

На правах рукописи

Панихина Любовь Владимировна

**ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ
СТРЕССОУСТОЙЧИВЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ
В ВОЛГО-ВЯТСКОМ РЕГИОНЕ**

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2026

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».

Научный руководитель: **Щенникова Ирина Николаевна**
доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Официальные оппоненты: **Герасимов Сергей Александрович**
доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции серых хлебов Красноярского НИИСХ – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН

Ерошенко Любовь Михайловна
кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

Ведущая организация: ФГБУН «Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН» – обособленное подразделение Дальневосточный НИИСХ

Защита состоится 21 декабря 2026 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.08 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета: www.timacad.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор с.-х. наук

Вертикова Елена Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) выращивают от зон рискованного земледелия на Севере до южных регионов с жарким климатом (Родина Н. А., 2006). Это ценная продовольственная и фуражная культура, богатая клетчаткой, необходимыми витаминами и микроэлементами.

Исследования по поиску источников стрессоустойчивости ячменя являются актуальными, так как предполагают комплексное селекционное решение проблем сельского хозяйства, характерных для Волго-Вятского региона (и аналогичных ему территорий). Проблема участвовавших засух, особенно ранневесенних и летних, является прямым следствием наблюдаемых изменений климата. Кислые почвы, характерные для региона, представляют собой постоянный стрессовый фон. Эти факторы ограничивают продуктивность агрофитоценозов и проблема заключается не в низком продукционном потенциале возделываемых сортов, а в невозможности его реализации в данных стрессовых условиях. Ячмень выделяется из зерновых культур высоким потенциалом продуктивного стеблестоя. В свою очередь кущение – ключевой биологический процесс, определяющий урожайность ячменя, но подверженный комплексному воздействию ряда факторов: генетические особенности сорта, плодородие и влажность почвы, температура и др. Результирующим фактором формирования урожайности является густота стеблестоя. При этом избыточная густота вызывает конкуренцию за свет, воду и питательные вещества, недостаточная – не позволяет реализовать потенциал увеличения побегов. Урожайность ячменя зависит от совокупности хозяйственно-биологических признаков сорта, включая элементы структуры продуктивности. В селекционной работе важно определить роль и влияние отдельных признаков на продуктивность растений и выделить ключевые. Вклад того или иного признака в формирование урожайности зависит от лимитирующих средовых факторов, в частности, от кислотности почв, влагообеспеченности и густоты стеблестоя. Селекция является одним из наиболее эффективных методов повышения конкурентоспособности сортов. Ее цель создание генотипов с повышенной адаптивностью, способных формировать продуктивный агроценоз при варьирующих погодных условиях. Это достигается за счет усиления устойчивости к абиотическим (засуха, повышенная кислотность почвы и т.п.) и биотическим (болезни) стрессам и оптимизации генетически детерминированной способности формировать продуктивный стеблестой. Очень важно на основе объективных критериев оценки отобрать высокоурожайные генотипы, устойчивые к стрессовым факторам среды.

Степень разработанности темы. Вопросы по изучению и выявлению реакции сортов ярового ячменя на стрессовые факторы (засуха, повышенная кислотность почвы, густота стеблестоя, болезни разной этиологии) нашли свое отражение в трудах Сурина Н. А., Шевченко С. Н., Ерошенко Л. М., Филиппова Е. Г., Ионовой Е. В., Аниськова Н. И., Блохина В. И., Кузнецовой Т. Е., Герасимова С. А., Щенниковой И. Н., Шешеговой Т. К., Шуплецово О. Н., Лисицына Е. М. и др. В исследованиях освещены ключевые методологические и практические аспекты селекции стрессоустойчивых сортов.

Цель исследований – выявить в генетическом разнообразии ярового ячменя и научно обосновать источники хозяйственно-ценных признаков для создания конкурентоспособных сортов, адаптированных к региональным стрессовым природно-климатическим факторам Волго-Вятского региона.

Исходя из цели, были поставлены следующие **задачи**:

- провести скрининг генетической коллекции образцов ярового ячменя по комплексу хозяйственно-ценных признаков с целью отбора перспективных источников селекционно-ценных признаков;
- разработать методику оценки генотипов ячменя на засухоустойчивость и на ее основе изучить генотипическую реакцию образцов на стрессовый фактор засухи;
- исследовать генотипическую реакцию образцов ячменя на стрессовый фактор повышенной кислотности почв;
- оценить конкурентоспособность генотипов ячменя в условиях искусственно созданного на основе повышенной густоты стеблестоя стрессового фона;
- выделить новые источники ценных признаков – генотипы ячменя, сочетающие высокую продуктивность с устойчивостью к отдельным стрессовым факторам или их комплексу.

Работа выполнена в 2020-2024 гг. в лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) в условиях Волго-Вятского региона Российской Федерации (РФ) в соответствии с планом научно-исследовательских работ (государственная регистрация № 1021060407724-6 и 123011900033-3) и является итогом исследований автора, а также работ, выполненных совместно с научными сотрудниками лаборатории иммунитета и защиты растений, лаборатории эдафической устойчивости растений и аналитической лаборатории.

Научная новизна работы. Впервые в условиях Волго-Вятского региона проведена комплексная оценка новых образцов генетической коллекции ярового ячменя. Впервые в рамках одного исследования проведена оценка генотипов ячменя на широкий спектр абиотических (засуха, повышенная кислотность почвы, густота стеблестоя) и биотических (болезни) факторов, характерных для Волго-Вятского региона. Показана необходимость моделирования стрессовых факторов в условиях нестабильности погодных условий. Выделен новый исходный материал, характеризующийся высокой устойчивостью к множественным стрессам, что важно для селекции сортов, устойчивых к регионспецифичным стрессовым факторам.

Теоретическая и практическая значимость работы. Для повышения эффективности селекции ячменя в условиях Волго-Вятского региона проведена комплексная оценка генотипов ярового ячменя с использованием статистического анализа. Предложены и апробированы методы засухоустойчивости и искусственного регулирования стеблестоя, которые позволяют стандартизировать

условия эксперимента и воспроизводить контролируемый стресс-фактор с заданной интенсивностью. Выявлены закономерности изменчивости морфофизиологических показателей и вклад генотипа и среды в развитие признаков при наличии стрессовых факторов. Установлены критерии оценки стрессоустойчивости исходного материала. Выделены генотипы ярового ячменя, толерантные к стрессорам и/или их комплексу, представляющие теоретический ресурс для дальнейших исследований. Новый исходный материал послужит основой для создания конкурентоспособных сортов, адаптированных к условиям Волго-Вятского региона.

Методология и методы исследования. Теория и методология исследований основана на анализе научных трудов, изложенных в отечественной и зарубежной литературе. В работе применялись аналитический, экспериментальный (вегетационные и полевые исследования, лабораторные опыты) и статистический (математический анализ полученных результатов исследований) методы исследований.

Научные положения, выносимые на защиту:

- методика оценки засухоустойчивости обеспечивает объективный отбор генотипов ячменя с высокой адаптивностью к стрессу;
- установленные генотипические различия реакции ярового ячменя на повышенную кислотность почвы позволяют отбирать устойчивые к стрессу генотипы;
- искусственно созданный на основе повышенной густоты стеблестоя стрессовый фон позволяет выделить конкурентоспособные генотипы, характеризующиеся более эффективным использованием влаги и питательных веществ в условиях стресса;
- новые источники ценных признаков – генотипы ячменя, сочетающие продуктивность с устойчивостью к абиотическим стрессам.

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в полевых, вегетационных и лабораторных исследованиях, выполнении биометрических наблюдений и исследований, анализе и обработке материала, ежегодном представлении научных отчетов, подготовке научных публикаций, апробации результатов исследований на конференциях, написании и оформлении диссертации.

Степень достоверности результатов исследований. Объективность и достоверность полученных результатов подтверждена многолетними исследованиями, анализом экспериментального материала, полученного с применением существующих современных методик, лабораторного оборудования и статистической обработки, апробацией результатов научных исследований на научно-практических конференциях, публикациями в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Апробация работы. Основные материалы и положения диссертации доложены и одобрены на международных научно-практических конференциях: «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве» (г. Киров, 2021-2025 гг.); «Инновационные разработки в современной аграрной науке»,

(г. Тюмень, 2025 г.); в школе молодых ученых «Адаптивная селекция и агробιοтехнологии в условиях северного земледелия» (г. Киров, 2025 г.); на заседаниях методической комиссии селекционного центра и Ученого совета ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (2021-2025 гг.).

Публикации. Основные материалы и положения диссертационной работы отражены в 14 публикациях, в том числе 3 статьи – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 статья в международных изданиях (AGRIS, Springer).

Государственные гранты. Данная работа была поддержана грантом в рамках выполнения программы развития селекционно-семеноводческих центров в области сельского хозяйства для создания и внедрения в агропромышленные комплексы современных технологий на основе собственных исследований.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 207 страницах компьютерного текста. Состоит из введения, 4 глав, выводов, предложений для практической селекции, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 41 таблицу, 16 рисунков и 22 таблицы приложения. Список литературы включает 347 источника, в том числе 26 иностранных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 Обзор литературы

В главе представлен аналитический обзор научной литературы, отражающий народно-хозяйственное значение, морфологические и биологические особенности ячменя, влияние стрессовых факторов (засуха, повышенная кислотность почвы, повышенная густота стеблестоя) на морфофизиологические показатели, урожайность, фитосанитарное состояние посевов, фотосинтетическую деятельность растений и качество зерна ячменя.

Глава 2 Условия, материал и методы проведения исследований

Полевые опыты проведены в 2020-2024 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, вегетационные опыты – в 2021-2023 гг. на экспериментальном участке лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин и суглинков, хорошо окультуренная. Содержание в почве гумуса (по Тюрину) – 0,77-2,35%, K_2O (по Кирсанову) – 159-315 мг/кг, P_2O_5 (по Кирсанову) – 300-365 мг/кг, pH – 4,8-6,5. Анализ агрометеорологических условий в соответствии с межфазными периодами развития ячменя выполнен по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Условия вегетации изменялись от засушливых до избыточно увлажненных, показатель ГТК варьировал от 0,73 (2024 г.) до 2,18 (2022 г.).

В качестве объектов исследований использовали: сорта ярового ячменя селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и образцы генетической коллекции ярового ячменя.

Скрининг генетической коллекции ячменя и выделение источников хозяйственно-ценных признаков. Объект исследования – 132 коллекционных образца ячменя различного эколого-географического происхождения, представленные 26 странами. Стандарт – Белгородский 100. Учетная площадь делянки – 2,7 м², повторность – трехкратная. Исследования проводили в соответствии с Методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (Лоскутов И. Г. и др., 2012).

Влияние засухи на разных этапах онтогенеза на морфофизиологические признаки сортов ячменя проводили в условиях модельной засухи в 2021-2023 гг. Объект исследований – сорта селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока Родник Прикамья и Памяти Родины. Засуху имитировали путем прекращения полива и накрытия делянок пленочными укрытиями, исключая парниковый эффект, на определенные межфазные периоды: «всходы – кущение», «кущение – выход в трубку», «выход в трубку – колошение», «колошение – созревание», «всходы – созревание», контроль – без укрытия. Учетная площадь делянки – 0,2 м², повторность четырехкратная.

Оценку влияния засухи и повышенной кислотности почвы и скрининг устойчивых генотипов определяли в вегетационных емкостях размером 1,5×1,3×0,3 м, расположенных на открытой площадке. Высевали по 35 зерен каждого генотипа, после всходов в эксперименте оставляли по 30 растений. Площадь питания растений – 4×15 см². Влажность почвы поддерживали на оптимальном уровне. Объект исследований – сорта селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока – Новичок, Дина, Родник Прикамья, Форвард, Витрум и Бионик; образцы генетической коллекции – Памяти Дудина (Россия), Зазерский 85 (Беларусь), Triumph (Дания) и Tallon (Австралия). Варианты опыта: 1. контроль (рН = 6,5); 2. фон с засухой (рН = 6,5) – искусственно создан на межфазный период «выход в трубку – колошение»; 3. фон с повышенной кислотностью почвы (рН = 4,8) – почва с естественной среднекислой реакцией среды. Во флаговых листьях на контроле и фоне с повышенной кислотностью почвы определяли количество фотосинтетических пигментов по методике Н. К. Lichtenthaler и С. Bushmann (2001). Индекс засухоустойчивости рассчитывали по формуле Фишера и Маурера (Мальцева Л. Т. и др., 2021). Лабораторные опыты по оценке устойчивости к осмотическому и алюмокислому стрессу осуществляли по методике ВИР в изложении В. Г. Удовенко (1988) и методике Е. М. Лисицына (2003) соответственно.

Оценку генотипической изменчивости ячменя проводили в 2021-2023 гг. в искусственно созданных стрессовых условиях – при повышенной густоте стеблестоя. Объект исследований – Памяти Родины, Новичок и Родник Прикамья. Густоту стеблестоя моделировали путем высева: 500 (контроль), 600, 700 и 800 всхожих семян на 1 м² (шт./м²). Учетная площадь делянки – 10 м², повторность четырехкратная. Опыт закладывали в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). В 2022-2024 гг. оценивали 28 образцов генетической коллекции ячменя. Схема опыта: 500 (контроль) и 700 шт./м². Учетная площадь делянки – 1,35 м², повторность

двукратная. Оценка по устойчивости к темно-бурой (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Schoem.) и сетчатой (*Drechlera teres* (Sacc.) Schoem.) пятнистостям, пыльной головне (*Ustilago nuda* (Jens) Rostr.) проводили на естественном фоне с использованием шкал Н. А. Родиной и З. Г. Ефремовой (1986), О. С. Афанасенко (2005), В. И. Кривченко, А. П. Хохловой (2008). Развитие корневых гнилей определяли полевым и лабораторным методами по шкалам М. Ф. Григорьева (1976) и Э. Э. Гоймана (1954). Качество зерна определяли на инфракрасном анализаторе ИНФРАСКАН-М (Россия), выравненность зерна – по ГОСТ 30483-97, натуру зерна – по ГОСТ 10840-2017. Выделение фотосинтетических пигментов из листьев, расчет их содержания производили по методике Н. К. Lichtenthaler и С. Bushmann (2001).

Полученные основные статистические характеристики обрабатывали с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007 и селекционно-генетической программы AGROS версия 2.07. Критическая величина уровня значимости принята равной 0,95.

Глава 3 Скрининг генетической коллекции ячменя и выделение источников хозяйственно-ценных признаков

В условиях Волго-Вятского региона урожайность коллекционных образцов варьировала по годам от 269 г/м² (2021 г.) до 469 г/м² (2020 г.) и в среднем составляла 374±6 г/м². Установлено наличие высокоурожайных образцов во всех географических регионах (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения, 2020-2022 гг.

Регион	Количество образцов	Урожайность, г/м ²	
		варьирование	средняя
Российская Федерация	52	235...553	415±10
Восточная Европа	20	168...508	370±20
Западная Европа	18	203...548	360±21
Северная Европа	11	220...455	378±22
Северная Америка	12	182...538	316±29
Южная Америка	3	227...448	350±65
Восточная Азия	3	201...283	255±27
Южная Азия	2	276...296	286±10
Центральная Азия	4	367...471	396±25
Австралия	6	216...469	360±43

В результате анализа многолетних данных выявлены источники селекционно-ценных признаков. Перспективными для использования в селекции ячменя являются генотипы отличающиеся: высокой урожайностью (стандарт – 458 г/м²) – Памяти Дудина (553), J.B. Flavour (548), М 4-10 (544), Tetonia (538) и М 6-10 (527); общей и продуктивной кустистостью (стандарт – 2,3 и 2,1 шт./раст.) – Kaputar (4,7 и 3,5), NCL 95098 (3,8 и 3,2); параметрами колоса: длина (стандарт – 6,3 см) – Bear (9,0), CDC Mc Gwire (8,4), Витрум (8,0) и др., плотность (стандарт – 12,8 шт.) – Фобос (17,9), Дуплет (17,4), Rodos (15,1) и др., количество колосков (стандарт – 18,8 шт.) и зерен (стандарт – 17,2 шт.) Буян

(25,1 и 23,0), Irbe (PR-3528) (24,4 и 22,9), П-23/08 (24,6 и 22,5) и др.; массой зерна с колоса (стандарт – 0,87 г) – Витрум (1,68), С-105 (1,32), 752А (1,24) и др., и растения (стандарт – 1,43 г) – Калькюль (2,16), Сябра (2,14), Витрум (2,12), Памяти Родины (2,07); массой 1000 зерен (стандарт – 47,7 г) – Хаго (54,2). Выделены образцы, устойчивые к полеганию (9 баллов) – Бионик, Форсаж, Адам, Зазерский 85, Issota, Mie, NCL 95098 и болезням: темно-бурой пятнистости – Местный (к-2930), Данута, Makbo, сетчатой пятнистости – Ci 11084, Местный (к-2929), Местный (к-2930), Makbo и пыльной головне – Сябра, Crusades, Эвергрин и Filipra.

В результате кластерного анализа коллекционные образцы были объединены в три кластера. Отличительной особенностью 1 кластера (36 образцов) было наличие скороспелых образцов. Образцы, вошедшие во второй кластер (33) и третий кластер (63) характеризовались высокими показателями элементов структуры урожайности: продуктивной кустистостью, длиной колоса и массой зерна с растения. Следует отметить более высокую устойчивость к полеганию образцов второго кластера и повышенную восприимчивость образцов третьего кластера к сетчатой и темно-бурой пятнистостям.

Глава 4 Оценка хозяйственно-ценных признаков и свойств генотипов ячменя в стрессовых условиях как исходного материала для селекции

4.1 Влияние засухи на разных этапах онтогенеза на морфофизиологические признаки ячменя

С целью установления наиболее чувствительного к воздействию засухи периода развития растений проведен модельный эксперимент.

Урожайность и структурные элементы. Наличие засухи в межфазные периоды оказало влияние на урожайность. Отмечено достоверное снижение урожайности на 113 г/м² и на 108 г/м² относительно контроля при стрессе в межфазный период «всходы – кущение» и в течение всего вегетационного периода, также увеличение урожайности на 42 г/м² при наличии засухи в межфазный период «колошение – созревание» (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние засухи на разных этапах онтогенеза на урожайность ячменя, 2021-2023 гг.

Период создания засухи	Урожайность, г/м ²
Контроль	349
Всходы – кущение	236*
Кущение – выход в трубку	308
Выход в трубку – колошение	316
Колошение – созревание	391*
Всходы – созревание	241*
НСР ₀₅	41

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$

В результате проведенных исследований установлено, что снижение высоты растений на 2,5-9,8 см наблюдалось при наличии засухи во все изучаемые

периоды. Засуха в межфазный период «всходы – кущение» снижала продуктивный стеблестой на 58 шт./м², «выход в трубку – колошение» – длину колоса на 0,5 см, количество колосков на 1,2 шт. и зерен на 1,5 шт., «колошение – созревание» – увеличивало массу 1000 зерен на 0,6 г. Засуха в течение всего вегетационного периода понижала все изучаемые параметры, включая урожайность. Различная реакция сортов ячменя на стрессовый фактор подтверждает возможность решения проблемы устойчивости к засухе селекционным путем.

Выявлена корреляционная связь урожайности с элементами структуры при наличии засухи в различные периоды роста и развития ячменя. При наличии стресса в межфазный период «всходы – кущение» урожайность в большей степени зависела от массы зерна с растения ($r = 0,986$); «кущение – выход в трубку» – продуктивного стеблестоя ($r = 0,988$); «выход в трубку – колошение» – количества колосков ($r = 0,986$), количества зерен ($r = 0,889$), массы зерна с главного колоса ($r = 0,987$) и массы 1000 зерен ($r = 0,944$); «колошение – созревание» – продуктивного стеблестоя ($r = 0,997$) и количества зерен ($r = 0,717$); засуха в течение всего вегетационного периода – продуктивного стеблестоя ($r = 0,916$), количества колосков ($r = 0,809$) и зерен ($r = 0,888$), массы зерна с главного колоса ($r = 0,793$).

Полученные зависимости могут быть использованы в селекции в качестве критериев оценки источников при засушливых условиях вегетации.

Влияние засухи на пигментный комплекс листьев ячменя. Во флаговых и подфлаговых листьях при наличии стрессового фактора от всходов до момента взятия проб снизилось содержание хлорофилла *a* и каротиноидов, содержание хлорофилла *b* возросло. Проведенный корреляционный анализ показал среднюю положительную связь ($r = 0,524$) между содержанием хлорофилла *a* в подфлаговых листьях и урожайностью. Отношение суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам во флаговых и подфлаговых листьях в стрессовых условиях достоверно увеличивалось. При наличии стрессового фактора доля хлорофилла в ССК во флаговых и подфлаговых листьях возрастала.

4.1.1 Скрининг устойчивых к засухе генотипов ячменя в условиях вегетационного опыта

Для поиска нового исходного материала, в стрессовых условиях, оценили 10 генотипов ярового ячменя, выделенных ранее по урожайности и ряду ценных признаков. Основываясь на полученных ранее результатах исследований наибольшие различия между структурными показателями на контроле и стрессовом фоне были отмечены в варианте с засухой «выход в трубку – колошение». Для дальнейшей оценки генотипов ячменя был выбран этот вариант.

Изученные генотипы в большей степени характеризовались низким (коэффициент вариации $CV \leq 10\%$) или средним уровнем фенотипических различий элементов продуктивности ($10\% \leq CV \leq 20\%$), только урожайность (контроль) и продуктивный стеблестой имели относительно высокий уровень различий (20,8-21,1%). Как и в модельном опыте с сортами ячменя, наличие стрессового фактора привело к снижению у генотипов ячменя таких параметров как

урожайность (на 73 г), длина колоса (0,5 см), количество колосков (2,4 шт.) и зерен (3,2 шт.). Устойчивость генотипов к засухе определяли с помощью индекса засухоустойчивости (DSI). Как засухоустойчивый выделен генотип Tallon (1 ранг), который менее других снизил урожайность на стрессовом фоне (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка урожайности генотипов ячменя при наличии засухи, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Урожайность, г/м ²		Индекс DSI	Ранг*
	контроль (фактор В)	фон засуха		
Новичок	203	180	0,29	2
Дина	143	91	0,93	5
Родник Прикамья	245	152	0,97	7
Форвард	205	142	0,79	3
Витрум	241	152	0,95	6
Бионик	209	134	0,92	4
Памяти Дудина	264	130	1,30	8
Зазерский 85	221	99	1,42	9
Triumph	179	113	0,95	6
Tallon	134	122	0,23	1
Среднее	204	131**	—	—
НСР ₀₅ В	30		—	—

Примечание: * – 1 – устойчив к засухе; 9 – неустойчив к засухе;

** – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$

В условиях засухи достоверная корреляция отмечалась между урожайностью и массой зерна с растения ($r = 0,815$), массой зерна с главного колоса ($r = 0,571$), количеством зерен ($r = 0,550$) и длиной колоса ($r = 0,472$). Выявленные корреляции позволяют использовать данные параметры для оценки устойчивости генотипов к стрессовому фактору – засухе. Расчет корреляционной связи индексов DSI элементов структуры показал достоверную связь только между DSI урожайности и массы 1000 зерен ($r = 0,912$).

В результате проведенных исследований установлено, что при засухе в межфазный период «выход в трубку – колошение» высокой урожайностью характеризовались генотипы Новичок и Форвард, стабильной массой 1000 зерен – Tallon и Бионик, что говорит об их устойчивости к данному стрессовому фактору. Выделенные генотипы могут быть использованы в качестве компонентов скрещивания в соответствующих селекционных программах.

4.1.2 Лабораторный скрининг генотипов ячменя по устойчивости к осмотическому стрессу

В лабораторном опыте на фоне осмотического стресса прорастаемость семян была ниже контроля на 22,1% (3 сутки) и 14,9% (7 сутки).

По всхожести изученные генотипы были разделены на 2 группы: высокоустойчивые (процент проросших семян – 81-100%): Новичок, Форвард, Бионик, Витрум, Родник Прикамья, Tallon; с устойчивостью выше средней (61-80%):

Зазерский 85, Памяти Дудина, Дина, Triumph. По параметру «относительная RSR», как засухоустойчивый выделился генотип Tallon.

Выявленные достоверные корреляции между урожайностью генотипов в вегетационном опыте при засухе «выход в трубку – колошение» и лабораторными параметрами: лабораторной всхожестью ($r = 0,588$) и массой корней ($r = 0,447$) в условиях стресса позволяют использовать их для быстрой оценки устойчивости генотипов в селекционных программах и повышать точность прогнозирования стрессоустойчивости генотипов.

4.2 Оценка влияния повышенной кислотности почвы на ячмень и скрининг устойчивых генотипов

Урожайность и элементы структуры. В условиях вегетационного опыта (2021-2023 гг.) оценивали влияние стрессового почвенного фона ($pH = 4,5$) на рост и развитие растений ячменя. На контрольном (без стресса) и стрессовом фонах показатели элементов продуктивности характеризовались низким ($CV \leq 10\%$) или средним уровнем фенотипических различий ($10\% \leq CV \leq 20\%$), за исключением урожайности в контрольном варианте (таблица 4).

Таблица 4 – Элементы генотипической изменчивости ячменя и их вклад в урожайность при повышенной кислотности почвы

Параметры	Вариант опыта				% снижения к контролю
	контроль		кислый фон		
	$x_{cp} \pm Sx$	CV, %	$x_{cp} \pm Sx$	CV, %	
Урожайность, г/м ²	204±13	20,8	156±9	18,4	23,5
Высота растений, см	64,0±2,0	9,8	55,3±1,8	10,2	13,6
Общая кустистость, шт./раст.	3,0±0,1	14,5	2,6±0,1	10,9	13,3
Продуктивная кустистость, шт./раст.	2,6±0,1	12,2	2,1±0,1	15,8	19,2
Продуктивный стеблестой, шт./м ²	355±13	11,2	298±17	18,3	16,1
Длина колоса, см	6,4±0,2	10,4	6,0±0,2	11,9	6,3
Плотность колоса, шт.	14,1±0,2	5,1	13,5±0,2	4,9	4,3
Количество колосков, шт.	20,6±0,6	8,4	18,6±0,6	9,4	9,7
Количество зерен в колосе, шт.	18,7±0,5	8,6	16,4±0,4	8,2	12,3
Масса зерна с главного колоса, г	0,80±0,02	9,9	0,71±0,03	11,2	11,3
Масса зерна с растения, г	1,60±0,08	15,4	1,20±0,07	18,2	25,0
Масса 1000 зерен, г	41,3±0,7	5,3	41,0±0,6	5,0	0,7

В контрольном варианте различия между генотипами в основном проявлялись в урожайности, общей кустистости и продуктивности растений. Однако при наличии стресса возросла изменчивость таких признаков, как продуктивная кустистость и, как следствие продуктивный стеблестой. Это свидетельствует о том, что стресс усиливает различия между генотипами по тем показателям, которые непосредственно влияют на урожайность.

Наличие стрессового фактора в среднем по опыту привело к достоверному снижению урожайности на 48 г/м² или 23,5% (таблица 5). В результате исследований выявлено, что наличие повышенной кислотности почвы достоверно снизило у генотипов все показатели элементов структуры урожайности: длину коло-

са – 0,4 см, плотность колоса – 0,6 шт., количество колосков – 2,0 шт., количество зерен – 2,3 шт., массу зерна с растения – 0,40 г, массу 1000 зерен – 0,3 г.

Таблица 5 – Генотипическая реакция ячменя на повышенную кислотность почвы

Генотип (фактор А)	Урожайность, г/м ²		
	контроль (фактор В)	кислый фон	± к контролю, %
Новичок	203	184	-9,4
Дина	143	119	-16,8
Родник Прикамья	245	209	-14,7
Форвард	205	145	-29,3
Витрум	241	150	-37,8
Бионик	209	145	-30,6
Памяти Дудина	264	167	-36,7
Зазерский 85	221	111	-49,8
Triumph	179	166	-7,3
Tallon	134	161	+20,1
Среднее	204	156*	-23,5
НСР ₀₅	А-52 В-23	А×В –	–

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$

Среди изученных генотипов стрессовому фактору меньше всего были подвержены Triumph и Tallon, которые увеличили массу 1000 зерен и не снизили значения продуктивности колоса и массы зерна с растения. К тому же Tallon на стрессовом фоне не снизил урожайность, высоту растений, длину и плотность колоса, что говорит о высокой устойчивости генотипа к повышенной кислотности почвы. Генотип Дина в стрессовых условиях не изменял длину и продуктивность колоса, Витрум сохранил высокую плотность колоса и массу 1000 зерен, Родник Прикамья и Новичок сохранили высокую урожайность и массу зерна с растения. Для этих генотипов наличие повышенной кислотности почвы не снижало способность формировать высокие показатели структуры растения и его продуктивности.

Влияние повышенной кислотности почвы на пигментный комплекс флаговых листьев. Наибольшее значимое влияние повышенной кислотности почвы отмечено на хлорофиллы *a* и *b*. Это свидетельствует о перспективе использования показателей при диагностике кислотоустойчивости генотипов ярового ячменя. Выделены генотипы Tallon и Triumph, у которых во флаговых листьях выявлено увеличение содержания хлорофиллов *a* и *b* в условиях повышенной кислотности почвы. Эти генотипы будут использованы в селекции на повышенную кислотоустойчивость ярового ячменя.

4.2.1 Лабораторный скрининг генотипов ячменя в условиях алюмокислого стресса

Первые признаки влияния повышенной кислотности среды и ионов алюминия проявляются при прорастании зерна. В результате лабораторного опыта установлено, что всхожесть генотипов составляла в контрольном варианте 89,8% (CV = 10,8%), в опытном – 88,9% (CV = 12,2%). Незначительная разница

между контрольным и опытным вариантом объясняется существенными различиями в реакции генотипов на стрессовый фактор. Так у генотипов Новичок, Форвард и Родник Прикамья наблюдали повышение всхожести по сравнению с контрольным вариантом.

Наличие алюмокислого стресса оказало влияние на *длину корней*. Коэффициент вариации в контрольном варианте составлял 10,7%, в опытном – 12,9%. Максимальной длиной корней в контроле и опыте характеризовался генотип Форвард (17,3 и 15,6 см соответственно). У генотипов Бионик и Tallon отмечено повышение длины корней на стрессовом фоне. Генотипы незначительно различались по количеству корней, как в контрольном варианте ($CV = 7,7\%$), так и на стрессовом фоне ($CV = 5,7\%$). Из всех исследуемых показателей алюмокислый стресс больше всего повлиял на *длину ростка* ($CV = 14,1\%$), в контроле коэффициент вариации составлял 9,8%. Большинство генотипов, за исключением Зазерский 85 и Дина, увеличили длину ростка в опытном варианте (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние алюмокислого стресса на параметры проростков ячменя

Генотип	Длина корней, см		Количество корней, шт.		Длина ростка, см	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Новичок	16,4	15,0*	6,1	6,2	9,7	10,9*
Дина	11,6	10,1*	5,0	5,6	8,8	7,8*
Родник Прикамья	14,9	12,9*	5,8	5,7	9,8	11,1*
Форвард	17,3	15,6*	6,0	6,1	10,7	11,7*
Витрум	16,4	15,5*	6,0	6,1	11,1	12,7*
Бионик	14,8	15,5*	6,0	5,9	10,3	10,6
Памяти Дудина	16,5	15,2*	6,0	5,7	12,1	13,2*
Зазерский 85	15,7	15,1*	6,6	6,5	9,9	9,4*
Triumph	14,2	12,7*	5,4	5,6	10,1	11,2*
Tallon	14,4	15,4*	5,5	5,4	9,0	11,1*
Среднее	15,2	14,3*	5,8	5,9	10,2	11,0*
НСР ₀₅	0,5		–		0,4	

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$

Для определения уровня потенциальной алюмоустойчивости использовали показатель ИДК (индекс длины корней), который определяли как соотношение средней длины корней в опыте и контроле и параметр «относительная RSR», показывающий реакцию растений на стрессовое воздействие, выраженное в перераспределении сухой биомассы между корневыми и надземными органами (Лисицын Е. М., 2018). По показателю ИДК выделились генотипы Бионик и Tallon, у которых был отмечен стимулирующий эффект алюминия на рост корневой системы ($ИДК > 100\%$). По параметру «относительная RSR» выделились генотипы Новичок, Зазерский 85 и Tallon, которые формировали развитую корневую систему в условиях стресса.

Суммарный индекс устойчивости (отклонение ИДК и относительная RSR) позволяет комплексно оценить алюмоустойчивость генотипов. Чем ниже индекс устойчивости, тем устойчивее генотип к абиотическому стрессу (Лиси-

цын Е. М., 2018). Высокой устойчивостью к алюмокислородному стрессу отличались генотипы Бионик (7,7%), Tallon (11,3%) и Новичок (11,4%) (таблица 7).

Таблица 7 – Изменчивость параметров проростков ячменя под действием алюмокислородного стресса

Генотип	ИДК, %	Отклонение ИДК, %	Относительная RSR, %	Отклонение RSR, %	Суммарный индекс устойчивости
Новичок	91,4	8,6	102,8	2,8	11,4
Дина	88,1	11,9	98,9	1,1	13,0
Родник Прикамья	86,3	13,7	90,2	9,8	23,5
Форвард	90,4	9,6	91,6	8,4	18,0
Витрум	94,6	5,4	84,5	15,5	20,9
Бионик	104,9	4,9	97,2	2,8	7,7
Памяти Дудина	92,6	7,4	85,5	14,5	21,9
Зазерский 85	97,1	2,9	127,1	27,1	30,0
Triumph	89,4	10,6	96,5	3,5	14,1
Tallon	107,4	7,4	103,9	3,9	11,3

4.3 Генотипическая изменчивость ячменя при варьирующей густоте стеблестоя

В модельном эксперименте использовали сорта ярового ячменя селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Памяти Родины, Новичок и Родник Прикамья), различающиеся по ряду морфофизиологических признаков. Для поиска исходного материала в стрессовых условиях проанализировали 28 образцов генетической коллекции, выделенных ранее по урожайности и ряду селекционно-ценных признаков.

Урожайность. В отдельные годы существенное влияние на урожайность оказали все изучаемые факторы и их взаимодействие: «сорт» до 52,0%, «густота стеблестоя» – 22,1% (2021 г.), взаимодействие – 38,4% (2023 г.). В 2021 г. отмечено достоверное увеличение урожайности на 54-97 г/м² относительно контроля. Селекционная оценка сортов ячменя в среднем по опыту выявила реакцию ячменя на увеличение густоты стеблестоя. Так сорт Памяти Родины снижал урожайность при высеве 600 и 800 шт./м² на 38 и 78 г/м² соответственно (таблица 8). Не выявлено влияния увеличения густоты стеблестоя на урожайность сорта Новичок. Сорт Родник Прикамья формировал высокую урожайность (до 501 г/м²) даже при ухудшении условий вегетации.

Одним из ключевых факторов, объясняющих полученные результаты, может являться различие сортов по признаку «форма куста». Сорта Памяти Родины и Новичок характеризуются промежуточной формой куста (5 баллов), Родник Прикамья – полупрямостоячей (3 балла). Полученные данные подтверждают мнение, что посевы сортов с прямостоячей формой куста, имеют более благоприятные по сочетанию света и влаги условия для вегетации растений и меньше страдают от увеличения густоты стеблестоя.

Полевая всхожесть и сохранность растений к уборке. Максимальное количество всходов в опыте отмечено при высеве 800 шт./м² – 602 шт./м².

С увеличением густоты стеблестоя полевая всхожесть снижалась с 77 до 75%, сохранность растений к уборке с 89 до 82%. У сортов Памяти Родины и Новичок выживаемость растений снижалась с увеличением густоты стеблестоя, Родник Прикамья сохранял количество растений в стрессовых условиях.

Таблица 8 – Генотипическая вариабельность ячменя в зависимости от густоты стеблестоя

Сорт (фактор А)	Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Урожайность, г/м ²			
		2021 г. (фактор С)	2022 г.	2023 г.	среднее
Памяти Родины	500 (контроль)	206	527	495	409
	600	223	500	390*	371*
	700	240	492	437	390
	800	167*	500	327*	331*
Новичок	500 (контроль)	187	532	595	438
	600	243*	515	469*	409
	700	308*	514	491*	438
	800	240*	515	511*	422
Родник Прикамья	500 (контроль)	236	506	422	388
	600	346*	496	504*	449*
	700	373*	514	500*	462*
	800	386*	526	590*	501*
Среднее по фактору В	500 (контроль)	210	522	504	412
	600	271*	504	454	410
	700	307*	507	476	430
	800	264*	514	476	418
Среднее по фактору С		263	512	478	418
НСР ₀₅	А	20	—	38	18
	В	23	—	—	—
	А×В	38	—	77	36

Примечание: * — различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$

Общая и продуктивная кустистость. С увеличением густоты стеблестоя общая кустистость снижалась с 2,5 до 1,7 шт./раст., продуктивная с 2,0 до 1,6 шт./раст. Увеличение густоты стеблестоя достоверно снизило показатели «общая кустистость» и «продуктивная кустистость» у сорта Памяти Родины, «общая кустистость» у сорта Родник Прикамья. У сорта Новичок не выявлено влияния изменения густоты стеблестоя на изучаемые показатели.

Продуктивный стеблестой. Результаты дисперсионного анализа выявили влияние факторов «сорт» и «густота стеблестоя» на параметр «продуктивный стеблестой». В среднем по опыту достоверное увеличение продуктивного стеблестоя относительно контроля отмечено при высеве 800 шт./м². Сорта Новичок и Родник Прикамья формировали более плотный стеблестой, превышая сорт Памяти Родины во всех вариантах опыта (рисунок 1).

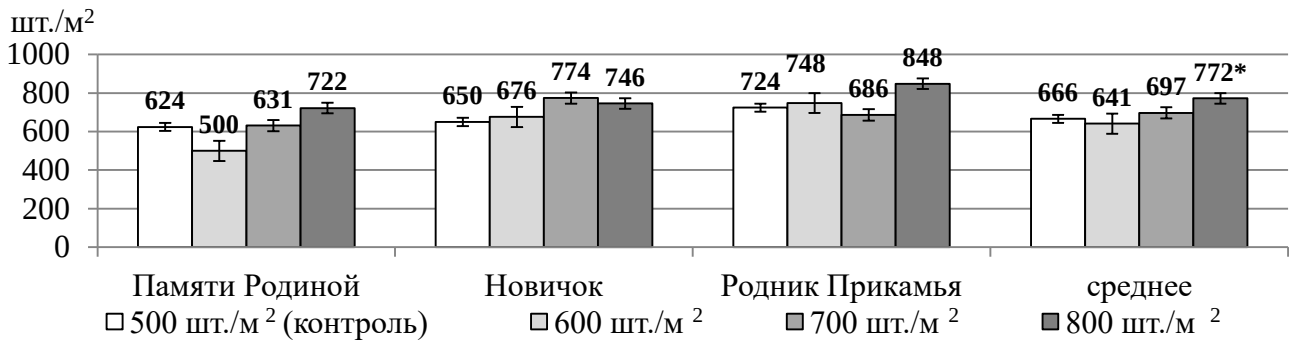


Рисунок 1 – Продуктивный стеблестой сортов ячменя, 2021-2023 гг.

(* – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$)

Высота растений и устойчивость к полеганию. В результате исследований установлено, что только повышение густоты стеблестоя за счет высева 800 шт./м² достоверно увеличивает высоту растений. У сорта Новичок отмечено увеличение высоты растений при высевах 700 и 800 шт./м². Изменение показателя у сортов Памяти Родины и Родник Прикамья находилось в пределах статистической ошибки опыта. Выявлена достоверная обратная зависимость между высотой растений и устойчивостью к полеганию ($r = -0,838$).

Увеличение густоты стеблестоя при высевах 800 шт./м² снижало устойчивость к полеганию на 0,6 балла относительно контроля. Полученные данные свидетельствуют о возможности создания сортов, у которых увеличение густоты стеблестоя не вызывает повышения высоты растений и снижения устойчивости к полеганию.

Параметры колоса. Исследования показали, что увеличение густоты стеблестоя привело к достоверному снижению длины колоса, количества колосков и зерен в колосе, массы 1000 зерен, массы зерна с растения относительно контроля. Сорт Новичок характеризовался способностью формировать высокое количество колосков и зерен при изменении условий вегетации, так же не отмечено изменения массы 1000 зерен при высевах 800 шт./м². Сорт Родник Прикамья увеличил массу 1000 зерен при высевах 600 шт./м² и не снижал ее с увеличением густоты стеблестоя. У сорта Памяти Родины во всех вариантах опыта снижалась масса 1000 зерен, что говорит о восприимчивости сорта к загущению посева.

Зависимость урожайности от структурных элементов. Изменение густоты стеблестоя повлияло на связь между урожайностью и ее структурой. Высокая и средняя корреляция между урожайностью и всеми элементами структуры отмечалась во всех вариантах опыта, за исключением варианта 700 шт./м². При высевах 700 шт./м² только сохранность к уборке и масса 1000 зерен оказывали достоверное влияние на урожайность (таблица 9). Проведенный корреляционный анализ выявил положительную достоверную корреляционную связь во всех вариантах опыта между урожайностью и сохранностью растений к уборке ($r = 0,650 \dots 0,818$), а также массой 1000 зерен ($r = 0,578 \dots 0,800$). Результаты исследований свидетельствуют о целесообразности использования в селекции данные параметры и вариант с высевах 700 шт./м² для диагностики устойчивости сортов к загущению.

Таблица 9 – Связь урожайности с изучаемыми параметрами на фоне стресса (коэффициент корреляции), 2021-2023 гг.

Параметры	Количество высеванных семян, шт./м ²			
	500 (контроль)	600	700	800
Продуктивный стеблестой	0,729	0,590	0,125	0,725
Сохранность к уборке	0,818	0,650	0,686	0,797
Количество зерен	0,670	0,550	0,128	0,337
Масса зерна с главного колоса	0,730	0,604	0,251	0,440
Масса 1000 зерен	0,800	0,578	0,681	0,688

Примечание: $r_{\text{критич.}} = 0,576$ при $P > 0,95$

Качество зерна. Изменение густоты стеблестоя повлияло на качество зерна ячменя: наблюдали снижение количества белка на 0,44-0,74% и выравнивания зерна на 1,5-2,8% при высеве 700 и 800 шт./м², снижение содержания крахмала на 0,6% при 600 шт./м², увеличение натуры зерна на 5,1 и 10,2 г/л при 600 и 800 шт./м².

Устойчивость к болезням. В полевых условиях на степень развития сетчатой и темно-бурой пятнистости, корневых гнилей в значительной мере влияло совокупное действие факторов «сорт» и «густота стеблестоя» (вклад до 38,5%); поражение пыльной головней зависело преимущественно от погодных условий (41,4%). При загущении посева отмечено ухудшение фитосанитарной ситуации: степень поражения листьев гельминтоспориозными пятнистостями возрасла, степень поражения и уровень развития корневых гнилей так же увеличивались. В лабораторном опыте инфицированность проростков корневыми гнилями, выращенных из семян каждого варианта опыта, снижалась по мере увеличения нормы высева семян.

Содержание пигментов во флаговых и подфлаговых листьях. Увеличение густоты стеблестоя повлияло только на содержание хлорофилла в свето-собирающем комплексе подфлаговых листьев. При максимальном загущении показатель снизился на 2,76% относительно контроля.

4.3.1 Оценка конкурентоспособности образцов генетической коллекции ячменя при варьирующей густоте стеблестоя

Проведенными исследованиями было установлено, что увеличение густоты стеблестоя влияет на структурные показатели растений ярового ячменя, снижает продуктивность и качество зерна. В результате оценки коллекционных образцов установлено, что наибольшая урожайность сформировалась в опытном варианте (700 шт./м²) – 383 г/м², контроль (500 шт./м²) – 330 г/м². Установлено достоверное увеличение урожайности при увеличении густоты стеблестоя у образцов: Салаир, Radegast, П-23/08, Л-223/15, Л-236/10, АС Alberte, Л-209/11, Clearwater, Jenuta, CDC Gainer, Соборный и Сигнал, прибавка составляла 108-243 г/м². Стабильной урожайностью выделялся Бионик (таблица 10).

Анализ взаимосвязи между урожайностью и структурными элементами в среднем за годы исследований показал высокие положительные значения коэффициентов корреляции между урожайностью и продуктивным стеблестоем

($r = 0,704$ при высеве 500 шт./м²; $r = 0,710$ – 700 шт./м²) и массой зерна с растения ($r = 0,837$; $r = 0,720$).

Таблица 10 – Генотипическая вариабельность образцов коллекции ячменя при различной густоте стеблестоя, 2022-2024 гг.

Образец** (фактор А)	Урожайность, г/м ²		
	500 шт./м ² (фактор В)	700 шт./м ²	± к контролю, %
Салаир	287	495*	+42
Radegast	270	435*	+38
П-23/08	350	494*	+29
Л-223/15	250	461*	+46
Л-236/10	266	410*	+35
АС Alberte	193	324*	+40
Л-209/11	249	492*	+42
Clearwater	267	453*	+42
Jenuta	347	509*	+32
CDC Gainer	250	387*	+35
Соборный	302	434*	+30
Сигнал	304	412*	+26
Бионик	336	331	-2
Среднее по фактору В	330	383*	–
НСР ₀₅	А-73	В-19	А×В-104

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$;

** – в таблице представлены только выделившиеся по признаку образцы

Отмечена достоверная обратная зависимость между высотой растений и **устойчивостью к полеганию** ($r = -0,446...-0,663$). У большинства образцов, повысивших высоту растений при загущении посева, снижалась устойчивость к полеганию на 1,0-3,0 балла, за исключением образца Radegast, у которого устойчивость к полеганию сохранилась. При достоверном снижении высоты растений у образцов Алей и Памяти Дудина возросла устойчивость к полеганию на 1-2 балла. Только у образца Triumph при снижении высоты растений снизилась и устойчивость к полеганию на 1 балл.

В результате проведенных исследований выделены устойчивые к стрессу образцы, сочетающие важные селекционные признаки: высокую урожайность с продуктивной кустистостью, продуктивным стеблестоем, количеством зерен, массой зерна с колоса и растения, массой 1000 зерен – Radegast, Л-209/11, Салаир, Л-223/15, Clearwater и Л-236/10; массой зерна с растения – Jenuta. Данные образцы будут использованы в качестве компонентов скрещивания при селекции устойчивых к стрессу сортов ярового ячменя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная оценка генетической коллекции ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона позволила сделать следующие выводы:

1. Скрининг генетической коллекции ячменя выявил широкий спектр генотипической изменчивости по комплексу хозяйственно-ценных признаков. Выделены источники ценных свойств: высокой урожайности – 5 образцов; сочетающие урожайность с некоторыми элементами продуктивности – 17; длинного

и озерненного колоса – 7; продуктивности колоса – 12; высокой массы 1000 зерен – 1; с наименьшим периодом от всходов до созревания – 5; устойчивости к полеганию – 7, возбудителю сетчатой пятнистости – 21, темно-бурой пятнистости – 1, пыльной головне – 4.

2. Разработанная методика комплексной оценки засухоустойчивости позволила выделить селекционно-ценные генотипы, сочетающие высокую урожайность с устойчивостью к засухе в критически важный межфазный период «выход в трубку – колошение» – Новичок, Форвард, Tallon и Бионик, и осмотическому стрессу – Tallon.

3. Выявлены генотипы, устойчивые к повышенной кислотности почвы и алюмокислотному стрессу – Новичок и Tallon, которые сохранили урожайность, продуктивность колоса и растения, выделились по показателю суммарного индекса устойчивости.

4. В результате комплексной оценки генетической коллекции рекомендованы новые источники ценных признаков – генотипы, сочетающие высокую продуктивность с комплексной устойчивостью к засухе и повышенной кислотности почв: Новичок, Форвард, Бионик. Среди них генотип Tallon, выделяющийся комплексной устойчивостью к обоим стрессам, следует включать в скрещивания с высокопродуктивными генотипами.

5. Оптимизация методики оценки конкурентоспособности в условиях повышенной густоты стеблестоя позволила выявить генотипы с эффективным использованием влаги и питательных веществ в условиях стресса: Родник Прикамья увеличивал урожайность и сохранял массу 1000 зерен, Radegast и Л-223/15 сочетали высокую урожайность с продуктивной кустистостью и продуктивным стеблестоем, Л-209/11 отличался высокими показателями по количеству зерен, массе зерна с колоса и растения, Jenuta характеризовался повышенной массой зерна с растения, Салаир, Clearwater, Л-236/10 сочетали массу зерна с растения с высокой массой 1000 зерен.

6. Вклад наследственных и средовых факторов в формирование урожайности и элементов структуры продуктивности зависел от типа стресса. При засухе и повышенной густоте стеблестоя определяющим был стрессовый фактор, при повышенной кислотности почв – генотип. В зависимости от варианта опыта в условиях засухи вклад стрессового фактора изменялся от 25,5 до 48,7%, генотипа – 20,0...34,3%, взаимодействие факторов – 20,3...38,1%; при повышенной кислотности почвы вклад генотипа – 27,9...58,4%, стрессового фактора – 11,0...29,4%, взаимодействие факторов – 11,7...22,7%; при повышенной густоте стеблестоя вклад стрессового фактора – 19,1...55,1%, генотипа – 18,8...42,3%, взаимодействия факторов – 18,1...40,7%.

7. Выявлены информативные критерии оценки стрессоустойчивости генотипов, позволяющие целенаправленно отбирать исходный материал ячменя: устойчивость к засухе – масса 1000 зерен, количество колосков, зерен, масса зерна с главного колоса (коэффициент корреляции с урожайностью $r = 0,889...0,987$); устойчивости к повышенной кислотности почвы – масса зерна с растения ($r = 0,756$); конкурентоспособность в условиях повышенной густоты

стеблестоя – сохранность растений к уборке ($r = 0,650 \dots 0,818$) и масса 1000 зерен ($r = 0,578 \dots 0,800$). Для лабораторной диагностики перспективны для использования всхожесть семян и масса корней. Показатель масса 1000 зерен является универсальным и высокоинформативным критерием оценки стрессоустойчивости генотипов ячменя.

Таким образом, цель исследований, направленная на выявление и научное обоснование использования источников хозяйственно-ценных признаков в селекции ярового ячменя – достигнута. Полученные данные расширяют представление о генетическом потенциале культуры и создают научную базу для ускоренной селекции по созданию конкурентоспособных сортов, адаптированных к стрессовым условиям среды.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

1. Для повышения эффективности селекционной работы по созданию стрессоустойчивых генотипов ячменя целесообразно использовать в гибридизации выделенные источники селекционно-ценных признаков из разных кластеров.
2. Информативными критериями для создания высокоурожайных и толерантных к стрессовым факторам генотипов ячменя являются сохранность растений к уборке и масса 1000 зерен.
3. Для оценки конкурентоспособности исходного материала рекомендуется использовать метод искусственного регулирования стеблестоя путем посева 700 всхожих семян на 1 м².

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Щенникова И. Н., Панихина Л. В. Влияние засухи на развитие элементов структуры урожайности сортов ярового ячменя // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 1. №. 3. С. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-3-111-121>.
2. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Панихина Л. В. Влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние и урожайность новых сортов ярового ячменя // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 10. С. 1302–1311. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1302-1311>.
3. Панихина Л. В., Лисицын Е. М., Щенникова И. Н. Реакция пигментного комплекса листьев ярового ячменя на повышенную кислотность почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 1(41). С. 194–205. DOI: [10.5281/zenodo.15147764](https://doi.org/10.5281/zenodo.15147764).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных

4. Панихина Л. В., Щенникова И. Н. Особенности морфологических реакций коллекционных образцов ячменя на увеличение плотности посева // Российская сельскохозяйственная наука. 2025. №. 3. С. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262725030036>.

В журналах и сборниках трудов

5. Мамаева Л. В. Методы оценки зерновых культур на устойчивость к абиотическим стрессам // Методы и технологии в селекции растений и растениевод-

стве. Материалы VI Международной научно-практической конференции. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. 2020. С. 135–138.

6. Мамаева Л. В. Селекция устойчивых к стрессовым факторам сортов ячменя для условий Волго-Вятского региона // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. 2021. С. 117–121.

7. Панихина Л. В., Зайцева И. Ю., Кокина Л. П. Пигментный комплекс в листьях ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона // Вестник аграрной науки. 2022. № 3(96). С. 37–44.

8. Панихина Л. В. Влияние загущенных посевов на структуру урожая сортов ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. 2022. С. 167–171.

9. Панихина Л. В. Влияния нормы высева на формирование устойчивого урожая сортов ярового ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы IX Международной научно-практической конференции. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. 2023. С. 171–175.

10. Панихина Л. В., Щенникова И. Н., Зайцева И. Ю. Оценка генотипов ячменя в вегетационных опытах // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2023. С. 176–179.

11. Панихина Л. В. Плотность посева как агротехнологический прием повышения урожайности ярового ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы XI Международной научно-практической конференции. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. 2024. С. 231–235.

12. Панихина Л. В., Кокина Л. П. Влияние стрессовых факторов на морфобиологические показатели растений ярового ячменя // Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 80-летию агрономического факультета. Киров: Вятский ГАТУ. 2024. С. 181–184.

13. Панихина Л. В. Влияние густоты стеблестоя на урожайность коллекционных образцов ярового ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы XII Международной научно-практической конференции. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. 2025. С. 121–126.

14. Панихина Л. В., Кокина Л. П. Устойчивость коллекционных образцов ярового ячменя к стрессовым факторам // Инновационные разработки в современной аграрной науке: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвящённой 60-летию НИИСХ Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН. Тюмень. 2025. С. 90–94.