualization.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCE

1. OECD and FAO. 2023. OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris, OECD Available: <https://openknowledge.fao.org/items/a4e5c326-37a7-43c7-9455-b35efb613827>
2. Töpfer V., Matros A., Zaar A., et al. Impacts of early drought stress and plant-based biologicals on malting and feed barley quality. *Frontiers in Agronomy*. 2026;8:1786829. <https://doi.org/10.3389/fagro.2026.1786829>

3. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., и др. Влияние климатических факторов на условия производства сельскохозяйственной продукции в КБР. *Наука. Инновации. Технологии*. 2025;4:47-68. <https://doi.org/10.34493/2308-4758.2025.4.2>
Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., et al. The influence of climatic factors on the conditions of agricultural production in the Kabardino-Balkarian Republic. *Science. Innovation. Technologies*. 2025;4:47-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.34493/2308-4758.2025.4.2>
4. Hao J., Wang Y., Guo Y., Liu M. Changes in extreme agro-climatic droughts and their impact on grain yield in rainfed agricultural regions of China over the past 50 years. *Atmosphere*. 2022;13:4. <https://doi.org/10.3390/atmos13010004>
5. Elakhdar A., Solanki Sh., Kubo T. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;201(110):104965. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
6. Vasilescu L., Petcu E.-I., Vasilescu V.S., et al. Phenotypic and agronomic evaluation of a winter barley genotype panel for breeding programs. *Agronomy*. 2026;16b:667. <https://doi.org/10.3390/agronomy16060667>
7. Ben Naser M., Sheikh-Mohamed H. The most relevant drought-tolerant indices for selecting barley drought-tolerant genotypes. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*. 2024;1(5):15-23. <https://doi.org/10.51753/flsrt.1362571>
8. Begna T., Gichile H., Teresa T., et al. Crop cultivation under abiotic stress: management options and plant responses. *Ecological Genetics and Genomics*. 2026;38:100454. <https://doi.org/10.1016/j.eGg.2026.100454>
9. Berki Z., Kiss T., Bányai J., et al. Effect of drought stress during critical developmental stages on morphological and grain yield-related traits in winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS One*. 2025;20(7):e0329391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329391>
10. Nataraj V., Gupta S., Singh K.H., et al. Envirotype-based delineation of environmental effects and genotype×environment interactions in Indian soybean (*Glycine max*, L.). *Scientific Reports*. 2024;14:11629. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-29025-2>
11. Olivoto T., Lucio A. D., da Silva J. A., et al. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*. 2019;111(6):2961-2969. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221>
12. Rahmati S., Azizi-Nezhad R., Pour-Aboughadareh A., et al. Analysis of genotype-by-environment interaction effect in barley genotypes using AMMI and GGE biplot methods. *Heliyon*. 2024;10(18):e38131. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38131>
13. Fantahun B., Woldeamayrat T. Multi-environment trial analysis on barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using AMMI, GGE biplot, and multi-trait stability index. *Heliyon*. 2026; 12(13):e45194. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2026.e45194>
14. Тетяnnиков Н.В., Боме Н.А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):63-73. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-63-73>
Tetyannikov N.V., Bome N.A. Analysis of the genotype × environment interactions and assessment of the adaptability potential in barley under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):63-73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-63-73>
15. Jiang C., Kan J., Gao G., et al. Barley2035: A decadal vision for barley research and breeding. *Molecular Plant*. 2025;18:195-218. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.12.009>
16. Ahmed H.G.M.D., Yang J., Yang X., et al. Integrative morpho-physiological and genetic characterization of barley genotypes for climate resilience under water deficit conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2025;23(5):6011-6040. <https://doi.org/10.15666/aeer/2303-60116040>
17. Dyulgerova B., Dyulgerov N. Genotype-by-year interaction and simultaneous selection for grain yield and stability in winter barley. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024;30(3):466-475.
18. Yi˘git, A., Chmielewski F.-M.A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. *Agronomy*. 2024;14:1503. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071503>

19. Derbeu Sh., Mekbib F., Lakev B., et al. AMMI and GGE biplot analysis for barley genotype yield performance and stability under multi environment condition in southern Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2024;7(3):e20565. <https://doi.org/10.1002/agg2.20565>
20. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci.1966.0011183x0006000010011x>
21. Сотник А.Я. Оценка адаптивных свойств сортов ячменя по урожайности в Приобской лесостепи. *Письма в Вавиловский журнал Генетики и селекции*. 2025; 11(2):73-79. <https://doi.org/10.18699/letvjgb-2025-11-11>
Sotnik A.Ya. Evaluation of barley varieties adaptive properties by productivity in the Priobskaya forest-steppe zone. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*. 2025;11(2):73-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/letvjgb-2025-11-11>
22. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005;(5):49-53.
Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2005;(5):49-53. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Малкандуева Аминат Хамидовна —

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4306-3733>

SPIN-код: 8561-7985

malkandyewaax@mail.ru

Малкандуев Хамид Алиевич —

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4946-3818>

SPIN-код: 7440-0942

malkandyewaax@mail.ru

Шамурзаев Рустам Ильясович —

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства колосовых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0169-6826>

SPIN-код: 9073-1194

tama8333@mail.ru

About the authors

Aminat Kh. Malkandyeveva —

Dr. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereals, Institute of Agriculture – Branch of the Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Nalchik, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4306-3733>

malkandyewaax@mail.ru

Khamid A. Malkandyevev —

Dr. Sci. (Agric.), Chief Researcher, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereal Crops, Institute of Agriculture – Branch of the Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Nalchik, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4946-3818>

malkandyewaax@mail.ru

Rustam I. Shamurzaev —

Cand. Sci. (Agric.), Head, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereals, Institute of Agriculture – Branch of the Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Nalchik, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0169-6826>

tama8333@mail.ru

Кашукоев Мурат Владимирович —

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры «Агрономия», Кабардино-Балкарская
государственная сельскохозяйственная академия
им. В. М. Кокова, Нальчик, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2235-0477>

SPIN-код: 6298-3409

mkashuoev@gmail.ru

Базгиев Магомед Алаудинович —

кандидат сельскохозяйственных наук, директор,
Ингушский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства, Сунжа, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-7529-6171>

SPIN-код: 1632-1966

ishos06@mail.ru

Бадургова Кульсум Шоидовна —

кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель
директора, Ингушский научно-исследовательский
институт сельского хозяйства, Сунжа, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8203-2481>

SPIN-код: 6617-3675

kulsum1977@mail.ru

Murat V. Kashukoev —

Dr. Sci. (Agric.), Prof., Department of Agronomy,
Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy
named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2235-0477>

mkashuoev@gmail.ru

Magomed A. Bazgiev —

Cand. Sci. (Agric.), Director, Ingush Research Institute
of Agriculture, Sunzha, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7529-6171>

ishos06@mail.ru

Kulsum Sh. Badurgova —

Cand. Sci. (Agric.), Deputy Director, Ingush Research
Institute of Agriculture, Sunzha, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8203-2481>

kulsum1977@mail.ru