

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СЕВЕРО-ВОСТОКА ИМЕНИ Н. В. РУДНИЦКОГО»

на правах рукописи

ПАНИХИНА ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА

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

Специальность 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
член-корреспондент РАН
Щенникова И. Н.

Москва – 2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 Народно-хозяйственное значение ячменя.....	11
1.2 Морфологические и биологические особенности ячменя.....	13
1.3 Исходный материал для селекции ярового ячменя.....	16
1.4 Засухоустойчивость ячменя.....	18
1.5 Восприимчивость ячменя к повышенной кислотности почвы.....	26
1.6 Влияние условий выращивания на морфофизиологические показатели ячменя.....	31
1.7 Влияние стрессовых условий на качество зерна ячменя.....	33
1.8 Влияние условий выращивания на фитосанитарное состояние посевов ячменя.....	35
1.9 Фотосинтетическая деятельность растений ячменя.....	37
ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	43
2.1 Почвенно-климатические условия Кировской области.....	43
2.2 Агрометеорологические условия в годы проведения исследований.....	45
2.3 Исходный материал и методика проведения исследований.....	52
ГЛАВА 3 СКРИНИНГ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ ЯЧМЕНЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ.....	61
ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ И СВОЙСТВ ГЕНОТИПОВ ЯЧМЕНЯ В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ КАК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ.....	69
4.1 Влияние засухи на разных этапах онтогенеза на морфофизиологические признаки ячменя.....	69
4.1.1 Скрининг устойчивых к засухе генотипов ячменя в условиях вегета- ционного опыта.....	78
4.1.2 Лабораторный скрининг генотипов ячменя по устойчивости к ос- мотическому стрессу.....	86

4.2 Оценка влияния повышенной кислотности почвы на ячмень и скрининг устойчивых генотипов.....	91
4.2.1 Лабораторный скрининг генотипов ячменя в условиях алюмокислого стресса.....	100
4.3 Генотипическая изменчивость ячменя при варьирующей густоте стеблестоя.....	105
4.3.1 Оценка конкурентоспособности образцов генетической коллекции ячменя при варьирующей густоте стеблестоя.....	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	136
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ.....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	140
Приложение А. Сортимент изученных образцов генетической коллекции ячменя.	182
Приложение Б. Источники хозяйственно-ценных признаков генетической коллекции ячменя.....	186
Приложение В. Дендрограмма кластеризации генетической коллекции по основным хозяйственно-ценным признакам, 2020-2022 гг.....	187
Приложение Г. Характеристика сформированных кластеров.....	188
Приложение Д. Вклад факторов и их взаимодействия в формирование хозяйственно-ценных признаков сортов ячменя при засухе, %.....	189
Приложение Е. Влияние засухи на элементы структуры продуктивности ячменя, 2021-2023 гг.....	190
Приложение Ж. Содержание пигментов в листьях ячменя при наличии засухи, 2021-2023 гг.....	191
Приложение И. Вклад факторов и их взаимодействие в формирование хозяйственно-ценных признаков генотипов ячменя при наличии засухи, %.....	192
Приложение К. Влияние осмотического стресса на показатели проростков ячменя.....	193
Приложение Л. Вклад факторов и их взаимодействие в формирование хозяйственно-ценных признаков генотипов ячменя при повышенной кислотности почвы, %.....	194

Приложение М. Влияние повышенной кислотности почвы на содержание пигментов во флаговых листьях ячменя.....	195
Приложение Н. Вклад факторов и их взаимодействия в формирование хозяйственно-ценных признаков сортов ячменя при изменении условий выращивания, %.....	196
Приложение П. Полевая всхожесть, число всходов и сохранность растений ячменя в зависимости от количества высеянных семян, 2021-2023 гг.	197
Приложение Р. Влияние густоты стеблестоя на высоту и устойчивость к полеганию растений ячменя, 2021-2023 гг.	198
Приложение С. Влияние густоты стеблестоя на параметры колоса и продуктивность растений ячменя, 2021-2023 гг.	199
Приложение Т. Влияние густоты стеблестоя на показатели качества зерна ячменя, 2021-2023 гг.	200
Приложение У. Влияние густоты стеблестоя на биохимические показатели качества зерна ячменя.....	201
Приложение Ф. Степень поражения и развитие корневых гнилей у 14-дневных проростков ячменя.....	202
Приложение Х. Содержание пигментов в листьях ячменя в зависимости от густоты стеблестоя, 2021-2023 гг.	203
Приложение Ц. Вклад факторов и их взаимодействия в формирование хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов ячменя при загущении посева, %.....	204
Приложение Ч. Влияние густоты стеблестоя на полевую всхожесть и сохранность растений к уборке коллекционных образцов ячменя, 2022-2024 гг.	205
Приложение Ш. Справка о внедрении результатов.....	206

ВВЕДЕНИЕ

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 агрофитценозов 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. Результатирующим 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., Шуплецов 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 засухоустойчиво-

сти 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 био-

метрических 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 агробiotехнологии 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, предло-

жений 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.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Народно-хозяйственное значение ячменя

В настоящее время ячмень высевают во всех частях света: от Арктики или Субарктики до районов Северной Африки, в Западной Европе, Северной и Центральной Америке, а также в Азии (Белоус Н. М. и др., 2010; Bian M. et al., 2013; Miralles D. et al., 2021). Широкий ареал возделывания ячменя обусловлен его биологическими особенностями – это самая скороспелая культура с высокой адаптивной способностью, благодаря чему ее выращивают в горах, в условиях повышенного увлажнения, в сухих степях, в северных регионах (Лепайыз Я. Я., 1980; Железнов А. В. и др., 2014). Ячмень занимает четвертое место по площади посева в мире, после риса, пшеницы и кукурузы (Ламмас М. Е., Шитикова А. В., 2021). По данным ФАО, за последние четыре года общие площади под ячмень составляли более 60 млн гектаров, а объем производства – более 140 млн тонн зерна (Статистические данные..., 2024).

Первое место в мире по посевным площадям ячменя занимает Россия (более 6 млн гектаров), она же является лидером по валовому производству культуры, опережая Австралию, Францию, Германию и другие страны (Донцова А. А. и др., 2016; Коротков А. Г., Коротков В. Г., 2023). На территории страны ячмень возделывают практически во всех зонах сельскохозяйственного производства - от Заполярья до южных границ (Тарасова А. М., 2007; Магомедов А. Н. Д. и др., 2009; Тютюма Н. В. и др., 2010). По данным Росстата сборы ячменя в России в 2021-2024 гг. составляли около 20 млн тонн зерна, при средней урожайности 3,2 т/га (Федеральная служба государственной..., 2024).

Основной ареал возделывания ячменя расположен в Центральном, Южном, Приволжском и Сибирском Федеральных округах (Старцева А. А., Фадькин Г. Н., 2014; Филенко Г. А. и др., 2017; Васин В. Г. и др., 2021). На долю Приволжского Федерального округа приходится более трети всех посевов ячменя России (Киндаев А. Ю., 2016; Шалаева Л. В., 2023).

В Кировской области яровой ячмень является основной зерновой культурой, занимающей 36% посевных площадей (Щенникова И. Н., Кокина Л. П., 2021). В 2021-2024 годы площадь посева культуры в среднем составляла 103,7 тыс. гектаров, собрано 199,7 тыс. тонн зерна с урожайностью 2,2 т/га (Основные итоги сельскохозяйственной..., 2024).

Ячмень зарекомендовал себя как продовольственная, кормовая и техническая культура с хорошо сбалансированным химическим составом (Гребенщиков Ю. В. и др., 2019; Олонова М. В. и др., 2019). В состав зерна ячменя входит белок (7-20%), углеводы (60-75%), жир (1,5-2,0%), клетчатка 5,0-5,5%), зольные элементы (2,5-2,8%), витамины (В1, В2, С, Е, Н и РР), из минеральных веществ преобладают соединения калия, фосфора и кремниевой кислоты (Выборнов А. А., Анисимова Л. В., 2013; Волкова Е. С., Артемова Е. Н., 2017; Завьялов Р. О. и др., 2021). В белке ячменя содержатся все необходимые аминокислоты, включая особо дефицитные и наиболее ценные – лизин и триптофан. В некоторых сортах ячменя содержание лизина в белке больше, чем в белке пшеницы (Типсина Н. Н., Пуляева О. С., 2013).

Из зерна ячменя изготавливают экстракт солода, суррогат кофе, перловую и ячменную крупу, муку, которые используют в кондитерской, спиртовой, пивоваренной и фармацевтической промышленности (Ерешко А. С. и др., 2013; Шайхиев И. Г. и др., 2017). На крупы из зерна ячменя приходится около 15% всех вырабатываемых круп в стране, они содержат много пищевых волокон и минеральных веществ (Киселева Т. Л. и др., 2018; Батехин В. М. и др., 2021). Большое содержание растворимой клетчатки (бета-глюкана) помогает контролировать уровень глюкозы в крови, снижает уровень холестерина в плазме, способствует перистальтике кишечника (Саломатов А. С., 2015). В настоящее время ячменную муку применяют в изделиях диетического питания, при изготовлении макаронных изделий, в хлебопечении (Грязнов А. А., 2015; Габдукаева Л. З., Сорокина Е. С., 2017; Халапханова Л. В. и др., 2023). В кормопроизводстве используют хорошее фуражное зерно ячменя, с высоким содержанием белка. Продукты его переработки (кормовая дробленка, отруби), растительные остатки, солому применяют в

качестве концентрированного корма для животных всех видов, в большей части для откорма свиней (Волгин В. И. и др., 2018).

1.2 Морфологические и биологические особенности ячменя

Морфологические особенности. Ячмень входит в семейство злаковых *Poaceae* и принадлежит к роду *Hordeum* L. (Саксонов С. В. и др., 2020). Растение ячменя состоит из подземных (первичные и вторичные корни) и надземных (стебель, листья, соцветие, зерновка) частей (Козьмина К. А., 1975).

Корневая система ячменя мочковатая. Зародышевые или первичные корни (их обычно 5-8 шт.) разрывают оболочку зерна, быстро растут, проникают вглубь почвы до 50-100 см, сохраняют свои питательные функции до конца вегетации. В большинстве случаев у более крупных семян развивается больше зародышевых корней (Филиппов Е. Г., Алабушев А. В., 2014). В начале побегообразования из узла кущения формируются вторичные (узловые) корни (Бершанский Р. Г. и др., 2011), они более мощные, чем зародышевые, распространяются в пределах пахотного слоя, снабжая растения питательными веществами, водой и прикрепляя его к почве (Головки Т. К. и др., 2004).

Стебель ячменя – соломина, состоящая из 4-8 междоузлий, отделенных друг от друга узлами. Длина отдельных междоузлий увеличивается от основания к верхушке стебля, а сама длина стебля варьирует от 45 до 160 см (от карликов до высокорослых форм) (Козьмина К. А., 1975; Ковригина Л. Н., 2010; Бруй И. Г., Холодинский В. В., 2022).

Листья образуются из стеблевых узлов, которые располагаются на стебле в два ряда на противоположных сторонах. Их длина может варьировать от 8 до 25 см, ширина – от 4 до 32 мм. Лист состоит из листовой пластинки, влагалища и язычка (лигулы). По краям листового влагалища есть два выроста, закрепляющие влагалище на стебле – роговидные ушки или рожки (Козьмина К. А., 1975).

Соцветие – колос, состоящий из члеников колосового стержня и одноцветковых колосков, расположенных на уступах стержня. Одним из важных селекцион-

ных признаков ячменя является *плотность колоса*. У плотного двурядного колоса на 4 см длины колосового стержня приходится 15-18 члеников, у рыхлого – 7-14 (Международный классификатор СЭВ..., 1983). Ячмень является самоопыляющимся растением и цветение и оплодотворение чаще всего происходит до выхода колоса из влагалища листа. Перекрестное опыление бывает очень редко, свойственно ячменям на юге России во время жаркой погоды (Дорошенко Э. С., Филиппов Е. Г., 2017).

Зерно ячменя овально-ромбической или продолговатой формы с щетинкой у основания.

Биологические особенности. Ячмень является наиболее раннеспелой культурой среди других яровых зерновых культур (Каримова Л. З., 2012). В северных районах продолжительность вегетационного периода у ячменя короче, чем в южных (Сахибгареев А. А., Акчурин Р. Л., 2016). Вегетационный период сортов ячменя, выращиваемых в северных регионах страны, составляет 68-80 суток (Жанбыршина Н. Ж. и др., 2021), в южных – до 120 суток (Дериглазова Г. М., 2019).

Ячмень проходит фазы роста и развития, присущие другим злаковым культурам: прораствание зерновки, всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, формирование и созревание зерна.

Прораствание. Семена начинают прораствать при температуре 1-2 °С, при оптимальной температуре (20 °С) прораствание длится 6-8 суток (Стрижова Ф. М. и др., 2008).

Появление всходов. Когда первый прорастваяющий лист (колеоптиле) выходит на поверхность почвы, его рост прекращается, а первый настоящий лист разрывает колеоптиле и выходит наружу, образуя сизовато-зеленые всходы. На прораствание и становление проростка влияет гидротермический режим, влагообеспеченность и срок посева (Перепичай М. И. и др., 2024). Низкие температуры и недостаток влаги задерживают появление всходов на 14-20 суток (Грязнов А. А., 2019). Оптимальный срок посева ячменя – момент наступления физической спелости почвы (Филиппов Е. Г., Хронюк В. Б., 2004).

Кущение сопровождается образованием боковых побегов и вторичной корневой системы. Ячмень обычно кустится обильнее, чем другие культурные злаки, всего образуется до 18-20 побегов кущения (Грошева Т. Д., Смольков Н. А., 2023). В период кущения происходит закладка цветков в колосках и закладка колосковых чешуй.

Во время *выхода в трубку* первый узел стебля уже виден на поверхности почвы, внутри него происходит интенсивный рост колоса, формирование колосков и цветков заканчивается, нарастает масса корней и листьев. От количества колосков, которые образуются в фазу «выход в трубку», зависит продуктивность колоса. После появления четвертого узла разворачивается самый верхний (флаговый) лист (Вавилов П. П. и др., 1983).

Колошение начинается с появления 25% колоса из пазухи верхнего листа, завершаясь его полным выходом из влагалища листа.

Цветение начинается в средней части колоса еще до полного колошения, когда колос не вышел из влагалища флагового листа. К середине фазы созревает 50% тычинок (Ториков В. Е. и др., 2023). В жаркую и засушливую погоду цветение и оплодотворение наступает рано и заканчивается до выхода колоса из пазухи верхнего листа, в прохладную и влажную погоду – когда колос полностью выходит из влагалища верхнего листа (Глухих М. А., 2015).

Созревание зерен охватывает период молочной, восковой и полной спелости. В фазу молочной спелости зерно зеленое, его рост продолжается. При наступлении восковой спелости зерно полностью сформировано, поступление питательных веществ в зерновку прекращается. В полную спелость зерно твердеет, теряет влагу.

Требования к условиям выращивания. *Требования к температуре.* Потребность в тепле у ячменя зависит от фаз роста и развития. В период прорастания растения нуждаются в достаточном количестве влаги, кислороде, определенной положительной температуре воздуха и почвы (Посыпанов Г. С. и др., 2007). Всходы выдерживают понижение температуры до минус 4-9 ° С, при этом могут частично повреждаться листья, сохраняя узел кущения (Грязнов А. А., 2019). Ячмень сильно страдает

от быстрого нарастания высокой температуры в фазу выхода в трубку, когда идет формирование зачаточного колоса. Наиболее высокая требовательность к теплу проявляется в период от колошения до созревания (Кошеляев В. В. и др., 2013).

Требования к почве. Ячмень – требовательная к почвенному плодородию культура. Эта биологическая особенность определяет повышенную требовательность ячменя к условиям питания в начальный период развития, так как за сравнительно короткий период времени вегетации происходит интенсивное накопление органического вещества. Компенсировать недостаток питания первого периода вегетации ячменя в последующие фазы развития невозможно (Сахибгареев А. А., Акчурин Р. Л., 2016). Наиболее благоприятны для выращивания ячменя почвы с рН больше 5,0. На землях с повышенной кислотностью почвенного раствора снижается продуктивность.

Требования к свету. Ячмень относится к растениям длинного светового дня. В северных районах световой день и, соответственно, вегетационный период меньше, чем на юге (Коломейченко В. В., 2018).

Требования к влаге. Для хорошего развития ячменя важно бесперебойное обеспечение влагой посевов в критические периоды его роста и развития. Засуха в фазу кущения приводит к слабому развитию вторичной корневой системы, снижению количества продуктивных стеблей, в фазу выхода в трубку – к уменьшению количества зерен в колосе. Дефицит влаги в фазу колошения приводит к увеличению числа бесплодных колосков, в фазу молочной спелости – к преждевременному усыханию стеблей и листьев, повышению доли белковых веществ, снижению выравненности и крупности зерна, к снижению урожайности (Фирсов И. П., 2006; Дериглазова Г. М., 2019).

1.3 Исходный материал для селекции ярового ячменя

В сельском хозяйстве ценятся сорта, отличающиеся не только высокой урожайностью, но и универсальностью, устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессовым факторам среды (Дорошенко Э. С., Филиппов Е. Г., 2017). На

фоне наблюдающейся тенденции повышения среднегодовой температуры погодные условия вегетационных периодов сильно варьируют по годам. Возникает необходимость постоянного поиска новых селекционных источников, со стабильной урожайностью в меняющихся условиях вегетации (Землянкина Ю. Н. и др., 2017).

В основе селекционного процесса лежит отбор и дальнейшее вовлечение в гибридизацию наиболее адаптивных селекционных форм, которые в нестабильных агроклиматических условиях способны формировать высокую урожайность. В условиях Нечерноземья выращивание ярового ячменя сопровождается рядом стрессовых факторов, обусловленных климатическими и почвенными особенностями региона: перепады температур и весенне-летние засухи, низкое естественное плодородие на фоне повышенной кислотности почв и многочисленные болезни (Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н., 2019; Жилин Н. А., Щенникова И. Н., 2020).

Применение группирующих признаков в рамках кластерного анализа дает возможность классифицировать генотипы по количественным показателям, объединяя их в группы с минимальным Евклидовым расстоянием. Такой подход позволяет всесторонне оценить сбалансированность сортов и селекционных линий по комплексу признаков. При этом снижение определенного уровня формирования одного или нескольких параметров может стать препятствием для включения генотипа в наиболее перспективный кластер, несмотря на высокие показатели урожайности. Использование данного метода при отборе генотипов способствует созданию идеальной по сбалансированности основных хозяйственно-ценных признаков теоретической и практической модели сорта ярового ячменя (Ашиев А. Р. и др., 2021; Сидоренко В. С. и др., 2025).

В России для тщательного поиска и подбора исходного материала как основной ресурс селекционеры используют генетическое разнообразие культурных растений коллекции генетических ресурсов растений ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР) (г. Санкт-Петербург) (Лоскутов И. Г. и др.,

2012; Хлесткина Е. К., Чухина И. Г., 2020; Тетянников Н. В., Боме Н. А., 2020). Благодаря академику Н. И. Вавилову на научной основе были начаты мобилизация генетических ресурсов растений и комплексное изучение растительного разнообразия с целью создания новых сортов и гибридов (Родина Н. А., 2006; Дзюбенко Н. И., 2015).

В России генетическая коллекция включает более 20 тыс. образцов ячменя, представляющих 24 вида. Вся система изучения образцов основана на исследованиях в контрастных эколого-географических условиях с последующим выделением генотипов широкого ареала с общей адаптивностью. С использованием ресурсов генетической коллекции создано свыше 200 сортов ячменя, включая все российские короткостебельные и устойчивые к полеганию сорта, использование в производстве которых позволило повысить урожайность в 2-3 раза и валовые сборы зерна (Лоскутов И. Г. 2020).

В лаборатории селекции и первичного семеноводства ярового ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за период с 1971 г. создано и передано на государственное сортоиспытание более 30 сортов ярового ячменя, из них 14 в разные годы были включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ.

1.4 Засухоустойчивость ячменя

Многочисленными исследованиями доказано, что во многих странах мира, в том числе и в России, наблюдается тенденция увеличения потерь объемов производства в агропромышленных комплексах из-за возникновения опасных природных явлений (Страшная А. И. и др., 2011; Сажин А. Н., Судаков А. В., 2013; Поварницына А. В., Савин М. И., 2022), в частности от продолжающегося потепления, которое способствует увеличению повторяемости и интенсивности таких экстремальных явлений природы, как засуха (Вильфанд Р. М. и др., 2016; Мохов И. И., 2022).

В сельском хозяйстве под засухой понимают период длительного отсутствия осадков, повышенного температурного режима воздуха и почвы, приводя-

щий к почвенной засухе и влияющий на состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур. Засуха влияет на морфологию, физиологию, биохимические и молекулярные характеристики растений, в конечном итоге приводит к нарушению водного баланса и уменьшает объемные размеры всех органов, что существенно сказывается на урожайности растений (Носкова Е. Н., Щенникова И. Н., 2018; Банадысев С. А., 2022).

В зависимости от места проявления и признака недостатка влаги различают атмосферные, почвенные (гидрологические) и комбинированные (атмосферно-почвенные) засухи (Solh M., van Ginkel M., 2014; Соломина О. Н. и др., 2017; Рязанова А. А., Воропай Н. Н., 2018; ИONOва Е. В. и др., 2019). Под *атмосферной засухой* понимают длительный период без осадков или с очень малым количеством осадков, с одновременно высокой температурой и низкой влажностью воздуха, при этом происходит превышение испарения над осадками (Владимиров А. М., 2012). Атмосферная засуха чаще всего наблюдается весной, когда почва еще насыщена водой после таяния снега. Воздействие такой засухи на растения происходит очень быстро – иногда повреждения могут проявиться всего за несколько часов. Водонасыщенность тканей растений уменьшается, что нарушает нормальные условия фотосинтеза и углеродного питания (Иванов В. П. и др., 2013). Продолжительная атмосферная засуха может привести к почвенной засухе, которая представляет собой большую угрозу для растений (Владимирский В. К., 2013).

Почвенная засуха представляет иссушение почвы в корнеобитаемом слое, возникает в середине или конце лета, когда запасы весенней влаги уже истощены, а летних осадков недостаточно. В течение вегетации растений возникают недлительные периоды нехватки воды, но после влажность почвы восстанавливается, и растения возобновляют рост. Вследствие длительного недостаточного количества осадков возникает несоответствие между потребностью растений во влаге и ее наличием в почве, вследствие чего растения начинают увядать (Куст Г. С., и др., 2010; Иеронова В. В., 2013; Li X. et al., 2022). При одновременном возникновении недостатка влаги в почве в глубоких ее слоях и краткосрочном избытке в верхнем

слое возникает сложность при определении и идентификации типа засухи (Хлебникова Е. И. и др., 2012).

Атмосферно-почвенная засуха характеризуется высушенной почвой, сухим воздухом и сильным суховеем, приводит к заметному истощению поверхностных (озер, ручьев, водохранилищ) или подземных вод (Куст Г. С. и др., 2010; Almedeij J., 2016).

Степень снижения урожая зависит от силы и продолжительности засухи (Чернядьев И. И., 2005). В зависимости от времени года различают весенние, летние и поздние летние засухи. Они очень редко бывают в чистом виде. Чаще всего ранняя весенняя засуха перерастает в весенне-летнюю или в позднюю летнюю (Тлеумуратова Б. С. и др., 2022).

Ранневесенняя засуха обычно начинается с начала весны после схода снега и совпадает с периодом посева и последующими наиболее ответственными периодами роста растений, приводит к снижению количества всходов, а в дальнейшем препятствует формированию узловых корней и зачаточного колоса. Засуху в первой половине вегетации растений относят к числу основных факторов, ограничивающих продуктивность культурных растений (Чекалин С. Г. и др., 2020). На участках, где весной в почве было мало воды, при последующем выпадении летних осадков состояние посевов ранних зерновых культур улучшается очень редко. Сохранение растений до летних дождей, в значительной мере связано с более высоким уровнем агротехники, посевом засухоустойчивых сортов. В годы хорошего весеннего увлажнения почвы, если ранняя весенняя засуха не перерастает в летнюю, с наступлением влажной погоды состояние посевов значительно улучшается и может быть получен вполне удовлетворительный урожай (Дериглазова Г. М., 2019).

Весенне-летняя засуха продолжается с мая по июль и наносит большой ущерб урожаю яровым зерновым культурам. Она чаще всего начинается с периода кущения растений. При одинаковой продолжительности причиняемый ею вред урожаям меньше, чем от ранней весенней. Если ранние зерновые культуры успели сформировать вторичную корневую систему, то при достаточных запасах влаги в

почве они сравнительно легко переносят последующую засушливую погоду (Максютов Н. А., Зоров А. А., 2016).

Ранняя весенняя и весенне-летняя засухи в некоторых случаях захватывают более длительный период (с ранней весны до осени), образуя *устойчивую* засуху. Наиболее сильные неурожаи всех культур были в годы с такой засухой, так как она действовала на все фазы роста и развития растений, вызывая депрессию всех компонентов продуктивности растений (Филиппов Е. Г. и др., 2013; Носкова Е. Н., Щенникова И. Н., 2018; Блохин В. И. и др., 2022).

После 80-х годов XX века частота проявлений жаркой погоды, в сравнении с более ранним периодом, увеличилась примерно в 50 раз (Кинчаров А. И. и др., 2022). За последние десятилетия 80% пахотных земель подвергались дефициту атмосферных осадков. Особенно сильной и вредоносной была жаркая погода в 1972, 1975, 1998, 1999, 2009 и 2010 г. (Кокина Л. П. и др., 2018). В связи с изучением экстремальной засухи 2010 г. возросло количество как отечественных, так иностранных публикаций, посвященных объяснению причин возникновения засух, оценке интенсивности их в разных регионах и негативных последствий (Страшная А. И. и др., 2013; Черенкова Е. А., 2015).

В работе А. И. Страшной с коллегами (2011) отмечено, что в России предвестником засухи 2010 г. являлись низкие запасы влаги в почве еще с осени предыдущего года. Установившееся в мае 2010 г. мощное барическое образование высокого давления с последующей атмосферной, а позже и с почвенной засухой с высокими температурами неблагоприятно сказывалось на формировании урожая зерновых культур.

В Кировской области установлено устойчивое повышение среднегодовой температуры на 0,4 °С в 10 лет. За последние два десятилетия температура воздуха превысила климатическую норму на 0,7-2,6 °С, при этом потепление формируется за счет зимних месяцев (Волкова Л. В., 2023).

По данным Э. Л. Климашевского (1991), засухоустойчивые сорта зерновых культур эффективнее используют питательные вещества почвы при ее пониженной влажности, а при ее повышенной влажности – наоборот. Зерновые культуры

по степени засухоустойчивости делятся на три группы: засухоустойчивые (просо, сорго), среднеустойчивые (пшеница, ячмень, кукуруза, рожь) и слабоустойчивые (овес, рис). Ячмень, являясь более скороспелой зерновой культурой, имеет меньшую продолжительность критического периода и поэтому обнаруживает иногда кажущуюся более высокую засухоустойчивость (Иеронова В. В., 2013).

Как указано выше, органообразовательные процессы растений требуют определенного количества влаги в почве на каждом этапе развития. По мнению большинства исследователей (Грязнов А. А., 1996; Асеева Т. А., Шукюров С. А., 2010; Чекалин С. Г. и др., 2020; Блохин В. И. и др., 2022), важным межфазным периодом в вегетации является «выход в трубку – колошение», когда происходит закладка и формирование генеративных органов.

Перспективным подходом для исследования механизмов, обеспечивающих приспособление растений к засухе, является сравнение реакции на засуху образцов, различающихся по уровню засухоустойчивости (Шарипова Г. В., Фархутдинов Р. Г., 2009). О засухоустойчивости зерновых культур в фазу цветения и колошения можно судить по числу зерен в колосе, поэтому образцы с высокой и стабильной озерненностью колоса можно считать засухоустойчивыми в эту фазу (Тютюма Н. В. и др., 2012). Выведение и внедрение в производство засухоустойчивых сортов с высокой адаптивностью может во многом определять решение проблемы стабилизации зернового производства (Носкова Е. Н., Щенникова И. Н., 2018).

Существует множество методов оценки засухоустойчивости растений, среди которых можно выделить полевые, вегетационные и лабораторные. Прямая оценка засухоустойчивости в поле при всей ее объективности требует многолетних наблюдений. Н. И. Вавилов (1987) считал, что большую роль в селекции на засухоустойчивость должны сыграть именно прямые способы определения засухоустойчивости. Однако, засуха бывает не каждый год, изменяются также ее продолжительность и сроки наступления.

Для оценки засухоустойчивости в полевых условиях пользуются засушниками. Засушник представляет собой деревянный или легкий металлический каркас с наклонной крышей, который устанавливается в поле. Каркас покрыт про-

зрачным материалом, изолирующим посев от выпадающих осадков. Благодаря прозрачному покрытию условия ассимиляции растений в засушниках и в контрольных делянках отличаются незначительно. Растения находятся в естественных условиях, и оценка степени их засухоустойчивости благодаря этому бывает довольно точной. Ее определяют, сравнивая урожай с укрытых и контрольных (не укрытых) частей делянок (Литвинов А. С., 1951). Описаны случаи, когда у заведомо неустойчивых к засухе, но приспособленных к местным условиям сортов урожай зерна был выше, чем у более засухоустойчивых (Моткалюк О. Б., 1973). В. В. Маймистовым (1983) были предложены высокие насыпные почвенные гряды для определения засухоустойчивости культур. При таком способе почвенная засуха создавалась без использования искусственных укрытий. В 1997 г. для оценки засухоустойчивости овса Н. М. Шарошкин с коллегами заключали почвенный слой (0,5 м) под засушником в бетонный короб, который ограничивал рост корневой системы. Для оценки засухоустойчивости почвенный субстрат в засушнике изолировали от почвенной влаги только в вертикальной плоскости. Это позволило оценить способность сортов к выносливости к засухе.

Разные способы диагностики устойчивости растений разрабатывались в целом ряде научных учреждений страны, и для практического использования были рекомендованы разнообразные приемы оценки устойчивости к экстремальным факторам. В сборнике научных трудов (Методы оценки устойчивости..., 1976) представлен ценный обзор методов диагностики устойчивости. Условия засушливого режима создавали с использованием вегетационных сосудов. Растения на несколько суток оставляли без полива, а когда в почве оставалась только недоступная для растений влага – полив возобновляли. Методику успешно применяла И. В. Верниченко с коллегами (2015) в московском университете. Искусственно созданная почвенная засуха в начале выхода в трубку вызывала значительные потери урожая зерна ячменя.

Полевые и вегетационные методы требуют значительного времени исследования, производственных площадей и энергетических затрат для формирования возмущающих воздействий в производственных условиях. Кроме того, может по-

требуется размещение экспериментальных площадей в разных климатических зонах. Поэтому такие методы являются финансово затратными (Гринкевич В. А., Сероклинов Г. В., 2019).

Для ускорения селекционного процесса в последнее время все чаще прибегают к косвенной оценке засухоустойчивости с помощью лабораторных физиологических методов. Эффективным методом, обеспечивающим ускорение селекционного процесса по отбору высоко адаптивных генотипов, устойчивых к абиотическим факторам среды, является лабораторная экспресс-диагностика, позволяющая в короткие сроки с использованием провокационных фонов оценить сорта по устойчивости к засухе (Патуринский А. В., Козулина Н. С., 2003). Так П. А. Генкель изучал физиологию засухоустойчивости растений, проводил лабораторную оценку засухоустойчивости с использованием листьев растений или вырезок из них, разработал метод определения способности растений переносить обезвоживание по степени плазмолиза (экдикаторный метод) (1946), метод определения пластичности протоплазмы (1951), метод крахмальной пробы (1952). И. И. Гунар и соавторы (1961) считали, что характерные особенности биоэлектрического потенциала (увеличение амплитуды, длины волны, времени наступления реакции) могут служить критерием повреждения растений. А. А. Шаповалов (1973) исследовал изменение проницаемости клеточных мембран в поврежденных тканях по выходу электролитов из клеток и тканей в воду. В поврежденных тканях проницаемость увеличивалась. В работе Г. Н. Еремеева и А. И. Лищук (1974) выявлена положительная корреляция между повышением водоудерживающей способности листьев и засухоустойчивостью растений.

Среди множества физиологических методов оценки засухоустойчивости полевых культур наиболее простые косвенные методы для массовой оценки относительной засухоустойчивости основаны на определении прорастания семян и роста проростков в растворах осмотиков, имитирующих недостаток влаги, поскольку давно известна положительная корреляция между засухоустойчивостью и способностью семян прорасти в растворах осмотиков (Федулов Ю. П., 2015). Ряд исследователей проводили диагностику устойчивости растений к засухе в растворах

сахарозы (Кожушко Н. Н., Волкова А. М., 1982; Патурицкий А. В., 2017; Ныска И. Н., Петренкова В. П., 2017; Косых Л. А. и др., 2024). Диагностика устойчивости растений к засухе проводилась по способности семян прорасти в осмотически крепких растворах сахарозы и по числу зародышевых корней, поскольку способность сортов формировать мощную первичную корневую систему играет важную роль в неблагоприятных условиях. М. М. Васильев и коллеги (2016) в качестве показателя подавления ростовых процессов в растворе сахарозы использовали величину сухой биомассы надземных и подземных частей проростков. В. И. Полонский (1988) предложил метод оценки засухоустойчивости, основанный на изменении гуттации (процесс выведения воды в виде капель жидкости на поверхности растения водными устьицами) проростков в растворах осмотиков, имитирующих недостаток влаги. А. А. Грязнов (1996) для определения засухоустойчивости разработал метод оценки сортов по способности листа к сворачиванию в условиях стресса.

Механизмы устойчивости растений к неблагоприятным факторам действуют на разных уровнях организации. На клеточном уровне проявляются физиолого-биохимические механизмы устойчивости, которые позволяют повышать эффективность селекции внедрением клеточных технологий. Соматоклональная изменчивость, лежащая в основе клеточного отбора *in vitro*, перспективна для создания новых форм растений с высоким потенциалом устойчивости к абиотическим стрессорам. Использование селективных сред *in vitro* позволяет имитировать естественные стрессовые условия (засуха), что обеспечивает экспрессию генов устойчивости и дает возможность отбирать нужные варианты (Шуплецова О. Н., Широких И. Г., 2015; Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е., 2021).

Засуха вызывает серьезные изменения большинства физиологических процессов у растения: задержку роста и развития, потерю тургора, снижение скорости фотосинтеза. В целом, различные стрессовые условия, включая засуху, обычно приводят к существенному уменьшению содержания фотосинтетических пигментов (Каляга Т. Г., Козел Н. В., 2020). Фотоассимилянты флагового и подфлагового листьев идут на формирование зерна, тогда как ассимилянты остальных ли-

стьев, в основном, способствуют поддержанию их собственного метаболизма (Баталова Г. А. и др., 2017).

По мнению М. Fargoоq с коллегами (2009), засуха снижает эффективность использования воды, происходит закрытие устьиц листьев и снижение скорости ассимиляции углекислого газа, снижение уровня фотосинтетических пигментов и скорости фотосинтеза в целом.

Хорошим критерием устойчивости растений к засухе является степень изменения содержания хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов, связанных с липопротеидным комплексом пластид в процессе завядания. Методы подробно описаны в практикумах по физиологии растений (Сказкин Ф. Д. и др., 1958; Виктор Д. П., 1969). Т. Г. Каляга и Н. В. Козел (2020) в своих исследованиях отмечают взаимосвязь между динамикой накопления пигментов и засухоустойчивостью утверждая, что в условиях засухи достоверно уменьшается общее количество хлорофиллов и каротиноидов.

1.5 Восприимчивость ячменя к повышенной кислотности почвы

Для роста и развития многих сельскохозяйственных культур повышенная кислотность почвы неблагоприятна. Она является основным ограничителем почвенного плодородия, которое оказывает непосредственное влияние на физико-химические и биологические процессы в почве, в итоге определяет урожайность сельскохозяйственных культур (Кузнецова Т. Е. и др., 2011). Кислыми называют почвы, значение рН солевой вытяжки которых находится ниже 7,0 (Соколова Т. А. и др., 2012). Лучше всего ячмень развивается при рН свыше 5,6-5,8, на более кислых почвах он не полностью реализует биологический потенциал урожая (Неттевич Э. Д. и др., 1981).

На территории России около 35,1 млн гектаров пашни занято почвами с повышенной кислотностью (Иванов А. Л. и др., 2020). В Нечерноземной зоне больше половины пахотных земель (62%) представлено дерново-подзолистыми почвами (Чеботарев Н. Т., Броварова О. В., 2023), которые отличаются низким

естественным плодородием и высокой кислотностью (Тюлин В. В., 1976; Марчик Т. П., Ефремов А. Л., 2006).

Концентрация ионов водорода оказывает влияние на поступление элементов питания в растение (Нурлыгаянов Р. Б. и др., 2021). Повышенная кислотность почвы негативно сказывается на росте и развитии корневой системы, снижает длину, массу корней и количество корневых волосков, что в итоге приводит к нарушению минерального питания и снижению продуктивности растений (Попова Н. П. и др., 2020).

Одним из наиболее существенных отрицательных факторов, вызванных высокой кислотностью, является накопление в почве подвижных форм алюминия (Окорков В. В., 2011). Генетической особенностью дерново-подзолистых почв Кировской области является высокая кислотность и повышенное содержание алюминия (Караваев Л. Л. и др., 2017). Наличие алюминия в почве задерживает рост и проникновение корней в глубину, снижает сопротивляемость засухе, нарушает фосфатный режим в растениях (Родина Н. А., 2006). Ячмень плохо переносит повышенную кислотность почвы, особенно в ранний период развития (Посыпанов Г. С., 2007). В опытах на выщелочном черноземе Пензенского ГАУ увеличение рН на 0,07-0,10 привело к увеличению урожайности зерна ячменя на 11,3% (Чекаев Н. П., Колесов А. Е., 2021).

Причин подкисления почвы несколько. Естественное подкисление происходит в зонах с промывным водным режимом (Зайдельман Ф. Р. и др., 2013). При разложении растительных остатков из микроорганизмов выделяются органические кислоты, которые повышают концентрацию водорода, происходит естественное закисление почв (Тараторкин В. М., Петров Е. Б., 2015). Подкисление почв может происходить также под влиянием ряда антропогенных факторов: интенсивное использование почв в земледелии и применение агротехнологий, мелиоративные мероприятия, нерациональное применение удобрений (форм и доз), промышленные и городские отходы и сточные воды (Волкова И. Н., 2013; Леухина О. В., Леухина Т. В., 2017; Зинченко С. И., Щукина И. М., 2022). Образование кислотных атмосферных выпадений, которые также являются существенным источником подкис-

ления почв, связано с техногенными выбросами в атмосферу диоксидов серы, оксидов азота (Анопченко Л. Ю., Якутин М. В., 2015; Пономарев А. Я. и др., 2015), источниками которых являются предприятия металлургии, химической промышленности, выхлопные газы автотранспорта (Ефремов В. Н., и др., 2016).

Основным мероприятием, направленным на создание благоприятной реакции среды почвенного раствора является известкование (Стюхин А. Ю. и др., 2007; Митрофанова Е. М., 2009). Использование извести и доломитовой муки вытесняет ионы водорода ионами кальция, магния, натрия и калия, позволяет регулировать кислотность почв (Сибгатов А. Р., 2015). Внесение не только извести, но и органических удобрений вызывает подщелачивание почвы (Югай А. М., 2015), улучшает доступность посевам азота и фосфора, обогащает корнеобитаемую среду растений кальцием и магнием (Некрасов Р. В. и др., 2019), снижает подвижность и негативное действие на растение алюминия и марганца, повышает биологическую активность почвы, улучшает ее агрофизические, агрохимические и биологические свойства (Минеев В. Г. и др., 2014). Внесение удобрений заключается не в столько в привнесении микроэлементов, сколько в изменении их подвижности в почве при сдвиге кислотности (Мирошниченко Н. Н. и др., 2012), оптимизировании экологического состояния агроландшафта (Попова Н. П. и др., 2020)

В исследованиях Ю. Н. Трубникова (2011) выявлено, что известкование на дерново-подзолистой почве увеличивает урожайность пшеницы и ячменя. Известкование кислых почв в Сибири дает положительные результаты при выращивании чувствительных к кислотности культур, прежде всего многолетних бобовых трав, а также пшеницы, ячменя и озимой ржи (Трубников Ю. Н. и др., 2008). В опытах Е. Н. Волковой (2020) с разными сортами ячменя и при использовании разных уровней известкования установлено, что изменение кислотно-основных свойств почвы неодинаково влияет на продуктивность в целом и отдельные ее элементы.

Параллельно с агротехническими способами проблему повышенной кислотности почвы решают селекционным путем (Косарева И. А., 2012). Наиболее эффективным и рациональным путем снижения влияния кислотности почвы является выращивание сортов с высокой адаптивностью к данному стрессовому фактору

(Кузнецова Т. Е. и др., 2011). Это позволяет сокращать затраты на химическую мелиорацию, обеспечивает защиту посевов от стрессовых эдафических факторов среды (Лисицын Е. М., Лисицына И. И., 2008). Создание сортов с адаптивными реакциями, обеспечивающими комплексную устойчивость к повышенной почвенной кислотности и токсичности алюминия, приобретает актуальность (Шляхтина Е. А., Рылова О. Н., 2021). Так сорта озимой ржи (Кедрова Л. И., Уткина Е. И., 2018), овса посевного (Косарева И. А. и др., 2013), ярового ячменя (Щенникова И. Н. и др., 2009; Ерошенко Л. М. и др., 2011), яровой пшеницы (Митрофанова Е. М., 2012), яровой тритикале (Зуев Д. В., Тысленко А. М., 2016), созданные в условиях широкого распространения почв с повышенной кислотностью, характеризуются высоким потенциалом кислото- и алюмоустойчивости.

В исследованиях М. Neenan (1960) обнаружено, что не все разновидности ячменя и пшеницы одинаково чувствительны к почвенной кислотности. Некоторые сорта были устойчивы к высокому содержанию алюминия, тогда как другие были устойчивы к высоким концентрациям марганца. Подтверждением этого мнения являются данные, полученные в результате исследований зерновых культур и клевера лугового Е. М. Лисицыным и И. И. Лисицыной (2008), которые не позволяют однозначно считать повышенную кислотность почвы в месте выведения сорта гарантией его высокой потенциальной алюмоустойчивости. Исследованиями учеными из СЗ НИИСХ показано, что сорта, полученные на подзолистых почвах, дают более высокие урожаи на кислых почвах без известкования, чем сорта, происходящие из черноземных районов и с почвами, близкими к ним по реакции среды (Митрофанова Е. М., 2010). Результаты исследований М. Ваку с коллегами (2017) показали, что для одного и того же сорта сельскохозяйственной культуры критический уровень алюмокислотности и кислотности различается на разных типах почв.

Для определения устойчивости растений к повышенной кислотности почвы используют полевой метод (Яковлева О. В., 2013). Т. С. Chiasson (1964) и Н. А. Родина (2006) проводили сравнение урожая растений ячменя, произрастающих на участках с различными показателями кислотности почвенного раствора. В целях дифференциации сортов по их реакции на воздействие токсичных стрес-

совых факторов, наряду с полевыми испытаниями все большее значение приобретает оценка по физиологическим показателям, позволяющая с помощью лабораторных методов получать аналогичные результаты на ранних стадиях развития растений (Сурин Н. А. и др., 2012).

Известен способ оценки кислотоустойчивости растений, при котором зерна проращивают в чашках Петри в дистиллированной воде с нейтральной (контроль) и низкой pH (стресс-фактор) (Зобова Н. В., Ступко В. Ю., 2014). Довольно простым и распространенным методом является выращивание проростков в водной культуре на едином носителе (растильни, установленные в пластиковых контейнерах), где в качестве тест-объекта используется подавление роста корней в ответ на стрессовый фактор (Косарева И. А. и др., 1998; Родина Н. А., Солодянкина М. М., 1999). Также известен способ оценки алюмоустойчивости зерновых культур в водно-бумажной культуре, когда семена проращивают в рулонах из фильтровальной бумаги в растворах (контроль и стресс-фактор). По окончании эксперимента используют средний показатель длины корней проростков для расчета индекса длины корней (ИДК) (Лисицын Е. М., 2003). О. Н. Шуплецова с коллегами (2017) культивировали проростки на агаре с добавлением ионов алюминия и водорода. В своих исследованиях G. Jozefaciuk и A. Szatanik-Kloc (2004) применяли метод, основанный на электропроводности корней. По их мнению, изменения поверхностного заряда у устойчивых к алюминию образцов были менее интенсивными, чем у чувствительных к алюминию. D. M. Wheeler с соавторами (1992) оценивали влияние алюминия на рост растений пшеницы методом окрашивания гематоксилином.

Для повышения эффективности и корректировки клеточной селекции в получении адаптивных генотипов ячменя в условиях токсичности почв с повышенной кислотностью представляют практический интерес контролируемые экспериментальные условия *in vitro*. Однако характер возникающей *in vitro* изменчивости не всегда одинаковый — отдельные признаки могут изменяться как в сторону повышения, так и понижения значений по сравнению с исходным сортом (Коньшева Е. Н., Зобова Н. В., 2006; Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н., 2018). Примене-

ние ДНК-маркеров может способствовать оптимизации схемы селекции, уменьшению времени и трудозатрат, необходимых для создания нового сорта (Leifert C. et al., 1992; Новоселова Н. В., Бакулина А. В., 2020).

1.6 Влияние условий выращивания на морфофизиологические показатели ячменя

Одним из важных факторов формирования высокой урожайности является оптимальная густота стеблестоя, которая обеспечивается за счет сочетания оптимальной количества высеваемых семян, генетических особенностей сортов и условий региона возделывания. Оптимальная густота стеблестоя формирует наилучшую площадь питания растений, улучшает качество зерна, увеличивает урожайность (Щекутьева Н. А., 2017; Блохин В. И. и др., 2019; Холодинский В. В. и др., 2022). Густота всходов – это первый показатель структуры урожайности, который можно оценить визуально, обращая внимание на равномерность и дружность появления всходов (Куконкова А. А., Терехов М. Б., 2013).

В исследованиях ряда авторов отмечено, что при изреживании посевов увеличивалась площадь питания растений, что обеспечивало более дружное прорастание семян и возрастание полевой всхожести (Ламажап Р. Р., 2022; Дубровский А. В. и др., 2023), повышало процент выживаемости растений перед уборкой (Пигорев И. Я., Комарицкая Е. И., 2005), энергию кущения, массу зерна с колоса (Герасимов С. А., Ляхова Н. Е., 2015), массу 1000 зерен (Берсенева Я. В., 2016; Коблянский А. С., Репко Н. В., 2019; Юсова О. А. и др., 2020). Выявлена отрицательная корреляция между количеством продуктивных стеблей и числом зерен в колосе, а также массой 1000 зерен (Шаганов И. А., 2008; Радченко Л. А. и др., 2021).

Оптимальная густота стеблестоя снижает неблагоприятное воздействие погодных условий на элементы структуры растений, качество получаемой продукции, величину урожая (Зверева Г. К., 2006; Еряшев А. П. и др., 2018). Исследователи П. А. Черномаз и И. В. Якушкин (1959), Я. Я. Лепайыз (1980) отмечали, что

при оптимальных условиях вегетации на главных стеблях формируется более крупное и выполненное зерно.

В загущенных посевах снижается выживаемость растений в период вегетации, общая и продуктивная кустистость, количество зерен в колосе (Исаенко А. В., 2013; Паштецкий В. С. и др., 2018; Афонин Н. М., Золотарев А. Н., 2024), увеличивается высота растений (Чернобай С. В., Рожков А. А., 2014; Горянин О. И. и др., 2023) и урожайность (Кузикеев Ж. В. и др., 2020). Оптимизация густоты стеблестоя может позволить избежать полегания, снижения качества зерна и урожайности, засоренности посевов. Для получения максимального урожая необходимо учитывать сортовые особенности и почвенно-климатические условия региона возделывания.

Регулирование густоты стеблестоя ячменя снижает долю сорняков в общей растительной массе. В условиях органического земледелия существует возможность рекомендовать высокую густоту стеблестоя в качестве метода подавления популяций сорняков в посевах ячменя (Милевская И. А., 2014). Увеличение густоты стеблестоя может снижать расход гербицидов. К тому же применение гербицидов в засушливые годы не всегда надежно снижает уровень засорения посевов (Гладких А. В. и др., 2013). Кроме этого, в связи с сокращением посевных площадей в настоящее время увеличение густоты стеблестоя позволяет на ограниченной территории выращивать большее количество растений и получать высокий урожай.

Сложившиеся природно-экономические условия в современных реалиях требуют пересмотра структуры посевных площадей при возделывании полевых культур (Горянин О. И. и др., 2023). Важная роль в решении этих проблем отводится совершенствованию всех необходимых технологических процессов в направлении ресурсосбережения. Расчет экономической эффективности производства зерна является заключительным этапом при разработке рекомендаций производителям сельскохозяйственной продукции. Для получения высоких урожаев зерна ячменя необходимо создавать сорта, позволяющие с максимальной эф-

фективностью использовать экономические и технические возможности хозяйств при минимизации затрат на его производство (Пигорев И. Я. и др., 2013).

Главная роль в получении высококачественного зерна принадлежит сорту, потому что именно в сорте закладываются генетические основы формирования урожая высокого качества (Щенникова И. Н., Кокина Л. П., 2021). Различия в реакции ячменя на загущение посева (Ерешко А. С., Шикина Л. В., 2010; Еряшев А. П., Саулин А. А., 2013; Артемьев А. А. и др., 2022) свидетельствуют о возможности создания сортов способных в условиях учащающихся ранневесенних засух, низком уровне плодородия, повышенной кислотности почвы не снижать способность продуктивного кушения. В то же время при благоприятных условиях вегетации максимально реализовывать потенциал побегообразования, избегая излишней конкуренции между побегами, полегания и отмирания части стеблей.

1.7 Влияние стрессовых условий на качество зерна ячменя

Селекционеры обращают серьезное внимание на качество зерна ячменя (Бегеулов М. Ш., 2015; Гребенщиков В. Ю. и др., 2018; Заушинцена А. В., 2019). Под качеством зерна понимают совокупность биологических, физико-химических, технологических и потребительских свойств и признаков зерна, определяющих его пригодность к использованию на продовольственные, семенные, фуражные и технические цели (Зинкевич Е. П. и др., 2014). Качественные показатели тесно связаны с биохимическим составом зерна (содержанием белка и крахмала) (Бойко Е. С. и др., 2014; Гребенщиков В. Ю. и др., 2019).

Выравненность отражает размер и однородность зерна. Натура зависит от формы зерна и состояния его поверхности, определяет его ценность в качестве сырья для переработки. Чем плотнее и крупнее зерно, тем выше его натура. В зерне с высокой натурой содержится больше ценной части зерна – эндосперма (Белкина Р. И. и др., 2017; Губанова В. М., Губанов М. В., 2018). Биохимический состав зерна ячменя определяется генетическими факторами, но во многом зависит от условий возделывания (Иванов Д. А. и др., 2016). Количественная и качествен-

ная характеристика белков в зерне показывает пригодность зерна для пивоварения и на комбикормовое сырье (Абугалиева А. И., 2005). Содержание крахмала является составной частью углеводного комплекса зерна, продукты гидролиза которого определяют величину экстрактивных веществ сусла и пива (Евдокимова М. А., Харитонов В. С., 2015).

Качество зерна ячменя зависит от региона и условий питания растений, освещенности, увлажнения и температурного режима в период вегетации растений, сортового потенциала, предшественника (Гребенщиков В. Ю. и др., 2019).

Для формирования урожая хорошего качества растениям необходимо оптимальное влагообеспечение. При избыточном увлажнении ухудшаются как физические, так и биохимические показатели продукции. Недостаток влаги и высокие температуры приводят к щуплости зерна злаковых культур (Дубовик Д. В., Чуян О. Г., 2018). В засушливые годы отмечают существенное повышение содержания белка в зерне и его пленчатости, количество крахмала заметно снижается. Во влажные годы, наоборот, снижается количество белка и пленчатость зерен, а содержание крахмала повышается (Будакова Э. Д. и др., 2008). Выращивание ячменя на почвах с рН ниже 5,5 приводит к уменьшению крупности зерна (Булавин Л. А. и др., 2022).

Для получения высоких урожаев ячменя наивысшего качества необходимо устанавливать оптимальную густоту стеблестоя (Пигорев И. Я., Комарицкая Е. И., 2005). Мнение о влиянии густоты посева на качество зерна разнятся. С. А. Герасимов и Н. Е. Ляхова (2015) утверждают, что для получения более высококачественного урожая необходимо формировать разреженные посевы, А. А. Артемьев и Г. Н. Ибрагимова (2024) считают, что в разреженных посевах формируется зерно более низкого качества.

В Иркутской области загущенные и изреженные посевы формируют зерно с низкой крупностью (Гребенщиков В. Ю., Копылова В. С., 2018). В условиях Республики Мордовия при увеличении густоты стеблестоя ячменя сорта Грэйс, натурная масса зерна снижалась, при дальнейшем загущении посева натура зерна увеличивалась (Еряшев А. П. и др., 2019). В условиях предгорной зоны Кабарди-

но-Балкарской республики у сортов ячменя при увеличении густоты стеблестоя натура зерна снижалась (Хоконова М. Б., 2020).

В исследованиях В. Е. Торикова с коллегами (2012) у некоторых изучаемых сортов ячменя при уменьшении густоты стеблестоя снижались и показатели сырого белка с 3,87 до 2,97%. В опытах В. П. Владимирова с коллегами (2019) увеличение густоты стеблестоя ярового ячменя способствовало снижению содержания белка в зерне с 11,2 до 10,7% и увеличению урожайности с 2,3 до 2,4 т/га. По утверждению Е. И. Комарицкой (2009) разреженный стеблестой приводит к повышению количества белка в зерне. В результате исследований М. В. Кашукоева и М. Б. Хоконовой (2009) выявлено, что содержание белка в варианте с оптимальной густотой стеблестоя, достигало 12,4%, при загущении было на 0,25% ниже.

Болезни также снижают качество зерна ячменя. Устойчивость сортов ярового ячменя к возбудителям болезней - важный резерв повышения урожая и качества зерна (Жичкина Л. Н., 2018).

Создание новых урожайных и высококачественных сортов, устойчивых к изменяющимся условиям возделывания, дальнейшее внедрение и возделывание их в производство позволит повысить сбор зерна, снизить импортозависимость в поставках сырья и себестоимость конечной продукции, увеличить экспорт сырья (Юсова О. А., Николаев П. Н., 2023).

1.8 Влияние условий выращивания на фитосанитарное состояние посевов ячменя

Зерновые культуры, в том числе и яровой ячмень, поражаются многочисленными болезнями: грибными, бактериальными и вирусными. В Волго-Вятском регионе за последние годы происходит нарастание распространения болезней (Шешегова Т. К., 2015). Болезни являются одной из лимитирующих причин получения высокого и качественного урожая, влияя на посевные качества семян и пищевую ценность зерна. Накопление инфекций происходит внутри и на оболочке зерна, в почве на отмер-

ших растительных останках, что может влиять на фитосанитарное состояние посевов следующего года (Ткаченко М. Н., 2018; Марьина-Чермных О. Г., 2020).

На посевах ячменя ограничением получения высоких урожаев является распространение вредоносных болезней, таких как пыльная головня (*Ustilago nuda* (Jens) Rostr.), гельминотоспориозные пятнистости листьев: сетчатая (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoem., телеморфа: *Pyrenophora teres* (Died) Drechs.) и темно-бурая (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem., телеморфа: *Cochliobolus sativus* (S. Ito et Kurib.) Drechsler ex Dastur), корневые гнили (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. и *Fusarium* spp.) и другие инфекции (Каримова Л. З. и др., 2015; Шешегова Т. К., Щенникова И. Н., 2020).

Головневые заболевания поражают самую главную часть растения, ради которой возделывается культура – колос. Заражение растений пыльной головней происходит в фазу цветения растений. Зараженное зерно при этом внешне не отличается от здорового. Даже если растению удастся справиться с болезнью и нет прямых потерь урожая, качество зерна снижается (Бехтольд Н. П., Орлова Е. А., 2018; Серебренников Ю. И., 2019; Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В., 2021). Благоприятными условиями для развития пыльной головки являются высокая влажность воздуха и теплая нежаркая погода в период цветения ячменя (Лыткина Л. И. и др., 2020).

Проявлением сетчатой пятнистости является образование на листьях растений узких, темно-коричневых некрозов в виде полосок, состоящих из продольных и поперечных коричневых штрихов, образующих рисунок сетки. Темно-бурая пятнистость на листьях проявляется в виде округлых или продолговатых коричневых некрозов с хлоротичным окаймлением или без него. Сильное поражение пятнистостями приводит к усыханию листьев, сниженного фотосинтеза растений, уменьшению числа колосьев на растении, числа зерен в колосе и массы зерна (Донцова А. А., 2015; Скибина Ю. С., 2017).

Характерным признаком корневых гнилей является хрупкость и ломкость корней, отмирание стеблей, белоколосость и потеря массы зерна в колосе. Свою вредоносность корневая гниль проявляет уже на ранней стадии развития растений.

Семена могут быть источником инфекции для корневой гнили, причиняя вред производству сельскохозяйственной продукции (Марьина-Чермных О. Г., 2020).

Наибольшее распространение и развитие корневых гнилей, ослабляющих растения, наблюдаются в неблагоприятные для роста ячменя годы: засуха, частое чередование увлажнения и пересыхания пахотного слоя, резкая смена температур (Ершова Л. А., Велибеков Е. И., 2017). Нормы высева и способы посева также оказывают влияние на повреждаемость растений (Волкова С. Н., Сивак Е. Е., 2022).

Результаты исследований ученых в Казанском ГАУ показали, что при увеличении густоты стеблестоя ярового ячменя развитие корневых гнилей усиливается почти на 50% (Каримова Л. З. и др., 2011). Распространение корневых гнилей у ячменя сорта Багрец в условиях Среднего Урала было ниже при более низкой густоте стеблестоя (Берсенева Я. В., 2014). В исследованиях Н. В. Долгополовой с коллегами (2021) меньшее поражение гельминтоспориозами наблюдалось в вариантах с меньшей густотой стеблестоя, при загущении распространение и поражение листьев ячменя увеличилось в 2 раза.

Таким образом, при увеличении густоты стеблестоя ячменя наблюдается тенденция распространения возбудителей болезней. Применение пестицидов предотвращает развитие патогенов. Однако это создает высокие нагрузки средствами химизации посевов и большие экономические затраты (Гамзиков Г. П., 2013). Создание сортов ячменя, устойчивых к возбудителям болезней, которые обретают наибольшее распространение, в том числе и в загущенных посевах, снижает обработку химическими препаратами защиты, что важно с экологической и экономической точки зрения.

1.9 Фотосинтетическая деятельность растений ячменя

Фотосинтез является одним из главных процессов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур. В фотосинтетических процессах синтезируются органические соединения и образуется до 90-95% сухой биомассы растений. Чем лучше условия для процесса фотосинтеза, тем выше его продуктив-

ность и конечный урожай растений и тем больше гарантия получения продукции высокого качества (Калитка В., Кравченко Т. Н., 2014; Тимаков А. Г. и др., 2019).

Показатели фотосинтетической продуктивности растений вычисляют с использованием двух основных характеристик – площадь ассимиляционной поверхности и количество хлорофилла (Ерошенко Ф. В. и др., 2020). Известно, что ассимиляционная поверхность листьев играет важную роль в формировании урожая (Ярцев Г. Ф., Бадреев Р. М., 2006). Исследователи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева для измерения площади листьев применяли общеизвестные методики: измерение длины и ширины листа с последующим расчетом площади, получение высечек известного радиуса, нанесение контуров на миллиметровую бумагу с расчетом площади, сканирование листьев с расчетом площади по специально разработанной программе (Белопухов С. Л. и др., 2013). В исследованиях Л. В. Кахнович и Л. В. Петько (1988) максимальный урожай отмечали у сорта ячменя Фаворит, отличающегося от других исследуемых сортов наибольшей листовой поверхностью в расчете на растение. J. D. Berdahl с соавторами (1972) утверждали, что крупные листья способствуют более высокой массе зерна. Были проведены лабораторные и полевые исследования с использованием мелко- и крупнолистных линий ячменя для изучения влияния площади листа на фотосинтез и урожайность зерна. Скорость фотосинтеза линий с крупными листьями в лабораторных условиях (с использованием инфракрасного газоанализатора) была примерно вдвое выше, чем у мелколистных. Однако при полевых сравнениях не удалось обнаружить последовательных различий в скорости фотосинтеза мелко- и крупнолистных линий.

Преобладающей формой хлорофилла у наземных растений является хлорофилл *a*, который представлен как в реакционных центрах (РЦ) фотосистем, так и в светособирающих комплексах (ССК) хлоропластов. Хлорофилл *b* находится только в ССК. Молекулы хлорофиллов ССК, поглощая энергию света, передают ее в РЦ, где и происходит процесс превращения световой энергии в энергию химических связей (Карашаева А. С., Мазихова А. М., 2018). В физиолого-генетических и селекционных работах чаще всего анализируют содержание хлорофиллов *a*, *b*, каротиноидов и их соотношения (Амунова О. С., Лисицын Е. М., 2019).

Общее содержание и концентрацию отдельных фотосинтетических пигментов в основном исследуют с помощью хроматографии и спектрофотометрии (Kouril R. et al., 1999; Беляева А. А. и др., 2022; Подласова Е. Ю., Новикова А. А., 2024). Метод хроматографии основан на разделении окрашенных соединений хлорофилла. Ученый М. С. Цвет разработал тонкослойную хроматографию, основанную на различиях скорости движения пигментов в растворителях. Молекулы хлорофилла разного размера и разной окраски при пропитывании бумаги или слоя мела в стеклянной трубке перемещаются под воздействием растворителя с разной скоростью. В результате были получены однородные окрашенные полосы очищенных веществ (Галаян А. Г., Лаврухина И. М., 2020). Используют так же ионнообменную (Воронина Л. П. и др., 2018), жидкостную (Курьянчик Т. Г., Козел Н. В., 2022) и аффинную (Brudvig G. W. et al., 1983) хроматографию. Спектрофотометрический метод основан на извлечении пигментов из измельченных или растертых листьев растений ацетоном или этанолом с последующим измерением содержания пигментов на спектрофотометре при разных длинах волн (Золотухина А. А. и др., 2023; Павловская Н. Е. и др., 2023).

Современные технологии позволяют вести мониторинг в режиме реального времени в полевых условиях. Для получения данных целесообразно использовать мультиспектральные и гиперспектральные камеры, которые способны сканировать с высоким разрешением интересующий диапазон длин волн (Чепрасова В. С. и др., 2021). Длины волн, примыкающие к полосам 700 нм и 500 нм, более чувствительны к содержанию хлорофилла *a* (Datt B., 1998). Сбор и обработка спектральных изображений позволяет бесконтактно обнаруживать и определять содержание хлорофилла (Подласова Е. Ю., Новикова А. А., 2024). Этот способ определения хлорофилла сильно зависит от внешних условий и требует калибровки камер, сенсоров.

Альтернативным подходом является лазерное дистанционное зондирование с помощью лидаров (лазерных сканеров). Наиболее компактный современный флуоресцентный лидар, подходящий для беспилотных авианосителей, был разработан в ИОФ РАН. С его помощью обнаруживали области поля, где растения ис-

пытаются стресс (Гудков С. В. и др., 2024). Флуоресценция хлорофилла – явление свечения хлорофилла при поглощении им света. Поглощение кванта света переводит молекулу хлорофилла в электронное возбужденное состояние, энергия которого в растворе при отсутствии фотосинтеза переходит либо в тепло, либо в флуоресценцию (Рубин А. Б., 2000). Н. М. Kalaji с коллегами (2012) измеряли эффективность фотосинтеза сортов ячменя выращенных при разной интенсивности света с применением анализа флуоресценции. Как низкий, так и высокий световой стресс снижали активность фотосистем.

Размер и динамика листовой поверхности существенно зависит от густоты стояния растений (Карашаева А. С., Мазихова А. М., 2018). А. Н. Никольский с коллегами (2020) утверждают, что в результате загущения происходит интенсивное нарастание площади листьев и биомассы посева, происходит затенение растений, снижается освещенность в нижних ярусах стеблестоя, что способствует снижению чистой продуктивности фотосинтеза. Напротив, в работе Н. А. Завальпича и А. В. Черенкова (2022) на загущенных посевах озимого ячменя листовая поверхность на одно растение уменьшалась, по сравнению с контрольной густотой посева. Уменьшение ассимиляционной поверхности растений происходило за счет уменьшения размеров листьев, а не их количества. В ходе исследований Ф. Ф. Адамень и А. В. Демчук (2019) установлено, что в степной части Крыма загущение посева снижало фотосинтетический потенциал сортов. В исследовании П. М. Политыко с коллегами (2017) показано, что при увеличении густоты стеблестоя фотосинтетический потенциал ярового ячменя также снижался.

Путем анализа фотосинтетических признаков ячменя можно выявить индикаторы, связанные с устойчивостью к стрессовым факторам. Результаты исследований R. Li с коллегами (2006) показали, что компоненты фотосинтетического аппарата могут быть значительно повреждены у чувствительных к засухе генотипах, в то время как засухоустойчивые генотипы были относительно меньше затронуты. По их мнению, содержание хлорофилла можно рассматривать как надежный индикатор при скрининге зародышевой плазмы ячменя на устойчивость к засухе. Согласно исследованиям G. Velicevici с соавторами (2013) и Т. Г. Каляга и

Н. В. Козела (2020) в условиях засухи содержание хлорофиллов в зеленых листьях ячменя снижается.

Корейские ученые в полевом опыте изучали влияние разной кислотности почвы на изменение фотосинтетического аппарата сортов ячменя. В ходе исследований установлено, что по мере снижения pH почвы содержание хлорофилла в листьях, сухая масса растений снижались (Shim J. W. et al., 1988). Китайские исследователи в условиях моделированного кислотного дождя проводили эксперимент по влиянию разной pH (6,5; 5,5; 4,5 и 3,5) на изменение скорости фотосинтеза, флуоресценции хлорофилла и содержания пигмента в ячмене. Результаты показали, что фотосинтез в растениях ячменя был подавлен стрессом, чистая скорость фотосинтеза и точка насыщения светом снижались. Кислотные дожди оказали большее влияние на фотосинтез чувствительных к данному стрессу образцов. Авторы отмечают высокую ценность результатов для оценки чувствительности растений к стрессу кислотных дождей, которая могут быть использованы для обнаружения и мониторинга воздействия кислотных дождей на растения в будущем (Hu H. et al., 2021). В исследованиях H. Dai et al. (2011) и M. F. A. Dawood et al. (2022) показано, что при стрессе, вызванном ионами алюминия, содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя снижается.

Формирование урожайности связано с функционированием фотосинтетического аппарата растений, который зависит от генетического потенциала, элементов минерального питания, влаги. Использование показателей фотосинтетического аппарата позволяет выявлять генотипы, устойчивые к действию неблагоприятных условий, которые в дальнейшем можно использовать в качестве исходного материала при создании стрессоустойчивых образцов.

Таким образом, проведенный литературный обзор показал, что стрессовые факторы (засуха, повышенная кислотность почвы, повышенная густота стеблестоя), оказывают негативное влияние на посевы ячменя. Это проявляется в изменении фитосанитарного состояния посевов, содержания пигментов в листьях растений, качества зерна, структуры продуктивности и, как результат, в снижении урожайности зерна. В связи с этим актуальной задачей является совершенствова-

ние методов полевой и лабораторной оценки стрессоустойчивости растений для идентификации генотипов, адаптированных к регионспецифичным стрессовым факторам. Выявление нового исходного материала позволит создавать сорта, устойчивые к наиболее распространенным абиотическим (засуха, повышенная кислотность почвы, повышенная густота стеблестоя) и биотическим (болезни растений) стрессовым факторам.

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические условия Кировской области

Кировская область – один из крупнейших субъектов в Нечерноземной зоне России. Расположена в центрально-восточной части Европейской части страны и занимает северо-восточную часть Русской равнины, в зоне таежных лесов, в поясе полесий и ополей, входит в состав Приволжского федерального округа (Переведенцев Ю. П. и др., 2010).

В Кировской области выделяются три зональных типа почв: подзолистые на севере, дерново-подзолистые в центре и серые лесные на юге. Дерново-подзолистые почвы формируются в условиях промывного водного режима, под воздействием подзолистого и дернового процессов почвообразования. В естественном состоянии они обладают довольно низким уровнем плодородия, имеют высокую кислотность, низкое содержание органического вещества, слабую насыщенность основаниями почвенно-поглощающего комплекса, неблагоприятные физические свойства. На дерново-подзолистых почвах располагается свыше 75% сельскохозяйственных угодий (Шихова Л. Н., Егошина Т. Л., 2004; Русских Е. А., 2014).

Область простирается на 570 км с севера на юг от 56° до 61° северной широты и на 440 км с запада на восток от 46° до 53° восточной долготы. В связи с этим, особенно в теплое время года, характерен недостаток солнечного света и тепла.

Климат Кировской области относят к континентальному климату умеренного пояса, с продолжительной, многоснежной и холодной зимой и умеренно-теплым коротким летом (Переведенцев Ю. П. и др., 2010). Область находится под влиянием различных по характеристикам воздушных масс, которые накладывают свой отпечаток на погоду и климат. Близость к Северному Ледовитому океану и отсутствие с этой стороны природных барьеров для проник-

новения полярных воздушных масс обуславливает сильные морозы зимой, в летние месяцы – заморозки и резкие похолодания. С Атлантического океана в Кировскую область перемещаются морские умеренно-континентальные воздушные массы. Для перемещающихся теплых, влажных, умеренных и тропических воздушных масс с юга высотное рельефное препятствие создает Вятский Увал (Охорзин Н. Д., 2017).

В самом холодном месяце года – январе, средняя многолетняя температура воздуха колеблется по территории области от -13 до -15 °С. Разрушение и полный сход снежного покрова на территории области наблюдается 15-20 апреля.

Устойчивый переход к периоду со среднесуточной температурой воздуха через 5 °С в период с 24 по 26 апреля означает начало весеннего сельскохозяйственного сезона. В отдельные годы наблюдается и более раннее наступление весны. Важным показателем начала вегетации растений является переход среднесуточной температуры воздуха через 10 °С. В Кировской области это происходит 11-16 мая. Для весны характерны неустойчивые погодные условия, такие как возвраты холодов и весенние заморозки, выпадение снега. В среднем они заканчиваются 21-25 мая (Ковбашин Д. И., Сонюшкин А. В., 2022).

Летний сезон в центральной части Кировской области начинается в середине июня. Самым теплым месяцем года является июль. Распределение многолетней температуры по территории области колеблется от 17 до 19 °С. Сумма положительных температур служит показателем теплообеспеченности региона. Для Кировской области сумма активных температур составляет 1700-1900 °С, что характеризуется как низкая теплообеспеченность (Переведенцев Ю. П. и др., 2010).

Среднегодовое количество осадков составляет от 400 мм на юге и юго-востоке области до 600 мм на северо-западе, максимум осадков приходится на летний период. В летний период осадки чаще всего носят ливневый характер и нередко бывают обильными (20-30 мм и более). Отличительной особен-

ностью климата Кировской области являются резкие колебания температуры и осадков по годам (Френкель М. О. и др., 1996; Шихова Л. Н., Егошина Т. Л., 2004).

Вегетационный период в условиях умеренного климата определяется отрезком времени между переходом среднесуточной температуры весной через $+10^{\circ}\text{C}$ и составляет 104-107 суток на севере и 135-137 суток на юге области (Агроклиматическая характеристика Кировской области, 1970). Конец вегетационного периода и начало осени на севере области происходит 5-6 сентября, на остальной территории – во второй декаде сентября (Охорзин Д. Н., 2017).

В агрометеорологии для характеристики условий увлажнения среды в период вегетации растений принято использовать показатель гидротермического коэффициента (ГТК) по Г. Т. Селянинову, который дает комплексную характеристику по количеству выпавших атмосферных осадков и температуре воздуха.

2.2 Агрометеорологические условия в годы проведения исследований

Полевые опыты проводили 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. Агрохимическая характеристика почвы за годы исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные химические показатели почвы, 2020-2024 гг.

Показатель	Полевой опыт	Вегетационный опыт		
		контроль	кислый фон	фон с засухой
pH	5,4±0,4	6,5±0,1	4,8±0,1	6,5±0,1
Гумус, % (по Тюрину)	2,35±0,33	1,70±0,14	0,77±0,08	1,39±0,07
K ₂ O, мг/кг (по Кирсанову)	315±15	211±2	159±6	209±3
P ₂ O ₅ , мг/кг (по Кирсанову)	300±17	365±11	337±8	347±13

В полевом опыте основную и предпосевную обработку почвы проводили в соответствии с зональными рекомендациями (Козлова Л. М. и др., 2017), предшественник – чистый пар. Посевные работы начинали с закрытия влаги боронованием (БЗСС-1) и последующей культивацией в 2 следа (КПС-4). Фоном весной под культивацию вносили минеральные удобрения в дозе 3 ц/га (нитроаммофоска N₁₆P₁₆K₁₆, АО «ОХК «УРАЛХИМ»). Посев осуществляли рядовой сеялкой (ССФК-10) и сеялкой кассетного типа (СКС-6А). В фазу полного кущения проводили обработку гербицидом: в 2020 г. препаратом «Примадонна Грант» (1,0 л/га), в 2021 г. – «Лорнет» (0,5 л/га), в 2022 г. – «Балерина СЭ» (410 г/л), в 2023 и 2024 гг. – «Рефери» (0,2 л/га) с добавлением «Гран При» (10 г/л). Опытные посевы поддерживали в чистом и рыхлом состоянии путем проведения ручных прополок и обработок навесными рыхлителями, между ярусами обработку проводили фрезой. Уборку проводили селекционным комбайном Winterstaiger в фазу полной спелости зерна.

Анализ агрометеорологических условий выполнен по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Показатель ГТК варьировал от 0,73 (2024 г.) до 2,18 (2022 г.), условия вегетации изменялись от засушливых до избыточно увлажненных.

За годы проведения полевых исследований погодные условия значительно различались как по температурному режиму, так и по количеству осадков (Таблица 2).

Таблица 2 – Метеорологические условия вегетационного периода

Год	Показатель	Межфазный период				Вегетационный период
		всходы– кущение	кущение– выход в трубку	выход в трубку– колошение	колошение– созревание	
2020	ГТК	1,02	0,57	1,27	2,19	1,56
	Средняя температура, °С	11,3	16,0	15,1	18,8	16,8
	Сумма осадков, мм	51,8	46,4	45,8	169,0	234,7
2021	ГТК	0,67	0,18	1,39	1,83	1,12
	Средняя температура, °С	14,2	17,0	21,8	21,4	19,2
	Сумма осадков, мм	19,0	4,6	57,4	105,8	139,2
2022	ГТК	1,44	3,73	0,71	1,89	2,18
	Средняя температура, °С	10,0	16,2	16,5	20,10	16,2
	Сумма осадков, мм	85,2	114,8	28,0	125,1	286,0
2023	ГТК	0,53	0,79	1,25	0,68	1,75
	Средняя температура, °С	10,9	18,0	14,4	16,7	15,0
	Сумма осадков, мм	20,4	19,9	44,4	162,7	228,9
2024	ГТК	0,94	0,87	0,51	0,67	0,73
	Средняя температура, °С	13,9	17,6	18,7	19,6	18,1
	Сумма осадков, мм	22,4	31,4	25,5	47,2	87,6

Май 2020 г. характеризовался неустойчивой по температуре и осадкам погодой. Средняя за месяц температура составляла 12,1 °С, что на 0,9 °С выше климатической нормы. Устойчивый переход среднесуточной температуры через 10 °С в сторону повышения произошел 4 мая, что на 10-13 дней раньше средних многолетних сроков. Посев был проведен 9 мая. За месяц выпало 89 мм осадков или 165% от нормы. Полные всходы отмечены 20 мая.

Июнь 2020 г. характеризовался преимущественно сухой, неустойчивой по температуре погодой. Средняя температура воздуха составляла 15,3 °С, что на 2,4 °С ниже климатической нормы. Всего за месяц выпало 40 мм осадков, что составляло 57% от нормы. Неустойчивая по температуре погода привела к более растянутому межфазному периоду «выход в трубку – колошение».

В июле 2020 г. преобладала теплая и жаркая погода, средняя температура воздуха составляла 20,5 °С (на 1,6 °С выше нормы). Отмечались периодически выпадающие сильные дожди с ветром, которые привели к полеганию растений некоторых образцов. Всего за месяц выпало 100 мм осадков, что составляло 130% от нормы. Сложившиеся погодные условия способствовали проявлению различий по продолжительности межфазного периода «колошение – созревание».

В августе 2020 г. наблюдалась преимущественно сухая, с небольшими осадками погода. Средняя за месяц температура воздуха составляла 15,1 °С, что на 0,5 °С ниже нормы. За месяц выпало 61 мм осадков, что составляло 79% от нормы. Уборку произвели в оптимальные сроки – 8 августа.

Таким образом, сложившиеся погодные условия 2020 г. были благоприятны для формирования высокой урожайности и потенциально возможной массы 1000 зерен.

В мае 2021 г. преобладала теплая и жаркая погода, с сухими и дождливыми периодами. Средняя температура воздуха за месяц составила 15,0 °С, при среднемесячной норме – 11,9 °С. Уже 7 мая произошел устойчивый переход среднесуточной температуры через 10,0 °С в сторону повышения, что на 5-7 суток раньше средних многолетних сроков. Посев был проведен 12 мая, появление всходов отмечено 20 мая. За месяц выпало 54 мм осадков, что составляло 108% от нормы. Две волны похолодания 26-27 и 30-31 мая со среднесуточной температурой воздуха ниже нормы (на 2,0-5,4 °С) замедлили наступление фазы «кущение», что отрицательно сказалось на урожайности.

В июне 2021 г. наблюдалась от умеренно теплой и сухой до жаркой с периодически выпадающими разной интенсивности дождями погода. Средняя температура воздуха за месяц составила 19,9 °С, что на 3,5 °С выше климатической нормы. За месяц выпало 78% осадков (63 мм). В межфазный период «кущение – выход в трубку», наблюдалась жаркая, засушливая погода с выпадением осадков только в конце периода. Высокая температура воздуха и обильные осадки, выпавшие только в конце периода (65% всех осадков за месяц), способ-

ствовали сокращению продолжительности межфазного периода «выход в трубку – колошение».

Июль 2021 г. характеризовался жаркой (до 30,9 °С), сухой погодой с периодически выпадающими ливневыми дождями. Среднемесячная температура воздуха была на 0,3 °С выше нормы, равной 19,2 °С. За месяц выпало 92 мм осадков (112% от нормы). Для налива зерна в межфазный период «колошение – созревание» были благоприятные условия: жаркая погода с достаточной увлажненностью. Уборка была проведена 29 июля.

Низкие температуры в начальные фазы развития растений и засушливые условия в течение вегетации растений 2021 г. отрицательно сказались на урожайности.

В мае 2022 г. преобладала неустойчивая погода со значительными осадками. Среднемесячная температура воздуха составила 8,5 °С, при норме 11,9 °С. Посев провели 7 мая. В первой половине месяца осадки были в форме дождя с мокрым снегом, в целом за месяц выпало 55 мм осадков, что составило 99% от нормы. При среднемесячной температуре ниже нормы и значительной влажности полные всходы были отмечены 18 мая.

Июнь 2022 г. характеризовался неустойчивой, но умеренно теплой погодой с периодичным выпадением осадков. Средняя температура за месяц составила 16,1 °С, что на 0,3 °С ниже нормы, сумма осадков – 145% от нормы. Частые среднесуточные отклонения температуры от нормы в сторону понижения с выпадением осадков привели к более растянутому межфазному периоду «кущение – выход в трубку».

В июле 2022 г. наблюдалась теплая, сухая погода с редкими в первой и третьей декадах, но с частыми во второй декаде дождями. Средняя температура воздуха за месяц составила 20,0 °С, что на 1,1 °С выше климатической нормы. За месяц выпало 130 мм осадков (159% от нормы). Фаза «созревание» проходила в благоприятных условиях – растения получали необходимые тепло и влагу для налива зерна.

В августе 2022 г. благоприятные погодные условия способствовали проведению уборочных работ в оптимальные сроки – 8 августа.

Таким образом, погодные условия 2022 г. были удовлетворительными для роста и развития растений ячменя.

Апрель 2023 г. характеризовался неустойчивой, с дефицитом осадков, но преимущественно теплее нормы погодой. Посев был проведен 15 апреля. Появление полных всходов отмечено 29 апреля. Среднемесячная температура воздуха была 6,8 °С, при норме 4,1 °С. Значительные осадки отмечались только в конце месяца, в итоге выпало 30 мм осадков, что на 23% ниже нормы.

В мае 2023 г. наблюдалась неустойчивая по температуре погода, как с продолжительными дождливыми, так и сухими периодами. Среднесуточная температура воздуха в мае составила 13,8 °С, что на 1,9 °С выше нормы. За месяц существенные осадки были в течение 13 суток, с суммой – 45 мм или 86% от нормы. Понижение температуры и заморозки в начальный период развития растений привело к увеличению продолжительности межфазного периода «всходы – кущение». Наступление фазы «выход в трубку» приходилось на конец мая – начало июня, температура воздуха была на 1,1-6,7 °С выше нормы.

Июнь 2023 г. характеризовался неустойчивой, от очень теплой до холодной, преимущественно сухой или с небольшими осадками погодой. Средняя за месяц температура воздуха составляла 14,1 °С (на 2,3 °С ниже нормы). В течение месяца было сухо, с редкими дождями, выпало 30 мм осадков или 38% нормы. В этот период происходила закладка и формирование колоса, температура воздуха ниже среднемесячной нормы отрицательно сказалась на продуктивности растений.

В июле 2023 г. наблюдалась от прохладной до жаркой погода, с частыми, временами обильными дождями, грозами и сильным ветром. Средняя за месяц температура составила 18,6 °С, что на 0,3 °С ниже климатической нормы. За месяц выпало 177 мм или 227% осадков. Длительная дождливая пого-

да в период налива и наступления спелости зерна удлинила срок созревания ячменя.

Условия вегетации 2023 г. привели к снижению продуктивности растений и увеличению продолжительности вегетационного периода в целом.

В апреле 2024 г. преобладала теплая, с частыми, временами значительными осадками погода. Среднемесячная температура составила 7,6 °С, при норме 4,1 °С. Осадки в течение месяца выпадали часто, их сумма составила 51 мм (132% от нормы). Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 10 °С произошел 18-19 числа, однако из-за частых дождей посев был проведен только 25 апреля.

В мае 2024 г. наблюдалась неустойчивая по температуре погода. Среднемесячная температура была 7,4 °С, при норме 11,9 °С. За месяц выпало 74 мм осадков (137% от нормы). В начале месяца были частые низкие дневные и ночные температуры, что не благоприятствовало началу вегетации и росту растений. Фаза полных всходов была отмечена только 16 мая.

Июнь 2024 г. характеризовался очень теплой преимущественно сухой, с небольшими осадками погодой. Средняя температура воздуха за месяц была на 2,4 °С выше нормы и составляла 18,8 °С. В течение месяца было сухо, с редкими дождями, выпало 32 мм осадков или 39% нормы. В фазу «выход в трубку», отмечалась жаркая и сухая погода, недостаток влаги привел к снижению длины и озерненности колоса.

В июле 2024 г. наблюдалась жаркая и сухая погода. Средняя за месяц температура воздуха составляла 18,9 °С, что на 0,9 °С выше климатической нормы. Выпало 41 мм или 50% от нормы осадков. Длительная засушливая погода в период налива и созревания зерна сократила срок созревания растений. Уборку провели в фазу полной спелости зерна 1 августа.

Таким образом, в 2024 г. низкие температуры в начале вегетации растений отрицательно сказались на урожайности.

В целом, сложившиеся климатические условия были контрастными и позволили более полно оценить материал по изучаемым признакам.

2.3 Исходный материал и методика проведения исследований

В качестве объектов исследований использовали:

- генетическую коллекцию, представленную 132 образцами ярового ячменя различного эколого-географического происхождения;
- сорта ярового ячменя селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, допущенные к использованию в Волго-Вятском регионе:

– сорт Памяти Родины (разновидность *nutans*) – высокоурожайный (до 8,0 т/га). Тип куста промежуточный (индекс – 5), время колошения – среднее (5), положение колоса – горизонтальный (5), плотность колоса – рыхлый-средний (4), высота растения – средняя (5). Формирует крупное зерно с хорошими технологическими свойствами: высокой натурной массой (до 700 г/л), массой 1000 зерен (до 54 г). Обладает высокой устойчивостью к полеганию (4,9 баллов). Умеренно восприимчив к полосатой пятнистости, гельминтоспориозным болезням и корневым гнилям. Включен в список ценных по качеству сортов РФ;

– сорт Новичок (*nutans*) – сорт ячменя с урожайностью до 6,0 т/га. Тип куста промежуточный (5), время колошения – среднее (5), положение колоса – полупрямостоячий (5), плотность колоса – рыхлый (3), высота растения – средняя (5). Формирует зерно с массой 1000 зерен до 45 г. Отличительными чертами сорта является высокая общая и продуктивная кустистость, причем по количеству стеблей и облиственности он выделяется еще в период кущения, и это свойство сохраняется до спелости. Устойчивость к полеганию хорошая (4,5 балла), однако, при высоких дозах азота, сорт склонен к полеганию. Сорт умеренно восприимчив к гельминтоспориозу, полосатой пятнистости, средневосприимчив к корневым гнилям, восприимчив к пыльной головне. Главное достоинство сорта – его устойчивость к ионам алюминия на кислых дерново-подзолистых почвах. Это первый в России алюмотолерантный сорт ярового ячменя (Родина Н.А., 2006);

– сорт Родник Прикамья (*nutans*) – высокоурожайный (до 8,0 т/га). Тип

куста полупрямостоячий (3), время колошения – среднее (5), положение колоса – прямостоячий (2), плотность колоса – рыхлый-средний (4), высота растения – короткий-средний (4). Формирует крупное зерно с хорошими технологическими свойствами: высокой натурной массой (до 700 г/л), массой 1000 зерен (до 51 г). Сорт устойчив к полеганию (4,7 балла), осыпанию и весенним заморозкам. Слабо поражается стеблевой ржавчиной и полосатой пятнистостью, среднеустойчивый к корневым гнилям, устойчив к пыльной головне. Отличается хорошей выживаемостью. Сорт включен в список ценных по качеству сортов РФ.

Скрининг генетической коллекции ячменя и выделение источников хозяйственно-ценных признаков проводили в 2020-2022 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Объект исследования – 132 коллекционных образца ячменя различного эколого-географического происхождения, представленные 26 странами (Приложение А). В качестве стандарта использовали сорт 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. Объект исследований – сорта Родник Прикамья и Памяти Родины. Фон с засухой искусственно создавали на определенный межфазный период (таблица 3). При наступлении фазы прекращали полив растений и с помощью пленки создавали укрытие от атмосферных осадков (засушник), исключая парниковый эффект, до наступления следующей фазы развития. Учетная площадь делянки – 0,2 м², высевали по 30 зерен в четырехкратной повторности.

Таблица 3 – Продолжительность межфазных периодов

Период создания засухи	Продолжительность межфазного периода		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Всходы – кущение	17.05 – 31.05	15.05 – 31.05	02.05 – 22.05
Кущение – выход в трубку	31.05 – 16.06	31.05 – 18.06	22.05 – 30.05
Выход в трубку – колошение	16.06 – 29.06	18.06 – 05.07	30.05 – 23.06
Колошение – созревание	29.06 – 14.08	05.07 – 08.08	23.06 – 15.08
Всходы – созревание	17.05 – 14.08	15.05 – 08.08	02.05 – 15.08

В период исследований проводили наблюдения за наступлением основных фаз роста и развития ячменя. Перед уборкой удаляли все краевые растения. Уборку проводили в фазу полной спелости зерна. Оценка сортов проводилась по 20 растениям, с определением общей и продуктивной кустистости, параметров колоса, продуктивности растений и массы 1000 зерен.

Выделение фотосинтетических пигментов из флаговых и подфлаговых листьев (хлорофилл *a* и *b*, каротиноиды) проводили совместно с сотрудниками лаборатории эдафической устойчивости растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в лабораторных условиях. В фазу цветения отбирали образцы листьев с двадцати растений каждого варианта опыта. Для выделения пигментов пробы листьев нарезали, из средней пробы брали навески массой 0,1 г в трех повторностях. Экстрагирование пигментов из растительной ткани осуществляли 100% ацетоном. Оценка содержания фотосинтетических пигментов осуществляли с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (Shimadzu Corporation, Япония). Оптическую плотность в растительных вытяжках определяли при длинах волн: 661,6 нм, 644,8 нм и 470,0 нм. Расчет содержания пигментов (соотношение хлорофиллов *a/b*, соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам и долю хлорофиллов от их общей суммы в ССК) 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-генетических программ AGROS версия 2.07. Критическая величина уровня значимости принята равной 0,05.

Оценку влияния засухи и повышенной кислотности почвы и скрининг устойчивых генотипов определяли в вегетационных емкостях. Объектом исследований служили 10 генотипов ярового ячменя разного эколого-генетического происхождения, выделенные ранее по ряду ценных селекционных признаков: Новичок, Дина, Родник Прикамья, Форвард, Витрум, Бионик, Памяти Дудина (Россия), Зазерский 85 (Беларусь), Triumph (Дания), Tallon (Австралия).

Варианты опыта:

1. контроль (рН = 6,5);
3. фон с засухой (рН = 6,5);
2. фон с повышенной кислотностью почвы (рН = 4,8).

Генотипы выращивали в условиях, близких к полевым. Вегетационные емкости, размером 1,5×1,3×0,3 м, установленные на открытой площадке, заполняли дерново-подзолистой почвой. Высевали по 35 зерен, после всходов в эксперименте оставляли по 30 растений каждого генотипа с площадью питания растений 4×15 см². В течение вегетационного периода по мере высыхания почвы осуществляли полив растений, поддерживая оптимальную влажность почвы.

Фон с засухой искусственно создан на межфазный период «выход в трубку – колошение». При наступлении фазы «выход в трубку» прекращали полив растений и с помощью пленки создавали укрытие от атмосферных осадков (засушник), исключая парниковый эффект до наступления следующей фазы развития. Засуху имитировали: в 2021 г. с 18 июня по 30 июня (13 суток); в 2022 г. с 7 по 18 июля (11 суток); в 2023 г. с 5 по 23 июня (18 суток). Проводимые исследования основывались на методе описанном В. В. Маймистовым (1988).

Индекс засухоустойчивости рассчитывали по формуле Фишера и Маурера (цит. по Мальцевой Л. Т. и др., 2021):

$$DSI = (1 - Y/Y_p) / (1 - X/X_p), \quad (1)$$

где DSI – индекс засухоустойчивости; Y – параметр конкретного генотипа в условиях стресса; Y_p – параметр конкретного генотипа без стресса; X – среднее значение параметров всех генотипов в условиях стресса; X_p – среднее значение параметров всех генотипов без стресса. Чем меньше числовое значение индекса, тем более устойчив генотип к засухе.

Фоном с повышенной кислотностью служила почва с естественной среднекислой реакцией среды. Во флаговых листьях на контрольном и кислом фонах определяли количество фотосинтетических пигментов по методике Н. К. Lichtenthaler и С. Bushmann (2001).

В период исследований проводили наблюдения за наступлением основных фаз роста и развития ячменя: полные всходы, начало кущения, выход в трубку, полное колошение, восковая спелость. Уборку проводили в фазу полной спелости. Оценку генотипов по морфологическим и хозяйственно-ценным признакам растений проводили по 20 растениям, с определением общей и продуктивной кустистости, параметров колоса, продуктивности растений и массы 1000 зерен.

В серии лабораторных опытов оценивали устойчивость к осмотическому и алюмокислому стрессам у генотипов ячменя: Новичок, Дина, Родник Прикамья, Форвард, Витрум, Бионик, Памяти Дудина, Зазерский 85, Triumph и Tallon.

Засухоустойчивость. Оценку засухоустойчивости генотипов осуществляли по методике ВИР в изложении В. Г. Удовенко (1988). Семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге. Высевали по 30 зерен каждого генотипа в трехкратной повторности для контрольного и опытного варианта. В качестве контроля использовали дистиллированную воду, в опыте – 7% раствор ПЭГ-600 (осмотическое давление 3 атмосферы). Проращивание семян проводили в термостате при постоянной температуре 22 °С с определением энергии прорастания (на третьи и пятые сутки) и всхожести (на седьмые сутки). Засухоустойчивость (Р) определяли как соотношение числа

семян, проросших в растворе ПЭГ-600 (а) к числу семян проросших в контроле (b), выраженное в процентах:

$$P = a/b \times 100 \quad (2)$$

Чем выше процент прорастания семян в растворе ПЭГ-600, тем более засухоустойчив генотип. Генотипы по уровню засухоустойчивости делили на следующие группы: неустойчивые – проросло 0-20% семян, слабоустойчивые – 21-40%, среднеустойчивые – 41-60%, устойчивость выше средней – 61-80%, высокоустойчивые – проросло 81-100%.

Алюмоустойчивость. Оценку генотипов к алюмокислотному стрессу проводили согласно методике Е. М. Лисицына (2003). Растения выращивали в условиях рулонной культуры. В рулоны закладывали по 50 зерен каждого генотипа в трехкратной повторности для контрольного и опытного варианта. В качестве контрольного варианта использовали дистиллированную воду, опытного – водный раствор сульфата алюминия в концентрации 2,0 мМ Al, рН = 4,3. Повторность опыта трехкратная. Проращивание семян проводили в термостате при постоянной температуре 22 °С. На седьмые сутки определяли всхожесть семян.

По окончании опыта оценивали уровень алюмоустойчивости – ИДК (индекс длины корней) как соотношение средней длины корней при высокой концентрации стрессового фактора к средней длине корней при низкой концентрации, выраженное в процентах. По уровню алюмоустойчивости генотипы были условно распределены на группы согласно (Navacode S. et al., 2010): устойчивые (ИДК > 65%), умеренно устойчивые (ИДК 50-65%), умеренно чувствительные (ИДК 40-49%), неустойчивые (ИДК < 40%). Параллельно оценивали влияние стрессора на накопление сухой массы корней и ростков. Для этого использовали параметр «относительная RSR» (root-to-shoot ratio), который показывает реакцию растений на стрессовое воздействие, выраженное в перераспределении биомассы между корневыми и надземными органами.

В рамках комплексной оценки воздействия стрессора оценивали накопление сухой массы корней и ростков по параметру «относительная RSR», в соответствии с методикой Е. М. Лисицына (2018).

Оценку генотипической изменчивости ячменя проводили в 2021-2023 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в искусственно созданных стрессовых условиях – при повышенной густоте стеблестоя. Объект исследований – сорта Памяти Родины, Новичок и Родник Прикамья. Густоту стеблестоя моделировали путем посева: 500 (контроль), 600, 700 и 800 всхожих зерен на 1 м² (шт./м²). Учетная площадь делянки – 10 м², повторность четырехкратная, расположение делянок систематическое. Опыты закладывали в соответствии с Методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019).

Для поиска источников устойчивости к стрессу в 2022-2024 гг. оценивали 28 коллекционных образцов ярового ячменя: Форвард, Бионик, Витрум, Дина, Памяти Дудина, Сигнал, Салаир, Ворсинский 2, Алей, Л-243/15, Л-102/17, П-23/08, Л-223/15, Л-236/10, Л-209/11, Л-103/16, Л-168/16 (Россия), Фобос и Зазерский 85 (Беларусь), Jenuta и Lawina (Германия), AC Alberte и CDC Gainer (Канада), Соборный (Украина), Radegast (Чехия), Triumph (Дания), Clearwater (США) и Tallon (Австралия), выделенных по результатам полевой оценки 132 образцов генетической коллекции в 2020-2021 гг.

Густоту стеблестоя моделировали путем посева: 500 (контроль) и 700 шт./м². Учетная площадь делянки – 1,35 м², повторность двукратная. Исследования проводили в соответствии с Методическими рекомендациями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (Лоскутов И. Г. и др., 2012).

Коэффициент размножения семян рассчитывали отношением массы зерна полученного урожая к массе семян посевного материала (Долгополова Н. В. и др., 2021).

Устойчивость к болезням. Оценка сортов по устойчивости к болезням проводили совместно с лабораторией иммунитета и защиты растений

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Оценка по устойчивости к темно-бурой (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Schoem.) и сетчатой (*Drechlera teres* (Sacc.) Schoem.) пятнистостям проводили на естественном фоне в полевых условиях. Для учета болезней листьев анализировали не менее 10 растений в двух повторностях с использованием шкал Н. А. Родиной и З. Г. Ефремовой (1986), О. С. Афанасенко (2005). Оценку поражения сортов пыльной головней (*Ustilago nuda* (Jens) Rostr.) проводили в условиях естественной инфекционной нагрузки патогена. Показатель пораженности посевов рассчитывали как процентное отношение пораженных растений к общей численности растений на обследованной площади. Развитие корневых гнилей (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Schoem.) определяли полевым и лабораторным методами. При учете корневых гнилей в полевых условиях анализировали не менее 20 растений в фазу полной спелости зерна. Оценку поражения проводили по каждому стеблю по шкале М. Ф. Григорьева (1976). В лабораторных опытах использовали шкалу Э. Э. Гоймана (1954).

Для каждого сорта определяли процент поражения растений и уровень развития болезни по формуле:

$$P = \frac{N}{n} \times 100\%, \quad (3)$$

где N – количество учтенных стеблей, n – количество пораженных стеблей.

Уровень развития болезни (K_{Π}) рассчитывают по формуле:

$$K_{\Pi} = \frac{\sum (a \times b)}{k \times 4} \times 100\%, \quad (4)$$

где $\sum (a \times b)$ – сумма произведения числа пораженных стеблей на соответствующий балл поражения, k – общее количество стеблей в пробе.

Качество зерна. Качество зерна (содержание белка и крахмала) определяли на инфракрасном анализаторе ИНФРАСКАН-М (Россия), основанного на изменении коэффициента диффузного отражения. Зерна ячменя измельчали на молотковой мельнице Laboratory Mill 3100 (Швеция), до состояния муки. Выравненность зерна определяли по ГОСТ 30483-97. Навеску зерна ячме-

ня просеивали через набор сит с продолговатыми отверстиями размером $2,8 \times 20$, $2,5 \times 20$ и $2,2 \times 20$ мм. Выравненность зерна выражали процентом суммы зерна, оставшегося на ситах с размерами отверстий $2,8 \times 20$ мм и $2,5 \times 20$ мм. Натуру зерна определяли по ГОСТ 10840-2017 с помощью пурки объемом 1 литр. Цилиндр пурки заполняли очищенной от примесей пробой зерна, после опускания груза и заполнения мерки высыпали излишки зерна и производили взвешивание на весах с допустимым отклонением 0,1 г.

В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения с отметкой основных фаз роста и развития: полных всходов, начала кущения, выхода в трубку, полного колошения, восковой спелости. Количество взошедших и сохранившихся к уборке растений учитывали на закрепленных площадках. После подсчета выживших растений, проводили анализ структуры урожая 20 растений каждого сорта с определением общей и продуктивной кустистости, параметров колоса, продуктивности растений и массы 1000 зерен.

ГЛАВА 3 СКРИНИНГ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ ЯЧМЕНЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕН- НЫХ ПРИЗНАКОВ

Генотипические особенности коллекционных образцов ячменя различного эколого-географического происхождения в большей степени проявляются в их реакции на стрессовые условия произрастания. Изучение изменчивости признаков, выявление и систематизация генетического разнообразия коллекционного материала по морфологическим и биологическим признакам позволяет выявить возможности генофонда и подобрать исходный материал для создания стрессоустойчивых сортов.

Для выбора нового исходного материала для селекции ячменя в 2020-2022 гг. были проанализированы 132 образца генетической коллекции разного эколого-географического происхождения (Приложение А). Изученные образцы были представлены 26 странами, большая часть из них (39,4% или 52 образца) была представлена образцами из России (Рисунок 1).

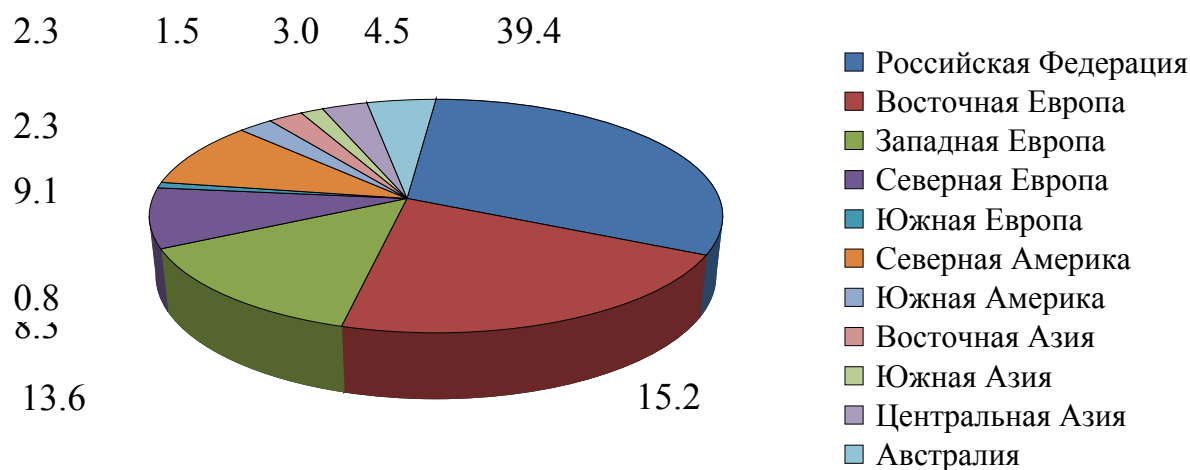


Рисунок 1 – Сортимент коллекционных образцов, %

Из Восточной Европы было представлено 20 образцов (15,2%): Республика Беларусь – 11 (8,3%), Украина – 6 (4,5%), Чехия – 2 (1,5%), Польша – 1 (0,8%); Западной Европы – 18 (13,6%): Германия – 11 (8,3%), Франция –

3 (2,3%), Великобритания – 2 (1,5%), Нидерланды и Швейцария – по 1 образцу (0,8%); Северной Европы – 11 (8,3%): Дания – 4 (3,0%), Латвия, Швеция, Эстония – по 2 образца (1,5%), Финляндии – 1 (0,8%); Южной Европы – 1 (0,8%): Югославия; Северной Америки – 12 (9,1%): Канада – 4 (3,0%) и США – 8 (6,1%); Австралии – 6 (4,5%); Центральной Азии – 4 (3,0%): Казахстан; Южной Америки – 3: Аргентина – 2 (1,5%), Перу – 1 (0,8%); Восточной Азии – 3 (2,2%): Китай – 2 (1,5%), Япония – 1 (0,8%); Южной Азии – 2 (1,5%): Афганистан и Индия по 1 образцу (0,8%).

В результате проведенных исследований была дана оценка коллекционных образцов по урожайности, элементам ее структуры, продолжительности вегетационного периода, устойчивости к полеганию и болезням.

За годы исследований урожайность коллекционных образцов изменялась от 168 до 553 г/м² и в среднем составляла 374±6 г/м². Высокой **урожайностью** в условиях Волго-Вятского региона отличались коллекционные образцы отечественного происхождения (415±10 г/м²) (Таблица 4).

Таблица 4 – Урожайность коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения, 2020-2022 гг.

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

Образцы, обладающие высокой урожайностью в условиях Волго-Вятского региона, были выделены в большинстве регионов. Так максимальная в опыте урожайность – 553 г/м² была отмечена у отечественного образца (Памяти Дудина, Россия). Высокой урожайностью характеризовались образцы из

Восточной Европы – 508 г/м² (Рейдер, Беларусь), Западной Европы – 548 г/м² (J.B. Flavour, Германия), Северной Европы – 455 г/м² (Соорер, Эстония), Северной Америки – 538 г/м² (Tetonia, США), Южной Америки – 448 г/м² (Botnia, Аргентина), Восточной Азии – 283 г/м² (Местный (к-2930), Китай), Южной Азии – 296 г/м² (Местный (к-5983), Афганистан), Центральной Азии – 471 г/м² (Асем, Казахстан), Австралии – 469 г/м² (Maskay).

Анализ данных показал, что урожайность зависела не только от генетических особенностей изученных образцов, но и от погодных условий. Так в 2020 г. урожайностью достоверно выше стандарта Белгородский 100 обладали образцы Калькюль и Юкатан, в 2021 г. – 19 образцов, среди них максимальные значения отмечены у образцов Tetonia, Ворсинский 2, М 4-10, Алей, М 6-10 и Л-102/17, в 2022 г. выделились образцы Melton, J.B. Flavour, М 4-10, Памяти Дудина и М 10-12 (Таблица 5).

Таблица 5 – Коллекционные образцы, выделившиеся по урожайности

Образец	Урожайность, г/м ²			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее
Белгородский 100, стандарт	602	239	533	458
Калькюль	647*	273*	476	465
Юкатан	628*	197	361	395
Tetonia	425	636*	553	538*
Ворсинский 2	496	538*	392	475
М 4-10	422	493*	718*	544*
Алей	503	438*	366	436
М 6-10	589	417*	575	527*
Л-102/17	542	385*	202	376
Melton	437	193	757*	462
J.B. Flavour	567	359*	719*	548*
Памяти Дудина	594	375*	689*	553*
М 10-12	508	330*	684*	507
Среднее по опыту	469	269	383	374
НСР ₀₅	25	31	44	68

Примечание: * – различия со стандартом статистически значимы при $P > 0,95$

В среднем за годы исследований урожайностью на уровне высокоурожайного стандарта Белгородский 100 (458 г/м²) характеризовались 57 образцов. Селекционную ценность представляют образцы Памяти Дудина,

J.B. Flavour, M 4-10, Tetonia и M 6-10, урожайность которых была достоверно выше стандарта на 69-95 г/м².

В среднем за годы исследований **общая кустистость** изменялась от 1,2 до 4,7 шт./раст., и в среднем составляла $2,1 \pm 0,1$ шт./раст. Значениями параметра на уровне стандарта (2,3 шт./раст.) характеризовались 109 образцов. Высоким потенциалом общей кустистости обладали образцы: Kaputar (4,7 шт./раст.), NCL 95098 (3,8 шт./раст.) и Дина (3,1 шт./раст.) (Таблица 6).

Таблица 6 – Выделившиеся по элементам продуктивности коллекционные образцы, 2020-2022 гг.

Образец	Кустистость, шт./раст.		Длина колоса, см	Количество, шт.	
	общая	продуктивная		колосков	зерен
Белгородский 100, стандарт	2,3	2,1	6,3	18,8	17,2
Дина	3,1*	2,6	5,3	19,6	15,6
Kaputar	4,7*	3,5*	5,5	13,2	11,3
NCL 95098	3,8*	3,2*	6,5	19,4	17,3
Bear	2,6	2,1	9,0*	24,4*	22,5*
CDC Mc Gwire	2,4	1,8	8,4*	23,5*	21,5*
П-23/08	1,9	1,5	8,0*	24,6*	22,5*
Rodos	3,0	2,5	5,8	20,4	18,8
Crusades	3,0	2,7	6,9	19,0	17,4
Буян	2,1	1,9	8,0*	25,1*	23,0*
Irbe (PR-3528)	2,2	2,0	7,7	24,4*	22,9*
C.I. 11084 Lan	1,3*	1,1*	3,7*	26,8*	19,8
Местный (к-2930)	1,4*	1,1*	3,9*	29,7*	23,8*
Среднее	2,1	1,8	6,7	23,0	19,8
HCP ₀₅	0,7	0,6	1,7	3,0	2,6

Примечание: * – различия со стандартом статистически значимы при $P > 0,95$

Важную роль в повышении урожайности играет **продуктивная кустистость**. За годы исследований количество продуктивных стеблей у изученных образцов варьировало от 1,1 до 3,5 шт./раст., и в среднем составляло $1,8 \pm 0,1$ шт./раст. Большая часть образцов (87 образцов) характеризовались значениями признака на уровне стандарта Белгородский 100 (2,1 шт./раст.). В результате изучения коллекции выделены ценные для селекции образцы, отличавшиеся высокой продуктивной кустистостью: Kaputar (3,5 шт./раст.) и NCL 95098 (3,2 шт./раст.).

Средняя **длина колоса** у образцов составляла $6,7 \pm 0,1$ см, при варьировании от 3,7 до 9,0 см. Практический интерес представляют образцы, достоверно превысившие стандарт (6,3 см) на 1,7-2,7 см: Bear, CDC Mc Gwire, Витрум, П-23/08, Буян, Юкатан и Абава.

Плотность колоса в среднем составляла $12,9 \pm 0,1$ шт., у образцов Фобос, Дуплет, Rodos, Tetonia, Хаго, Адам, Lawina, CDC Gainer, Svanhals, Tallon и Ворсинский 2 отмечено достоверное превышение над стандартом Белгородский 100 (12,8 шт.) по данному признаку на 1,4-5,1 шт.

Количество колосков в колосе изменялось от 13,2 до 55,2 шт., **количество зерен** от 11,3 до 37,0 шт. В среднем в колосе сформировалось $23,0 \pm 0,7$ колоска, озерненность колоса составляла $19,8 \pm 0,3$ шт. (Таблица 6). Перспективу для использования в качестве исходного материала представляют 28 образцов, превысивших стандарт по изучаемым признакам. Среди многорядных ячменей выделялись образцы Вариант (55,2 шт. – количество колосков, 31,7 шт. – количество зерен), Местный (к-3506) (49,9 и 37,0 шт.), С-105 (43,3 шт. и 31,7 шт.) и др., среди двурядных образцов наибольшее количество колосков и зерен имели Буян (25,1 шт. и 23,0 шт.), Irbe (PR-3528) (24,4 шт. и 22,9 шт.), П-23/08 (24,6 шт. и 22,5 шт.), Bear (24,4 шт. и 22,5 шт.) и Зазерский 85 (25,0 шт. и 22,4 шт.).

По результатам исследований средняя **продуктивность колоса** составляла $0,90 \pm 0,01$ г, **растения** – $1,38 \pm 0,03$ г. Большая часть коллекции (114 образцов) по продуктивности колоса находилась на уровне стандарта Белгородский 100 (0,87 г). В качестве исходного материала для селекции продуктивных сортов перспективу представляют образцы Витрум, С-105, 752А, Полярный 14, Талер, Липень, Tamalpais, Вариант и Буян, превысившие стандарт на 0,23-0,81 г.

По массе зерна с растения 126 образцов находились на уровне стандарта (1,43 г). Селекционную ценность представляют образцы Калькюль, Сябра, Витрум и Памяти Родиной, превысившие стандарт на 0,64-0,73 г (Таблица 7).

Таблица 7 – Выделившиеся по продуктивности образцы, 2020-2022 гг.

Образец	Масса зерна, г		Масса 1000 зерен, г
	с колоса	с растения	
Белгородский 100, стандарт	0,87	1,43	47,7
Калькюль	1,01	2,16*	46,8
Сябра	0,98	2,14*	47,7
Витрум	1,68*	2,12*	46,6
Памяти Родиной	0,97	2,07*	46,5
Хаго	1,04	1,51	54,2*
Chevron C.I. 1111	0,67*	0,77*	33,8*
Nakano wase	0,53*	0,73*	40,3*
Среднее	0,90	1,38	44,5
HCP ₀₅	0,18	0,60	4,2

Примечание: * – различия со стандартом статистически значимы при $P > 0,95$

По показателю «*масса 1000 зерен*» значения изменялись от 28,8 до 54,2 г, среднее значение составило $44,5 \pm 0,4$ г. У 88 образцов масса 1000 зерен была на уровне стандарта (47,7 г). Достоверное превышение над стандартом на 6,5 г отмечено только у образца Хаго (54,2 г).

Продолжительность вегетационного периода – это одно из основных биологических свойств, которое зависит от генетических особенностей образцов и климатических условий. За годы исследований длительность вегетационного периода коллекционных образцов изменялась от 71 до 81 суток и в среднем составляла $76 \pm 0,2$ суток. На уровне среднеспелого стандарта Белгородский 100 (74 сутки) созревало 15 образцов, среди них Памяти Родиной, Jenuta, Салаир, Л-168/16, Л-209/11 и Л-236/10, Талер, Ворсинский 2 и другие. Наименьшим периодом от всходов до созревания (71 сутки) отличались Tamalraïs, Фобос и Дуплет.

Высота растений относится к стабильным признакам растений, имеет большое значение для устойчивости растений к полеганию. В исследовании отмечено, что образцы неоднородны по изменению высоты растений. Показатель варьировал от 45,4 до 87,1 см. У 62 образцов высота растений находилась на уровне стандарта (63,0 см). Превышение над стандартом по высоте растений на 6,2-24,1 см было отмечено у 43 образцов, в том числе Памяти

Дудина, Сигнал, Салаир, Витрум, Lawina, Алей, Ворсинский 2, Clearwater и др. Высота растений достоверно ниже стандарта на 9,1-17,6 см была отмечена у образцов Казьминский, Куфаль, HVS 59393, Kaputar, Адам, Fitzroy, Orthega, 2033 E, Ментор, Melton, Tamalpais.

В исследовании отмечена достоверная отрицательная корреляционная связь между высотой растений и **устойчивостью к полеганию** ($r = -0,590$). Устойчивость на уровне стандарта (8,8 баллов) отмечена у 14 образцов. Наибольшую ценность для условий Волго-Вятского региона представляют образцы с высокой устойчивостью к полеганию (9 баллов) – Бионик, Форсаж, Адам, Зазерский 85, Issota, Mie и NCL 95098.

Результаты оценки коллекционных образцов в естественных условиях показали, что все образцы поражались **темно-бурой и сетчатой пятнистостью**. Степень поражения темно-бурой пятнистостью изменялась от 10,0 до 30,0%, сетчатой пятнистостью от 3,9 до 44,0%, в среднем составляла 18,8 и 18,7%, соответственно. Слабая восприимчивость к болезням листьев отмечена у образцов Макбо (11,0 и 4,0%) и Местный (к-2930) (12,2 и 5,5%). Уровень естественной инфекционной нагрузки пыльной головней был слабым, максимальное в опыте поражение составляло 13,0% (Tamalpais). Образцы Сябра, Crusades, Эвергрин и Filippa за годы проведения опыта не поражались пыльной головней.

Таким образом, результаты комплексного изучения образцов генетической коллекции ярового ячменя показали большое их разнообразие по хозяйственно-важным признакам. Выделены высокоурожайные образцы с рядом хозяйственно-ценных признаков, которые могут служить исходным материалом для создания высокопродуктивных сортов ячменя. Для условий Волго-Вятского региона выделены источники: урожайности – 5 образцов; длинного и озерненного колоса – 7 образцов; продуктивного колоса – 12 образцов; высокой массы 1000 зерен – 1 образец; наименьшим периодом от всходов до созревания – 5 образцов; устойчивости к полеганию – 7 образцов, устойчивости к возбудителю сетчатой пятнистости – 21, темно-бурой пятни-

стости – 1, пыльной головне – 4 образца; сочетающие высокую урожайность с некоторыми элементами продуктивности – 17 образцов (Приложение Б).

В результате проведенного кластерного анализа коллекционные образцы были объединены в три кластера. Для определения степени генетического родства учитывали урожайность и элементы ее структуры, вегетационный период, устойчивость к полеганию и болезням.

В результате проведенного анализа на основании средних показателей за 2020-2022 гг., изученные коллекционные образцы были распределены на три кластера. Отличительной особенностью 1 кластера (36 образцов) было наличие более скороспелых по сравнению со стандартом 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 (Приложение В, Г). Следует отметить более высокую устойчивость к полеганию образцов второго кластера и повышенную восприимчивость образцов третьего кластера к сетчатой и темно-бурой пятнистостям.

При селекции на устойчивость к полеганию целесообразно использовать образцы из второго кластера, для увеличения продуктивности – образцы из третьего кластера. Для максимального расширения генетического разнообразия подбор пар для скрещиваний должен базироваться на использовании образцов из разных кластеров. Это позволит максимально расширить генетическое разнообразие гибридных популяций.

Для дальнейшего исследования отобрано 28 образцов из разных кластеров. Такой подход к формированию материала исследования обусловлен необходимостью наличия образцов с различными реакциями на условия выращивания, что позволит максимально полно изучить адаптивный потенциал и устойчивость образцов к моделируемым стрессовым факторам.

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

Обеспечение посевов влагой имеет решающее значение в формировании урожая. На каждом этапе развития растения ячменя требуют определенное количество влаги в почве. С ростом растений потребление влаги из почвы увеличивается, а при их созревании уменьшается (Лебедев В. Е., Амакова Т. В., 2021). Недостаток влаги влияет на морфофизиологические характеристики растений, приводит к нарушению водного баланса, снижает общее количество хлорофилла и уменьшает объемные размеры всех органов растений, что существенно сказывается на урожайности (Анисимова Н. Н., Ионова Е. В., 2016).

Исследования, направленные на определение влияния засухи на растения в разные межфазные периоды проводили с использованием сортов ярового ячменя селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока Родник Прикамья и Памяти Родины, различающиеся по ряду морфофизиологических признаков.

Урожайность и структурные элементы. Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта показали, что в формирование хозяйственно-ценных признаков вклад стрессового фактора «засуха» составлял 25,5-48,7%, вклад фактора «сорт» – 20,0-34,3%, взаимодействие факторов – 20,3-38,1% (Приложение Д).

В результате проведенных исследований установлено, что засуха в отдельные периоды роста и развития растений достоверно влияла на **урожайность**. В среднем по сортам 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. При

воздействии стресса в межфазный период «колошение – созревание» урожайность увеличилась относительно контроля на 42 г/м² (Таблица 8). Это объясняется перемещением питательных веществ и влаги, которые в данный период направлены на формирование зерна, и сортовыми особенностями.

Таблица 8 – Влияние засухи на разных этапах онтогенеза на урожайность сортов ячменя, 2021-2023 гг.

Период создания засухи (фактор В)	Урожайность, г/м ²		Среднее
	Памяти Родины (фактор А)	Родник Прикамья	
Контроль	317	380	349
Всходы – кущение	213*	258*	236*
Кущение – выход в трубку	345	271*	308
Выход в трубку – колошение	326	306*	316
Колошение – созревание	446*	336	391*
Всходы – созревание	224*	258*	241*
НСР ₀₅	52		41

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

Сорта по-разному реагировали на наличие стрессового фактора. Так урожайность сорта Памяти Родины при наличии засухи в межфазный период «всходы – кущение» и в течение всего вегетационного периода достоверно снижалась на 93-104 г/м² относительно контроля. При наличии стресса в межфазный период «колошение – созревание» отмечено увеличение урожайности на 129 г/м². У сорта Родник Прикамья наличие стрессового фактора от всходов до колошения и в течение всего вегетационного периода снижало урожайность на 74-122 г/м².

К важным морфологическим признакам относиться **высота растений**. В условиях засухи ростовые процессы тормозились и в среднем по опыту отмечено достоверное снижение высоты растений на 2,5-9,8 см относительно контроля. У сорта Памяти Родины высота растений снизилась на 8,6 см только при наличии засухи в течение всего вегетационного периода. У сорта Родник Прикамья наличие засухи во все периоды развития растений достоверно снижало высоту растений на 3,6-11,0 см (Приложение Е).

Анализ результатов исследований выявил, что сорта существенно различались по характеру проявления хозяйственно значимых признаков – **общая и продуктивная кустистость**, в ответ на наличие засухи. Так у сорта Памяти Родиной отмечено достоверное снижение общей кустистости на 1,0 шт./раст. при засухе, моделируемой в течение всего вегетационного периода. У сорта Родник Прикамья отмечено снижение количества продуктивных стеблей при засухе в межфазный период «всходы – кущение» на 2,0 шт./раст., при засухе в течение всего вегетационного периода на 1,0 шт./раст. Достоверного влияния засухи на общую и продуктивную кустистость растений при анализе средних значений по сортам не выявлено (Таблица 9).

Таблица 9 – Влияние засухи на формирование кустистости ячменя, 2021-2023 гг.

Период создания засухи (фактор В)	Кустистость, шт./раст.					
	общая			продуктивная		
	Памяти Родиной (фактор А)	Родник Прикамья	сред- нее	Памяти Родиной	Родник Прикамья	сред- нее
Контроль	5,9	6,5	6,2	5,4	5,6	5,5
Всходы – кущение	5,6	4,8	5,2	5,1	3,6*	4,3
Кущение – выход в трубку	5,3	5,5	5,4	5,0	4,9	4,9
Выход в трубку – колошение	5,8	5,3	5,5	5,0	4,3	4,6
Колошение – созревание	6,2	5,6	5,9	4,9	3,9	4,4
Всходы – созревание	4,9*	5,0	4,9	4,8	4,6*	4,7
НСР ₀₅	0,9	–	–	–	0,9	–

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

В ходе селекционной оценки сортов установлено варьирование ответной реакции на засуху изменением **числа продуктивных стеблей на 1 м²**. В результате исследований установлено, что стресс, действующий в межфазный период «всходы – кущение» достоверно снижал количество продуктивных стеблей в среднем по сортам на 58 шт./м², при засухе в течение всего вегетационного периода снижение составило 62 шт./м². У сорта Родник Прикамья густота продуктивного стеблестоя достоверно снижалась в условиях модельной засухи в период «всходы – кущение» на 103 шт./м² и при стрессе в течение всего ве-

гетационного периода на 99 шт./м². Это говорит о том, что сорт Родник Прикамья является более чувствительным к засухе по сравнению с сортом Памяти Родины, у которого не отмечено достоверного изменения количества продуктивных стеблей.

Условия произрастания оказали влияние на формирование репродуктивных органов растений. Наличие засухи в межфазный период «выход в трубку – колошение», а также в течение всего вегетационного периода достоверно снизило *длину колоса* на 0,5-0,8 см, *количество колосков* на 1,2-1,7 шт. и *количество зерен* на 1,2-1,5 шт. *Плотность колоса* не изменялась при наличии стрессового фактора (Приложение Е).

Отмечены сортовые особенности изменения длины колоса и количества колосков при наличии стрессового фактора. У сорта Памяти Родины при засухе в течение всего вегетационного периода длина колоса и количество колосков снижались на 0,6 см и 1,5 шт. соответственно, при наличии засухи в межфазный период «кущение – выход в трубку» количество колосков снижалось на 2,0 шт. У сорта Родник Прикамья при наличии засухи в межфазный период «выход в трубку – колошение» и в течение всего вегетационного периода также отмечено снижение длины колоса на 0,9-1,0 см и количества колосков на 1,7-1,8 шт.

В исследованиях установлено достоверное влияние засухи на *массу зерна с растения*, при этом *масса зерна с колоса* не изменялась при наличии стрессового фактора. Продуктивность растения в среднем по опыту достоверно снизилась на 0,72 г при стрессе в течение всего вегетационного периода. Более подвержен стрессу был сорт Родник Прикамья, продуктивность которого снизилась на 0,82 г при наличии стресса в течение всего периода вегетации. У сорта Памяти Родины достоверного влияния засухи на изменение массы зерна с растения не отмечено.

При засухе в период «колошение – созревание», когда происходит налив зерна, *масса 1000 зерен* в среднем по опыту увеличилась на 0,6 г. Отме-

чено и достоверное снижение параметра у обоих сортов на 1,0-1,1 г при наличии засухи в течение всего вегетационного периода (Таблица 10).

Таблица 10 – Влияние засухи на элементы продуктивности ячменя, 2021-2023 гг.

Период создания засухи (фактор В)	Масса зерна, г		Масса 1000 зерен, г
	с главного колоса	с растения	
Памяти Родины (фактор А)			
Контроль	1,22	4,75	53,5
Всходы – кушение	1,22	4,44	54,1
Кушение – выход в трубку	1,25	4,78	55,3
Выход в трубку – колошение	1,12	4,35	52,8
Колошение – созревание	1,24	5,18	54,0*
Всходы – созревание	1,18	4,15	52,4*
Родник Прикамья			
Контроль	1,31	5,97	53,7
Всходы – кушение	1,21	4,00	52,5
Кушение – выход в трубку	1,24	4,27	53,5
Выход в трубку – колошение	1,21	4,61	51,2
Колошение – созревание	1,27	5,32	54,4*
Всходы – созревание	1,26	5,15*	52,7*
Среднее по фактору В			
Контроль	1,27	5,36	53,6
Всходы – кушение	1,22	4,22	53,3
Кушение – выход в трубку	1,25	4,53	54,4
Выход в трубку – колошение	1,17	4,48	52,0
Колошение – созревание	1,26	5,25	54,2*
Всходы – созревание	1,22	4,65*	52,6*
А	0,03	–	0,1
НСР ₀₅ В	0,06	0,49	0,2
А×В	–	0,69	0,3

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

В результате проведенных исследований установлено снижение высоты растений при наличии засухи в любой межфазный период. Засуха в межфазный период «всходы – кушение» снижала продуктивный стеблестой, «выход в трубку – колошение» – длину колоса, количество колосков и зерен, «колошение – созревание» – увеличивало массу 1000 зерен. Засуха в течение всего вегетационного периода снижала все изучаемые параметры, включая урожайность. Различная реакция сортов ячменя на стрессовый фактор подтверждает возможность решения проблемы устойчивости к засухе селекци-

онным 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 качестве критериев оценки источников при засушливых условиях вегетации.

Влияние засухи на пигментный комплекс листьев ячменя. Засуха вызывает серьезные изменения большинства физиологических процессов растений: задержку роста и развития, потерю тургора, снижение скорости фотосинтеза и содержания фотосинтетических пигментов. Немаловажное значение придается изучению содержания хлорофиллов и каротиноидов в растениях, подвергнутых различным видам стресса (Ибрагимова З. Ш. и др., 2020). Засуха в период цветения растений значительно снижает содержание хлорофиллов, на стадии формирования зерна – не оказывает значительного влияния на количество пигментов (Соболева О. М., Белашова О. В., 2025).

Результаты дисперсионного анализа показали: на накопление пигментов в листьях большее влияние оказал фактор «засуха» – 32,0-48,4%, взаимодействие факторов «засуха» и «сорт» составляло 21,9-27,8%, наименьшее влияние оказал фактор «сорт» – 8,8-20,9% (Таблица 11).

Таблица 11 – Вклад факторов и их взаимодействие на накопление пигментов в листьях ячменя при засухе, %

Признак	Сорт (фактор А)	Фон (фактор В)	Взаимодействие факторов А×В	Неучтенные факторы
Хлорофилл <i>a</i>	14,2*/20,6**	38,3*/32,4*	27,8*/25,5*	19,7/21,4
Хлорофилл <i>b</i>	20,9*/20,6*	28,2*/30,8*	26,5*/26,2*	24,4/22,4
Отношение хлорофиллов <i>a/b</i>	18,0/19,7*	38,9*/30,1*	24,7/24,5*	18,4/25,8
Каротиноиды	8,8*/15,5*	48,4*/37,0*	24,8*/20,6	18,0/26,9
Отношение + <i>b</i> /каротиноиды	20,7/21,1*	32,0*/32,5*	23,8*/23,6*	23,7/22,9
Доля хлорофилла в ССК	20,7*/22,0*	32,8*/29,0*	21,9*/23,9*	24,6/25,2

Примечание: * – значимо при $P > 0,95$; ** флаговые листья/подфлаговые листья

В среднем по опыту наличие засухи в течение всего вегетационного периода привело к снижению содержания **хлорофилла *a* во флаговых листьях** на 0,8 мг/г сухого вещества, при засухе в межфазный период «кущение – выход в трубку» отмечено повышение содержания пигмента. У сорта Родник Прикамья при засухе в течение всего вегетационного периода снизилось количество хлорофилла *a* на 1,5 мг/г относительно контроля, что говорит о восприимчивости сорта к стрессу, в отличие от сорта Памяти Родины у которого только при наличии засухи в межфазный период «кущение – выход в трубку» отмечено достоверное повышение количества хлорофилла *a* на 0,8 мг/г сухого вещества (Приложение Ж).

В **подфлаговых листьях** при засухе в межфазный период «кущение – выход в трубку» отмечено снижение содержание хлорофилла *a* на 0,4 мг/г, в остальных вариантах опыта засуха достоверно снижала значения параметра на 0,6-0,9 мг/г сухого вещества. У сорта Памяти Родины наличие засухи в межфазный период «всходы – кущение» и в течение всего периода вегетации снизило содержание хлорофилла *a* на 1,1-1,4 мг/г ($НСР_{05} = 0,4$ мг/г). У сорта Родник Прикамья засуха в период «выход в трубку – колошение» и в течение всего вегетационного периода снизила содержание хлорофилла *a* на 0,7-0,9 мг/г, в период «кущение – выход в трубку» повысила параметр на 0,7 мг/г.

Содержание *хлорофилла b* во *флаговых листьях* возрастало на 0,4-0,6 мг/г во всех вариантах опыта. *В подфлаговых листьях* достоверное повышение параметра на 0,3-1,0 мг/г относительно контроля отмечено при засухе в межфазный период «кущение – выход в трубку» и при стрессе в течение всего вегетационного периода. Оба изученных сорта увеличили содержание хлорофилла *b* во флаговых листьях при наличии стрессового фактора в периоды «всходы – кущение» и «кущение – выход в трубку» на 0,4-0,7 мг/г, также Памяти Родины при стрессе в течение всего периода вегетации, Родник Прикамья при стрессе в период «выход в трубку – колошение». В подфлаговых листьях у сорта Памяти Родины отмечено достоверное снижение параметра при засухе в межфазный период «всходы – кущение» на 0,7 мг/г. У сорта Родник Прикамья в каждом варианте опыта засуха повышала значения хлорофилла на 0,5-1,7 мг/г, за исключением межфазного периода «выход в трубку – колошение».

Таким образом, наличие засухи в течение всего периода вегетации снизило содержание хлорофилла *a* и *b* во флаговых и подфлаговых листьях. Проведенный корреляционный анализ показал среднюю положительную связь ($r = 0,524$) между содержанием хлорофилла *a* в подфлаговых листьях и урожайностью. Наблюдалась различная степень адаптивности к засухе. У сорта Родник Прикамья при воздействии засухи в течение всего вегетационного периода во флаговых листьях снизилось только содержание хлорофилла *a*, во флаговых листьях хлорофилл *a* снизился, а *b* возрос по отношению к контролю. У сорта Памяти Родины стресс от всходов до момента взятия проб (фаза колошения) увеличивал хлорофилл *b* во флаговых листьях, в подфлаговых – снижал хлорофилл *a*.

Параметр «*отношение хлорофиллов a/b*» во флаговых листьях в среднем по двум сортам не изменялся, в подфлаговых листьях – снижался на 0,2 мг/г. Анализ показал, что сорта неоднородны по проявлению реакции на стресс, что учитывается при их дальнейшей оценке. Так у сорта Родник Прикамья после воздействия стрессового фактора в межфазный период «куще-

ние – выход в трубку» и в течение всего периода вегетации снизилось отношение хлорофиллов на 0,2 мг/г. У сорта Памяти Родины параметр изменялся в меньшей степени, отмечено снижение на 0,2 мг/г только при непрерывном воздействии стресса.

Стрессовые условия также оказали влияние на изменение *содержания каротиноидов*. При воздействии стрессового фактора в межфазные периоды отмечено снижение содержания каротиноидов во флаговых листьях на 0,2-0,4 мг/г в подфлаговых на 0,3-0,5 мг/г, за исключением периода «кущение – выход в трубку». Оба сорта отреагировали снижением количества каротиноидов во флаговых листьях. Исключение составил межфазный период «кущение – выход в трубку» у сорта Памяти Родины – параметр возрос на 0,2 мг/г.

Отношение зеленых и желтых пигментов ($a+b$ /каротиноиды) во флаговых и подфлаговых листьях в стрессовых условиях в среднем по опыту достоверно увеличивалось относительно контроля на 0,3-0,9 мг/г. У сорта Родник Прикамья отмечено достоверное увеличение показателя как во флаговых (на 0,6-1,1 мг/г), так и в подфлаговых листьях (на 0,5-1,2 мг/г). У сорта Памяти Родины во флаговых листьях отмечено достоверное увеличение соотношения суммы хлорофиллов к каротиноидам (на 0,4-0,7 мг/г), только при наличии засухи в межфазный период «кущение – выход в трубку» показатель не изменился. В подфлаговых листьях значение параметра возросло при стрессе в межфазный период «кущение – выход в трубку» и при засухе в течение вегетационного периода на 0,3-0,7 мг/г.

При наличии стрессового фактора *доля хлорофилла в ССК* во флаговых листьях возросла на 1,8-6,0%. В подфлаговых листьях данный параметр также увеличивался при засухе во все межфазные периоды на 1,6-4,6%, за исключением периода «выход в трубку – колошение».

У сорта Памяти Родины отмечено достоверное увеличение показателя во флаговых листьях на 4,6-6,0%, кроме засухи в межфазный период «кущение – выход в трубку», в подфлаговых – только при засухе в течение всего вегетационного периода на 4,2%. У сорта Родник Прикамья во флаговых ли-

ствиях отмечено достоверное повышение показателя в каждом варианте опыта на 3,0-6,1%, в подфлаговых листьях на 3,3-7,0%, кроме варианта с засухой в период «выход в трубку – колошение».

Установлено, что в условиях засухи потенциальные возможности сортов ячменя накапливать фотосинтетические пигменты различаются, что позволяет использовать эти показатели для диагностики стрессоустойчивости генотипов в период вегетации. Различия между сортами требуют продолжения селекционной оценки с использованием большей выборки.

4.1.1 Скрининг устойчивых к засухе генотипов ячменя в условиях вегетационного опыта

Основываясь на полученных ранее результатах исследований (см. параграф 4.1) наибольшие различия между структурными показателями на контроле и стрессовом фоне были отмечены в варианте с засухой «выход в трубку – колошение». Для выделения источников засухоустойчивости была проведена оценка 10 генотипов ярового ячменя.

Формирование хозяйственно-ценных признаков больше всего зависело от фактора «генотип» – до 60,7%, вклад стрессового фактора составлял до 46,7%, взаимодействие биологических особенностей генотипов и стрессового фактора изменялось до 21,8% (Приложение И).

Наличие засухи повлияло на развитие элементов структуры урожайности ячменя. Изученные генотипы в большей степени характеризовались низким (коэффициент вариации $CV \leq 10\%$) или средним ($10\% \leq CV \leq 20\%$) уровнем фенотипических различий элементов продуктивности, только урожайность (контроль) и продуктивный стеблестой имели относительно высокий уровень различий (20,8-21,1%) (Таблица 12).

Таблица 12 – Влияние засухи на развитие элементов структуры урожайности ячменя, 2021-2023 гг.

Параметры	Вариант				% снижения к контролю
	контроль		фон засуха		
	$x_{cp} \pm Sx$	CV, %	$x_{cp} \pm Sx$	CV, %	
Урожайность, г/м ²	204±13	20,8	131±7	17,2	35,8
Высота растений, см	64,0±2,0	9,8	54,2±1,6	9,1	15,3
Продуктивная кустистость, шт./раст.	2,6±0,1	12,2	2,0±0,1	16,7	23,1
Продуктивный стеблестой, шт./м ²	355±13	11,2	281±19	21,1	20,8
Длина колоса, см	6,4±0,2	10,4	5,9±0,2	11,1	9,2
Плотность колоса, шт.	14,1±0,2	5,1	13,4±0,3	6,9	5,0
Количество колосков, шт.	20,6±0,6	8,4	18,2±0,5	7,9	11,7
Количество зерен в колосе, шт.	18,7±0,5	8,6	15,4±0,5	10,8	17,1
Масса зерна с главного колоса, г	0,80±0,02	9,9	0,64±0,02	9,1	20,0
Масса зерна с растения, г	1,60±0,08	15,4	0,98±0,05	15,7	38,1
Масса 1000 зерен, г	41,3±0,7	5,3	41,0±0,3	2,6	0,7

Наличие стресса в межфазный период «выход в трубку – колошение» в среднем по опыту привело к достоверному снижению *урожайности* на 73 г/м² или 35,8%. Как и в модельном опыте с сортами ячменя (см. параграф 4.1), наличие стрессового фактора привело к снижению таких параметров как длина колоса, количество колосков и зерен.

Устойчивость генотипов к засухе определяли с помощью индекса засухоустойчивости (DSI). Как засухоустойчивый выделен Tallon (1 ранг), который менее других снизил урожайность на стрессовом фоне, однако характеризовался самой низкой урожайностью в опыте. Выявлено, что высокой урожайностью, как в контроле, так и на фоне с засухой, отличались генотипы Витрум и Родник Прикамья со средним индексом засухоустойчивости (6 и 7 ранг). Для дальнейшей селекционной работы, кроме генотипа Tallon (1 ранг), выделены Новичок (2 ранг) и Форвард (3 ранг), отличавшиеся высокой урожайностью на стрессовом фоне, (Таблица 13).

Таблица 13 – Оценка урожайности генотипов ячменя при наличии засухи, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Урожайность, г/м ²		Индекс DSI	Ранг*
	контроль (фактор В)	фон с засухой		
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 $P > 0,95$

При проведении дисперсионного анализа установлено, что наибольший вклад в формирование *высоты растений* оказали биологические особенности изучаемых генотипов (42,1%), вклад стрессового фактора составлял 40,4%, взаимодействие – 12,9%. Все генотипы достоверно снизили высоту растений на стрессовом фоне на 4,2-13,7 см, наименьшее снижение высоты растений наблюдалось у генотипа Дина (Таблица 14).

Таблица 14 – Влияние засухи на высоту растений ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Высота растений, см	
	контроль (фактор В)	фон с засухой
Новичок	65,4	57,7*
Дина	61,5	57,3*
Родник Прикамья	68,1	56,1*
Форвард	68,7	56,9*
Витрум	67,0	55,1*
Бионик	50,0	43,0*
Памяти Дудина	73,3	59,6*
Зазерский 85	62,5	49,0*
Triumph	62,4	53,0*
Tallon	61,2	54,3*
Среднее	64,0	54,2*
НСР ₀₅	А-2,1 В-0,9 А×В-2,9	

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

Вклад стрессового фактора в формирование *продуктивной кустистости* составил 29,3%. В среднем по опыту продуктивная кустистость достоверно снизилась на стрессовом фоне на 0,6 шт./раст. По показателю общей и продуктивной кустистости выделились генотипы Бионик и Triumph, у которых в условиях стресса сохранились высокие значения исследуемых параметров. Наличие засухи в среднем по опыту не повлияло на *общую кустистость* растений, значения находились в пределах статистической ошибки опыта.

Важным показателем, при селекционной оценке генотипов на наличие засухи является снижение *количества продуктивных стеблей*. В среднем по опыту исследуемый параметр снизился на 20,8% или 74 шт./м² по отношению к контролю (Таблица 15).

Таблица 15 – Влияние засухи на кустистость и продуктивный стеблестой ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Общая кустистость, шт.		Продуктивная кустистость, шт.		Продуктивный стеблестой, шт./м ²	
	контроль (фактор В)	фон с засухой	контроль	фон с засухой	контроль	фон с засухой
Новичок	2,6	3,0	2,4	2,3	364	364
Дина	3,0	2,7	2,4	1,9	290	248
Родник Прикамья	3,2	3,2	2,6	2,0	395	317
Форвард	2,9	3,0	2,5	2,1	378	299
Витрум	2,7	2,6	2,5	1,8	355	269
Бионик	3,9	4,1	3,0	2,8	415	381
Памяти Дудина	2,9	3,3	2,6	1,7	363	237
Зазерский 85	2,4	3,2	2,0	1,6	291	194
Triumph	3,5	3,1	3,0	2,0	350	233
Tallon	2,7	2,2	2,6	1,9	350	269
Среднее	3,0	3,0	2,6	2,0*	355	281*
НСР ₀₅	А-0,5 В – А×В –		А-0,3 В-0,2 А×В –		А-56 В-25 А×В –	

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

Большее влияние на *длину и плотность колоса* оказал фактор «генотип» (60,7и 57,8%), вклад стрессового фактора составлял 20,3 и 17,2% соответственно. При наличии засухи длина и плотность колоса снизились на 0,5 см и 0,7 шт. соответственно. Среди изученных генотипов выделились: Витрум и Tallon, у которых не изменилась длина и плотность колоса; Нови-

чок, Дина, Памяти Дудина – длина колоса; Бионик, Зазерский 85 – плотность колоса (Таблица 16).

Таблица 16 – Влияние засухи на параметры колоса ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Длина колоса, см		Плотность колоса, шт.	
	контроль (фактор В)	фон с засухой	контроль	фон с засухой
Новичок	6,7	6,4	14,0	13,2*
Дина	4,9	4,8	14,2	12,8*
Родник Прикамья	6,8	6,0*	13,5	12,2*
Форвард	6,0	5,3*	14,9	13,9*
Витрум	6,8	6,4	12,9	12,6
Бионик	5,9	5,4*	15,1	14,7
Памяти Дудина	7,3	7,1	13,6	12,5*
Зазерский 85	6,7	5,7*	14,7	14,7
Triumph	6,6	5,9*	14,4	13,8*
Tallon	6,7	6,3	13,4	13,1
Среднее	6,4	5,9*	14,1	13,4*
НСР ₀₅	А-0,3 В-0,1 А×В-0,4		А-0,3 В-0,1 А×В-0,5	

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

Высокие показатели **количества колосков и зерен** в контроле отмечены у генотипов Зазерский 85 (22,5 и 20,2 шт. соответственно) и Памяти Дудина (22,2 и 20,2 шт.), однако в опытном варианте оба генотипа снизили количество зерен. В опытном варианте выделились генотипы Новичок и Дина, у которых не отмечено снижения количества зерен в колосе, остальные генотипы снизили параметр на 2,3-4,8 шт. (Таблица 17).

Таблица 17 – Влияние засухи на продуктивность колоса ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Количество колосков, шт.		Количество зерен, шт.	
	контроль (фактор В)	фон с засухой	контроль	фон с засухой
1	2	3	4	5
Новичок	21,2	19,7	19,1	17,8
Дина	16,1	15,2	14,5	13,0
Родник Прикамья	20,4	17,2	18,4	14,7*
Форвард	20,4	17,4	18,7	14,9*
Витрум	20,7	18,4	19,0	15,6*

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5
Бионик	20,5	17,7	18,7	15,5*
Памяти Дудина	22,2	20,1	20,2	16,8*
Зазерский 85	22,5	19,1	20,2	15,4*
Triumph	20,9	18,1	18,8	14,2*
Tallon	21,2	19,1	19,8	17,5*
Среднее	20,6	18,2*	18,7	15,5*
НСР ₀₅	А-0,9 В-0,4 А×В –		А-1,1 В-0,5 А×В-1,6	

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

Масса зерна с главного колоса на фоне с засухой в среднем снизилась на 0,16 г (НСР₀₅ = 0,06 г), **с растения** на 0,62 г (НСР₀₅ = 0,23 г). Генотипы Новичок и Tallon поддерживали стабильную массу зерна с растения при наличии стресса, что определяет их ценность для дальнейшей селекционной работы. У остальных генотипов отмечено снижение массы зерна с растения на стрессовом фоне на 0,51-1,02 г (НСР₀₅ = 0,34 г) (Таблица 18).

Таблица 18 – Влияние засухи на массу зерна ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Масса зерна, г				Масса 1000 зерен, г	
	с главного колоса		с растения		контроль	фон с засухой
	контроль (фактор В)	фон с засухой	контроль	фон с засухой		
Новичок	0,82	0,73	1,47	1,27	40,8	39,7*
Дина	0,63	0,56	1,26	0,75*	42,7	42,1*
Родник Прикамья	0,85	0,63	1,72	1,00*	43,9	42,2*
Форвард	0,75	0,59	1,48	0,96*	39,6	40,7*
Витрум	0,88	0,69	1,82	0,98*	41,9	41,3*
Бионик	0,76	0,61	1,74	1,09*	38,8	38,9
Памяти Дудина	0,88	0,68	1,98	0,96*	43,1	40,8*
Зазерский 85	0,88	0,65	1,53	0,77*	43,5	41,7*
Triumph	0,80	0,57	1,76	1,01*	41,1	42,1*
Tallon	0,76	0,70	1,22	1,05	37,2	40,8*
Среднее	0,80	0,64*	1,60	0,98*	41,3	41,0*
НСР ₀₅	А	–	0,24		0,3	
	В	0,06	0,11		0,1	
	А×В	–	0,34		0,4	

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

Масса 1000 зерен является генетически стабильным признаком, который тесно связан с урожайностью, особенно в условиях засухи. В стрессовых

условиях отмечено достоверное снижение параметра на 0,3 г относительно контроля. Изученные генотипы по-разному реагировали на засуху изменением массы 1000 зерен. Значения изучаемого признака увеличились у генотипов Форвард, Triumph и Tallon на 1,0-3,6 г ($HCp_{05} = 0,4$ г). Генотип Triumph на стрессовом фоне отличался наибольшей массой 1000 зерен (42,1 г), Бионик не изменял изучаемый параметр. У оставшихся 5 генотип в условиях стресса отмечено снижение параметра на 0,6-2,3 г, меньшие различия с контролем отмечены у генотипов Витрум и Дина (0,6 г).

В условиях засухи достоверная корреляционная зависимость 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 ($r = 0,472$) (Таблица 19).

Таблица 19 – Коэффициенты корреляции (r) между урожайностью и изучаемыми параметрами, 2021-2023 гг.

Параметры	Вариант	
	контроль	фон с засухой
Высота растений	0,472	0,243
Длина колоса	0,613	0,472
Количество колосков	0,524	0,373
Количество зерен	0,475	0,550
Масса зерна с главного колоса	0,811	0,571
Масса зерна с растения	0,840	0,815
Масса 1000 зерен	0,559	-0,484

Примечание: $r_{\text{критич.}} = 0,444$ при $P > 0,95$

В ходе селекционной оценки генотипов ячменя установлено, что стресс оказывал различное действие на морфологические параметры, что подтверждается значениями индекса DSI. Так высокая урожайность генотипа Новичок при наличии засухи объясняется адаптивными реакциями растений, обеспечившими минимальное снижение всех элементов структуры урожайности, за исключением высоты растений. У генотипов Форвард, Бионик, Triumph и Tallon увеличилась масса 1000 зерен, также у Tallon наблюдалось наименьшее снижение урожайности, количества зерен и массы зерна с растения среди

изученных генотипов. Засуха в меньшей степени повлияла на высоту растений и длину колоса у генотипа Дина, длину колоса – Памяти Дудина. У генотипов Памяти Дудина и Зазерский 85 отмечалось снижение практически всех элементов структуры и урожайности (Таблица 20).

Таблица 20 – Влияние засухи на развитие элементов структуры урожайности ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип	Индекс DSI						
	высота растений, см	продуктивная кустистость, шт./раст.	плотность колоса, шт.	длина колоса, см	количество зерен, шт.	масса зерна с растения, г	масса 1000 зерен, г
Новичок	0,78	0,19	0,19	0,50	0,27	0,35	0,38
Дина	0,46	0,45	1,14	0,23	0,41	1,04	0,21
Родник Прикамья	1,17	0,73	1,05	1,45	0,80	1,07	0,57
Форвард	1,15	1,27	0,73	1,30	1,18	1,04	-0,36
Витрум	1,18	1,57	1,27	0,81	0,72	1,18	0,22
Бионик	0,93	0,91	0,45	0,94	0,68	0,96	-0,02
Памяти Дудина	1,25	1,14	1,57	0,46	0,67	1,32	0,76
Зазерский 85	1,44	1,05	0,91	1,80	0,95	1,27	0,59
Triumph	1,00	1,52	1,52	1,18	0,94	1,08	-0,35
Tallon	0,73	1,22	1,22	0,66	0,42	0,34	-1,38

Расчет корреляционной связи индексов DSI между урожайностью и элементами структуры выявил достоверную связь только с параметром «масса 1000 зерен» ($r = 0,912$). Полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования DSI массы 1000 зерен при оценке засухоустойчивости генотипов ячменя.

В результате проведенных исследований установлено, что устойчивостью к засухе в межфазный период «выход в трубку – колошение» в сочетании с высокой урожайностью характеризовались генотипы Новичок и Форвард, так же по некоторым хозяйственно-ценным признакам выделены генотипы Tallon и Бионик, которые будут использованы в качестве компонентов скрещивания в соответствующих селекционных программах. Выявленные

корреляции позволяют использовать параметры для оценки устойчивости генотипов к засухе при наличии стрессового фактора.

4.1.2 Лабораторный скрининг генотипов ячменя по устойчивости к осмотическому стрессу

Лабораторные методы диагностики состояния проростков растений, включающие проращивание семян в растворах осмотиков, имитирующих засуху, позволяют ускорить оценку засухоустойчивости растений по сравнению с полевыми исследованиями. Длина и масса ростков и корней относятся к одним из основных критериев при создании засухоустойчивых сортов (Панфилов А. Л., Абдрашитов Р. Р., 2022).

Изученные генотипы имели семена высокого качества, соответственно в контрольном варианте наблюдали высокую энергию прорастания. На фоне осмотического стресса прорастаемость семян на третьи сутки была ниже контроля на 22,1%, лабораторная всхожесть (седьмые сутки) снизилась на 14,9% (Рисунок 2).

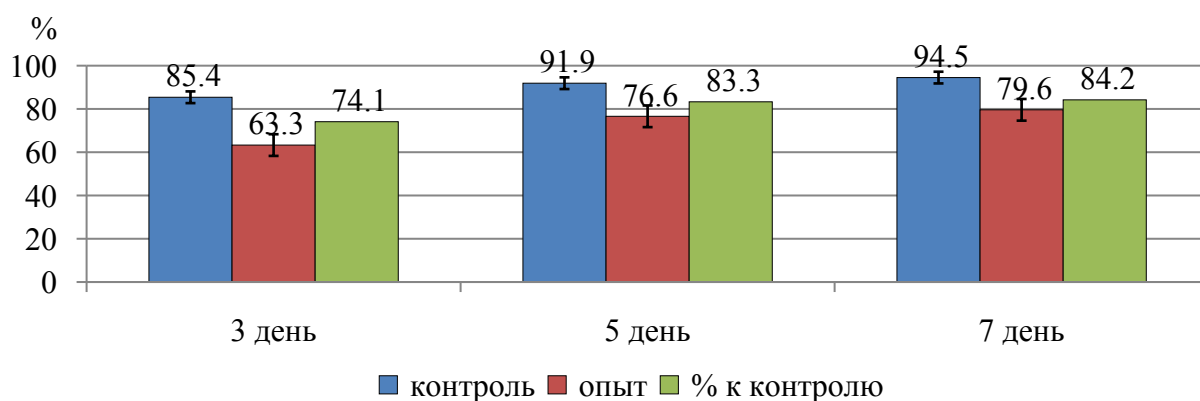


Рисунок 2 – Динамика прорастания семян ячменя в условиях осмотического стресса

В лабораторных исследованиях энергия прорастания исследуемых генотипов на третьи сутки в контрольном варианте изменялась от 71,1 до 95,6%, в

опытном варианте от 33,3 до 86,7%, минимальные значения в обоих вариантах были отмечены у генотипа Зазерский 85, максимальные – Бионик. В среднем по опыту энергия прорастания в контроле составляла 85,4%, в опытном варианте – 63,3% (Рисунок 3). У большинства изученных генотипов искусственно созданная засуха снизила энергию прорастания на 6,7-37,8%, меньшее снижение отмечено у генотипа Форвард.

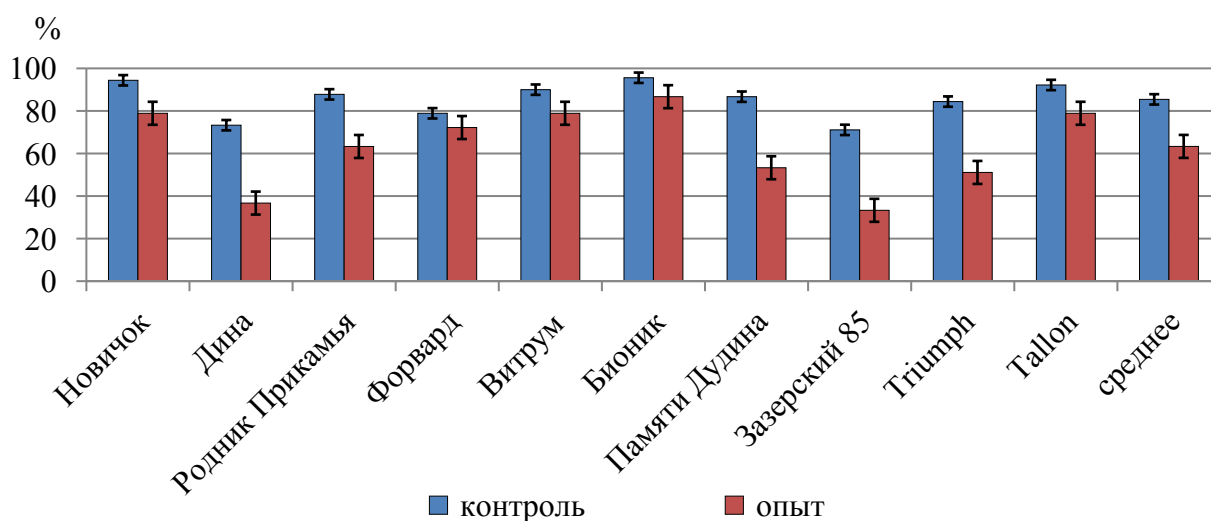


Рисунок 3 – Энергия прорастания генотипов ячменя на третьи сутки в условиях стресса

Показатель «прорастание семян на пятые сутки», как правило, используется при оценке пригодности партии зерна для приготовления солода (Белокурова Е. С. и др., 2015), а так же при скрининге генотипов на устойчивость к абиотическим стрессам, позволяя выделять толерантные генотипы. Так на пятые сутки количество проросших семян в контрольном варианте варьировало от 80,0% (Зазерский 85) до 99,0% (Новичок), в опытном варианте от 53,3% (Памяти Дудина) до 86,7% (Бионик, Родник Прикамья). В среднем по опыту данный показатель составил в контрольном варианте – 91,9%, в опытном – 76,6% (Рисунок 4).

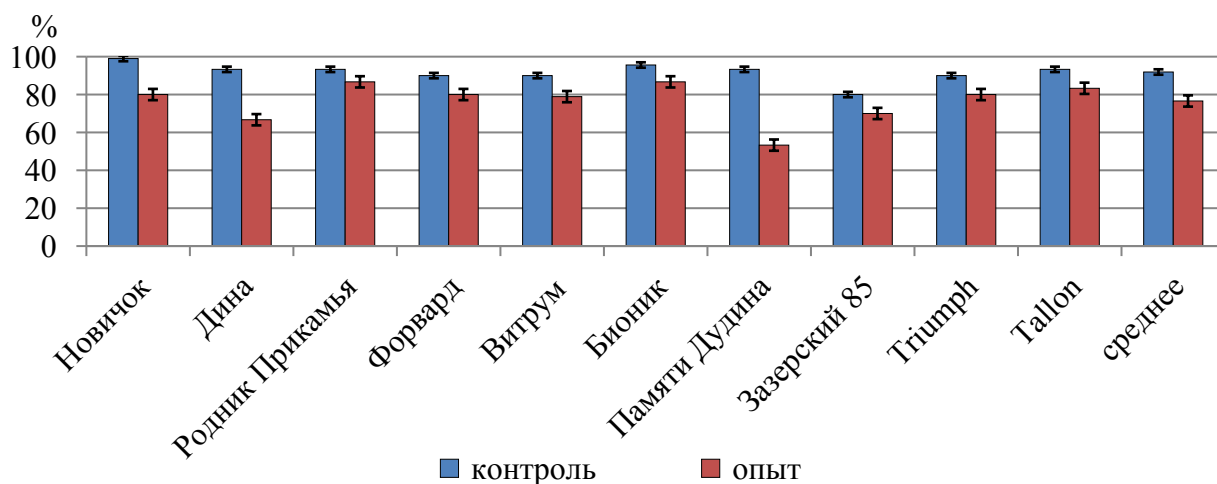


Рисунок 4 – Прорастание генотипов ячменя на пятые сутки в условиях стресса

Лабораторная всхожесть (седьмые сутки) изменялась от 90,0% (Зазерский 85, Triumph) до 99,0% (Витрум) в контроле, в опыте от 63,3% (Памяти Дудина) до 93,3% (Бионик) и в среднем составляла 94,5% и 79,6% соответственно (Рисунок 5).

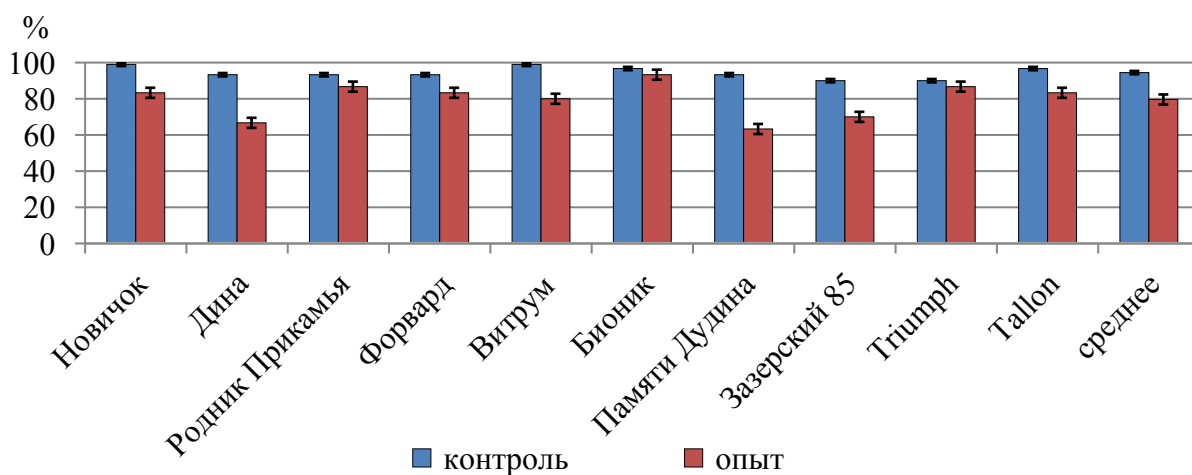


Рисунок 5 – Всхожесть генотипов ячменя в условиях стресса

По устойчивости к осмотическому стрессу по показателю 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 (процент проросших семян – 61-80%): Зазерский 85, Памяти Дудина, Дина, Triumph.

Таким образом, при воздействии стрессового фактора генотипы различались по характеру проявления значимых для селекции признаков – по энергии прорастания и лабораторной всхожести, при этом генотип Бионик отличался наиболее высокими значениями данных показателей.

При прорастании зерна появляются зародышевые или первичные корни, которые остаются живыми до момента созревания зерна и играют важную роль в формировании урожая в условиях засухи. При лабораторной оценке генотипов количество первичных корней в условиях засухи, по сравнению с контрольным вариантом достоверно снизилось на 2,2 шт. Меньше всего стрессовые условия повлияли на генотип Витрум, у которого отмечено меньшее снижение количества зародышевых корней (Таблица 21).

Таблица 21 – Влияние осмотического стресса на количество корней у проростков ячменя

Генотип	Количество корней, шт.		– к контролю, %
	контроль	опыт	
Новичок	7,5	4,5	40,0
Дина	8,4	3,8	54,8
Родник Прикамья	7,8	6,1	21,8
Форвард	5,2	4,6	11,5
Витрум	6,1	5,9	3,3
Бионик	7,5	6,1	18,7
Памяти Дудина	5,7	3,5	38,6
Зазерский 85	6,8	3,6	47,1
Triumph	8,4	6,5	22,6
Tallon	7,6	4,7	38,2
Среднее	7,1	4,9*	31,0
НСР ₀₅	0,6		–

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

Сухая масса корней отдельного проростка в контрольном варианте изменялась от 0,176 г (Форвард) до 0,281 г (Новичок). В условиях осмотического стресса масса корней варьировала от 0,051 г (Дина) до 0,129 г (Бионик). Наибольшее снижение массы сухих корней отмечалось у генотипа Дина

(на 0,181 г). Наибольшая сухая масса ростков в контрольном варианте сформировалась у генотипа Витрум – 0,200 г, минимальная – Форвард (0,115 г). Масса ростков, выращенных при наличии стресса, изменялась от 0,010 г (Дина, Tallon) до 0,063 г (Форвард). Максимальный процент снижения сухой массы ростков был отмечен у генотипа Tallon (Приложение К).

Использование параметра «относительная RSR» дает более полное представление о засухоустойчивости генотипов, показывает реакцию растений на стрессовое воздействие, выраженное в перераспределении биомассы (и синтезируемых ассимилятов) между корневыми и надземными органами (Лисицын Е. М., 2018). Параметр «относительная RSR» был высоким у генотипа Tallon, что говорит о более развитой корневой системе в условиях осмотического стресса по отношению к росткам.

В результате проведенного исследования к засухоустойчивым отнесен генотип Бионик, обладавший высокой энергией прорастания и лабораторной всхожестью в условиях стресса и Tallon, имевший высокое значение относительной RSR среди изученных генотипов.

Таким образом, сравнительный анализ показал достоверную корреляцию между урожайностью генотипов в вегетационных опытах при засухе (фаза «выход в трубку – колошение») и лабораторными параметрами: лабораторной всхожестью ($r = 0,588$) и массой корней ($r = 0,447$) в условиях стресса. Выявленная связь позволяет использовать эти параметры для быстрой оценки устойчивости генотипов в селекционных программах и повышать точность прогнозирования стрессоустойчивости, сокращая время и ресурсы на полевые испытания. Так же при проведении опытов в условиях модельной засухи выявлена высокая корреляционная связь между урожайностью и массой 1000 зерен в межфазный период «выход в трубку – колошение» ($r = 0,944$). Расчет корреляционной связи индексов засухоустойчивости показал высокую корреляционную связь только между урожайностью и массой 1000 зерен ($r = 0,912$), следовательно, этот показатель целесообразно использовать при оценке засухоустойчивости генотипов ячменя для создания

селекционного материала. В лабораторных опытах обнаружена средняя корреляционная связь между урожайностью и лабораторной всхожестью ($r = 0,588$), массой корней ($r = 0,447$).

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

Повышенная кислотность почвы является одним из основных факторов, ограничивающих почвенное плодородие и негативно влияющих на развитие корневой системы. Это приводит к нарушению минерального питания и снижению продуктивности культур (Кузнецова Т. Е. и др., 2011; Попова Н. П. и др., 2020).

Урожайность и элементы структуры ячменя. В условиях вегетационного опыта оценивали влияние стрессового почвенного фона ($pH = 4,5$) на морфофизиологические и продукционные признаки 10 генотипов ярового ячменя, ранее выделенных в полевых опытах по урожайности и ряду селекционно-ценных признаков.

На контроле и фоне с повышенной кислотностью почвы показатели элементов продуктивности характеризовались низким ($CV \leq 10\%$) или средним ($10\% \leq CV \leq 20\%$) уровнем фенотипических различий, за исключением урожайности в контрольном варианте. В контроле (без стресса) различия между генотипами в основном проявлялись по 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 (Таблица 22).

Таблица 22 – Элементы генотипической изменчивости ячменя и их вклад в урожайность при повышенной кислотности почвы, 2021-2023 гг.

Параметры	Вариант				% 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 большей степени урожайность зависела от фактора «генотип» – 27,9%, от стрессового фактора – 24,0% (Приложение Л). Наличие стресса в среднем по опыту привело к достоверному снижению урожайности на 48 г/м² или 23,5%. На фоне с повышенной кислотностью почвы следует отметить генотип Родник Прикамья, который сохранил высокую урожайность, и Tallon – не снизил урожайность на стрессовом фоне (Таблица 23).

Таблица 23 – Генотипическая реакция ячменя на повышенную кислотность почвы, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Урожайность, г/м ²		
	контроль (фактор В)	кислый фон	± к контролю, %
1	2	3	4
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

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4
Triumph	179	166	-7,3
Tallon	134	161	+20,1
Среднее	204	156*	-23,5
HCP ₀₅	A-52 B-23 A×B –		–

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

В результате исследований выявлено, что наличие стресса привело к достоверному снижению всех показателей структуры урожайности: длины колоса – 0,4 см, плотности колоса – 0,6 шт., количества колосков – 2,0 шт., количества зерен – 2,3 шт., массы зерна с растения – 0,40 г, массы 1000 зерен – 0,3 г.

В среднем по опыту **высота растений** снижалась с 64,0 до 55,3 см. Селекционная оценка генотипов выявила различия по реакции растений на наличие стрессового фактора. Так у большинства исследуемых генотипов на стрессовом фоне снизилась высота растений на 6,8-12,1 см относительно контроля (HCP₀₅ = 2,6 см), за исключением генотипа Tallon, у которого не отмечено достоверного снижения признака (Рисунок 6).

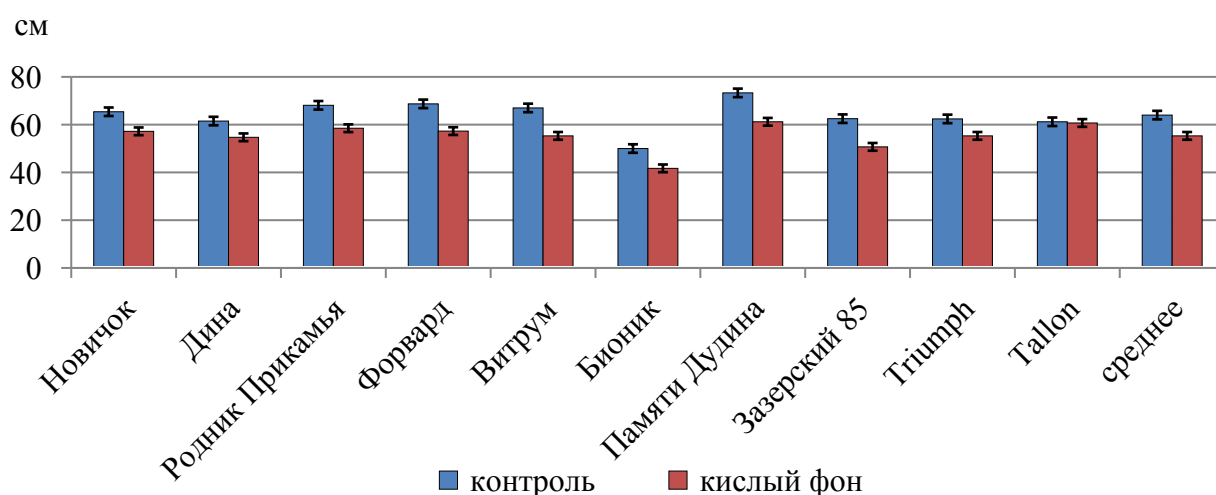


Рисунок 6 – Влияние повышенной кислотности почвы на высоту растений генотипов ячменя, 2021-2023 гг.

При наличии стрессового фона не отмечено изменения *длины и плотности колоса, количества колосков и зерен* у генотипа Tallon; длины колоса, количества колосков и зерен – Дина и Triumph; длины колоса – Новичок и Родник Прикамья, плотности колоса – Форвард, Витрум и Зазерский 85. Выделенные генотипы сохраняли параметры длины и озерненности колоса в условиях стресса, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных источников для создания селекционного материала (Таблица 24).

Таблица 24 – Влияние повышенной кислотности почвы на параметры и продуктивность колоса ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Длина колоса, см		Плотность колоса, шт.		Количество колосков, шт.		Количество зерен, шт.	
	контроль (фактор В)	кислый фон	контроль	кислый фон	контроль	кислый фон	контроль	кислый фон
Новичок	6,7	6,3	14,0	13,1*	21,2	19,1*	19,1	17,1*
Дина	4,9	4,9	14,2	13,3*	16,1	15,2	14,5	13,7
Родник Прикамья	6,9	6,5	13,5	12,5*	20,4	18,6*	18,4	16,4*
Форвард	6,0	5,2*	14,9	14,5	20,4	17,8*	18,7	15,8*
Витрум	6,9	5,8*	12,9	13,2	20,7	17,6*	19,0	15,9*
Бионик	5,9	5,2*	15,1	14,2*	20,5	17,1*	18,7	15,7*
Памяти Дудина	7,3	6,8*	13,6	12,9*	22,2	20,0*	20,2	17,9*
Зазерский 85	6,8	5,8*	14,7	14,3	22,5	19,1*	20,2	16,1*
Triumph	6,6	6,5	14,4	13,8*	20,9	20,6	18,8	17,7
Tallon	6,7	6,8	13,4	13,4	21,2	20,9	19,8	18,2
Среднее	6,5	6,0*	14,1	13,5*	20,6	18,6*	18,7	16,5*
А	0,3		0,3		1,0		1,0	
НСР ₀₅ В	0,1		0,1		0,4		0,5	
А×В	0,4		0,4		1,4		1,4	

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

По параметру «*масса зерна с колоса*» перспективу использования в качестве исходного материала для селекции имеют генотипы Triumph и Tallon, у которых при ухудшении условий вегетации сохранились высокие значения исследуемого параметра (Таблица 25).

Масса зерна с растения имела достоверную корреляционную связь с урожайностью ($r = 0,756$). Однако при наличии стресса у исследуемых гено-

типов не выявлено изменения продуктивности растений. Наибольшая масса зерна с растения в условиях стресса сформировалась у генотипов Новичок, Родник Прикамья, Памяти Дудина, Triumph и Tallon.

Информативным показателем продуктивности генотипов является *масса 1000 зерен*. При ухудшении условий вегетации у генотипов Родник Прикамья и Витрум сохранилась масса 1000 зерен, у Triumph и Tallon на стрессовом фоне масса 1000 зерен достоверно возросла на 1,7-4,4 г. Стабильность или увеличение признака указывает на адаптивную реакцию растений к неблагоприятным условиям произрастания, что является важным для эффективной селекции (Таблица 25).

Таблица 25 – Влияние повышенной кислотности почвы на продуктивность колоса и растения, массу 1000 зерен ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Масса зерна, г				Масса 1000 зерен, г	
	с главного колоса		с растения		контроль	кислый фон
	контроль (фактор В)	кислый фон	контроль	кислый фон		
Новичок	0,82	0,71	1,47	1,26	40,8	40,3*
Дина	0,63	0,60	1,26	0,90	42,7	42,3*
Родник Прикамья	0,85	0,77	1,72	1,33	43,9	44,1
Форвард	0,75	0,64	1,48	1,13	39,6	38,6*
Витрум	0,88	0,72	1,82	1,12	41,9	41,8
Бионик	0,76	0,61	1,74	1,14	38,8	37,2*
Памяти Дудина	0,88	0,78	1,98	1,28	43,1	41,5*
Зазерский 85	0,88	0,68	1,53	0,84	43,5	40,0*
Triumph	0,80	0,82	1,76	1,52	41,1	42,8*
Tallon	0,76	0,81	1,22	1,46	37,2	41,6*
Среднее	0,80	0,71*	1,60	1,20*	41,3	41,0*
НСР ₀₅	А	0,14	0,25		0,1	
	В	0,06	0,11		0,1	
	А×В	—	—		0,2	

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

Влияние повышенной кислотности почвы на пигментный комплекс флаговых листьев. Урожайность ячменя напрямую зависит от эффективности фотосинтеза. Установлено, что по мере повышения кислотности почвы снижается чистая скорость фотосинтеза, содержание хлорофилла в листьях и сухая масса растений (Shim J. W. et al., 1988; Ahmed I. M. et

al., 2018). Эти результаты показывают возможность использования изменений параметров фотосинтетического аппарата для оценки чувствительности растений к стрессу.

Накопление хлорофилла *a* во флаговых листьях ячменя в 2021 г. в значительной мере зависело от фактора «почвенный фон» (38,2%), в 2022 и 2023 гг. – от фактора «генотип» (54,1 и 58,3% соответственно). Так, в 2021 г. у генотипов Витрум, Бионик и Triumph не отмечено значимого отклонения содержания хлорофилла *a* от контроля, в то время у остальных генотипов содержание пигмента на стрессовом фоне возрастало. В 2022 г. генотип Triumph повысил уровень накопления хлорофилла *a* на 19,3%, для оставшихся генотипов, за исключением Tallon, снижения содержания пигмента по сравнению с контролем были статистически значимы. В 2023 г. только Родник Прикамья (на 30,1%) и Дина (на 25,0%) снизили уровень содержания хлорофилла *a* во флаговых листьях, у остальных генотипов параметр был на уровне контроля (Приложение М). Приведенные данные подробно изложены в публикации Л. В Панихиной и др. (2025).

В среднем за годы исследований генотипы Triumph и Tallon на кислом почвенном фоне имели содержание хлорофилла *a* на 8,1-10,3% выше его содержания на контрольном фоне, Витрум – наоборот, снижал уровень содержания хлорофилла *a* на 6,4% относительно контроля. У остальных генотипов не отмечено значимого влияния почвенного фона на содержание хлорофилла *a* во флаговых листьях (Таблица 26).

Таблица 26 – Влияние повышенной кислотности почвы на содержание пигментов во флаговых листьях ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Содержание пигментов, мг/г сухого вещества					
	хлорофилл <i>a</i>			хлорофилл <i>b</i>		
	контроль	кислый фон	± к контролю	контроль	кислый фон	± к контролю
1	2	3	4	5	6	7
Новичок	9,15	8,78	-0,37	5,04	4,75	-0,29
Дина	9,83	8,88	-0,95*	5,53	5,41	-0,12
Родник Прикамья	9,98	9,28	-0,70*	5,33	5,23	-0,10

Продолжение таблицы 26

1	2	3	4	5	6	7
Форвард	9,71	10,16	+0,45	5,31	5,15	-0,16
Витрум	10,23	9,58	-0,65*	5,56	5,42	-0,14
Бионик	10,37	10,56	+0,19	5,59	5,88	+0,29
Памяти Дудина	9,28	9,29	+0,01	5,13	5,10	-0,03
Зазерский 85	10,79	10,55	-0,24	6,15	5,99	-0,16
Triumph	8,89	9,61	+0,72*	4,63	5,77	+1,14*
Tallon	8,02	8,85	+0,83*	4,36	5,23	+0,87*
Среднее	9,63	9,56	-0,07	5,26	5,39	+0,13
НСР ₀₅	А-1,43 В-0,64 А×В-0,64			А – В-0,4 А×В-0,71		

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

Поскольку обычно две формы хлорофилла (*a* и *b*) тесно связаны между собой, аналогичные изменения происходили с уровнем содержания хлорофилла *b*. По данным двухфакторного дисперсионного анализа влияние фактора «почвенный фон» на содержание хлорофилла *b* составляло 47,3 и 21,8% в 2021 и 2022 гг., в условиях 2023 г. оно было статистически незначимо. Влияние фактора «генотип» составляло по годам 38,4; 38,7 и 50,6%. В 2021 г. отмечено достоверное превышение содержания пигмента над контролем во флаговых листьях у всех исследуемых генотипов ярового ячменя. В 2022 г. большинство генотипов показали значимое снижение содержания хлорофилла *b*, в среднем на 34,9%. У генотипа Родник Прикамья содержания хлорофилла *b* осталось на уровне контроля, а у Triumph и Tallon отмечено повышение параметра на 49,8 и 22,9% соответственно. В условия вегетации 2023 г. только у генотипов Дина и Родник Прикамья содержание пигмента во флаговых листьях на стрессовом фоне снизилось относительно контроля на 33,8 и 29,2% соответственно, у остальных генотипов различия с контролем были статистически незначимыми.

В среднем за три года исследований только у генотипов Triumph и Tallon отмечено достоверное повышение содержания хлорофилла *b* во флаговых листьях на кислом фоне на 20-24,6% (Таблица 26).

Фон с повышенной кислотностью почвы оказал значительно меньший эффект на содержание каротиноидов во флаговых листьях. Так, в 2021 г. у генотипа Новичок, Форвард, Памяти Дудина и Зазерский 85 отмечено повы-

шение содержания каротиноидов на 13,6-20,8%. В 2022 г. достоверное снижение содержание пигмента на 7,8-20,0% отмечено у половины исследуемых генотипов (Новичок, Дина, Форвард, Памяти Дудина, Зазерский 85). В 2023 г. генотипы Форвард, Triumph и Tallon показали значимое повышение содержания каротиноидов на стрессовом фоне на 18,0-21,1%. В среднем за годы проведения исследований не выявлено изменения содержания каротиноидов во флаговых листьях (Таблица 27). Стабильность содержания каротиноидов в среднем за годы исследований указывает на устойчивость этого параметра к стрессовым условиям – наличию повышенной кислотности почвы.

Таблица 27 – Влияние повышенной кислотности почвы на содержание каротиноидов во флаговых листьях ячменя, 2021-2023 гг.

Генотип (фактор А)	Содержание каротиноидов, мг/г							
	2021 г.		2022 г.		2023 г.		среднее	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Новичок	2,50	3,02*	2,06	1,73*	2,20	2,01	2,25	2,25
Дина	2,71	2,91	2,05	1,64*	2,57	1,94*	2,44	2,16
Родник Прикамья	2,62	2,87	2,06	1,95	2,53	2,05*	2,40	2,29
Форвард	2,59	3,13*	2,46	2,21*	2,27	2,75*	2,44	2,70
Витрум	3,04	2,91	1,97	1,98	2,81	2,42*	2,61	2,44
Бионик	3,01	3,24	2,23	2,11	2,39	2,25	2,54	2,53
Памяти Дудина	2,79	3,17*	2,13	1,92*	2,06	2,19	2,33	2,43
Зазерский 85	2,84	3,25*	2,44	2,25*	2,52	2,34	2,60	2,61
Triumph	2,86	2,59*	1,95	2,00	2,05	2,42*	2,29	2,34
Tallon	2,71	2,77	1,99	2,00	1,58	1,87*	2,09	2,21
Среднее	2,77	2,99	2,13	1,98	2,30	2,22	2,40	2,40
НСР ₀₅ А	0,18		0,09		0,17		0,3	
НСР ₀₅ В	0,08		0,04		0,07		–	
НСР ₀₅ А×В	0,25		0,13		0,23		–	

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

Проведенный анализ по содержанию пигментов в листья позволил выделить генотипы Triumph и Tallon, которые увеличили содержание хлорофиллов *a* и *b* на стрессовом фоне; генотипы Родник Прикамья, Бионик, Памяти Дудина и Зазерский 85, которые обладали высоким содержанием зеленых пигментов и не снижали его на стрессовом фоне, что характеризует их устойчивыми к повышенной кислотности почвы по данным параметрам.

При сравнении степени изменения урожайности и содержания пигментов во флаговых листьях растений ячменя в 2021 г. не отмечено зависимости этих показателей друг от друга. Только для генотипов Новичок и Tallon можно отметить увеличение содержания пигментов и урожайности зерна. Расчет коэффициентов парных корреляций между указанными параметрами показал связь между ними в условиях фона с повышенной кислотностью почвы между урожайностью зерна и содержанием хлорофилла *a* ($r = -0,652$), хлорофилла *b* ($r = -0,644$). В 2022 г. корреляция между фонами была статистически значима только для каротиноидов ($r = 0,672$). Не отмечено зависимости между содержанием пигментов и урожайностью как в контроле, так и на стрессовом фоне. В 2023 г. в условиях повышенной кислотности почвы урожайность в среднем по опыту снижалась, тогда как содержание пигментов в листьях как снижалось, так и повышалось. Статистически значимые корреляции урожайности зерна с содержанием пигментов отмечены только в контроле: $r = 0,637$ (хлорофилл *a*) и $r = 0,647$ (хлорофилл *b*).

В среднем за три года исследований не отмечено достоверной взаимосвязи между урожайностью и пигментами во флаговых листьях как на контрольном, так и на стрессовом фонах. Статистически значимая корреляция между контролем и опытным фоном была только для хлорофилла *a* ($r = 0,673$), при снижении содержания пигмента в листьях на фоне с повышенной кислотностью почвы снижалась и урожайность.

В целом за три года исследований генотипы Новичок, Форвард, Бионик, Памяти Дудина и Зазерский 85 на фоне с повышенной кислотностью почвы не значительно изменяли содержание хлорофиллов *a* и *b* во флаговых листьях, при этом у всех генотипов не было отмечено значимого изменения урожайности. Стрессовый фактор, действуя через корневую систему растений, оказывал ограниченное влияние на накопление пигментов во флаговых листьях в фазу цветения. Генотип Tallon отличался повышением содержания пигментов во флаговом листе без изменения урожайности. У генотипа Triumph не отмечено изменения урожайности и содержания каротиноидов в

листьях при выращивании на почвах с повышенной кислотностью, но при этом выявлено повышение содержания зеленых пигментов (хлорофилл *a* и *b*).

Из трех исследованных пигментов флаговых листьев наибольшее значимое влияния повышенной кислотности почвы отмечено на хлорофиллы *a* и *b*, что свидетельствует о перспективе использования показателей при диагностике кислотоустойчивости генотипов ярового ячменя.

Выделены генотипы Tallon и Triumph, у которых не изменялась урожайность и увеличивалось содержание хлорофиллов *a* и *b* в условиях повышенной кислотности почвы. Эти генотипы будут использованы в селекции ярового ячменя для создания материала с повышенной кислотоустойчивостью.

4.2.1 Лабораторный скрининг генотипов ячменя в условиях алюмокислого стресса

Накопление подвижных форм алюминия в дерново-подзолистых кислых почвах Кировской области является одним из наиболее существенных отрицательных факторов, влияющих на рост и развитие растений и урожайность. Под воздействием алюминия снижается количество корневых волосков, длина корня, падает всасывающая способность корневой системы, снижается снабжение растений водой и элементами питания (Кононенко Н. В. и др., 2019). В ранее проведенных полевых исследованиях на кислой ($\text{pH} = 3,5 \dots 3,8$) дерново-подзолистой почве с содержанием алюминия (15,7...26,7 мг на 100 г почвы) отмечено, что под влиянием ионов алюминия урожайность снижалась в 4,1 раза (Родина Н. А., 2006). Однако оценка на устойчивость к алюминию в полевых условиях часто затруднена из-за изменчивости кислотности почвы и длительности работы (Асеева Т. А. и др., 2021). Для ускорения селекционного процесса используют лабораторные физиологические методы, которые позволяют на ранних стадиях развития растений оценить генотипы по устойчивости к стрессовым факторам.

Первые признаки влияния алюмокислого стресса проявляются при прорастании зерна. В результате лабораторных исследований установлено, что всхожесть семян в среднем по опыту в контрольном варианте составляла 89,8% ($CV = 10,8\%$), в опытном – 88,9% ($CV = 12,2\%$). В рамках селекции выявленные различия между контрольным и опытным вариантами отражают разную степень устойчивости генотипов к стрессовому фактору. На стрессовом фоне у генотипов Новичок, Родник Прикамья и Форвард наблюдали повышение всхожести семян на 1,3-4,7%, у генотипа Triumph не отмечено изменений параметра, остальные генотипы снизили всхожесть семян на 0,7-4,7% (Рисунок 7). Аналогичная реакция некоторых изучаемых сортов ячменя отмечалась в работе Л. Л. Караваева с соавторами (2017).

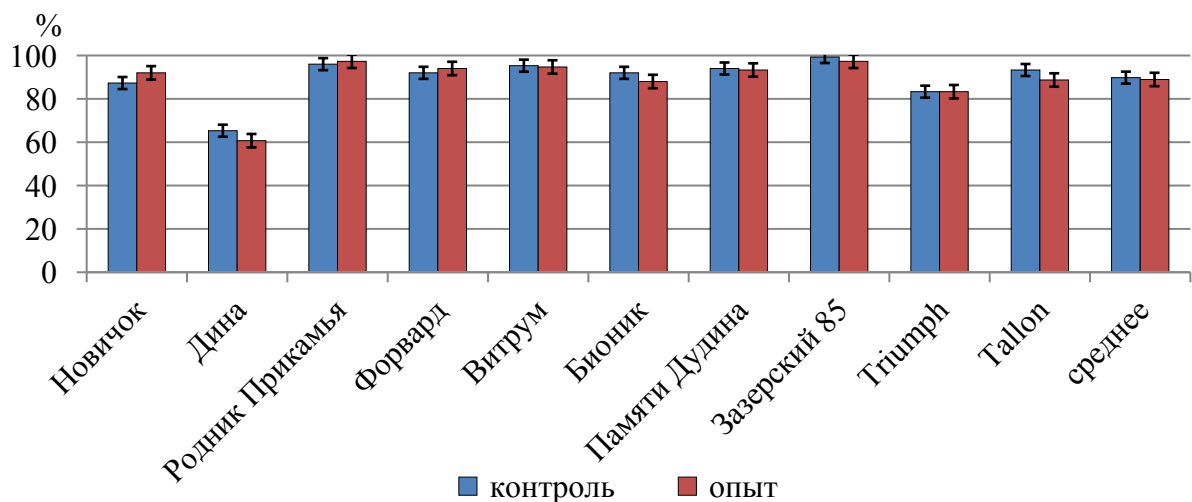


Рисунок 7 – Влияние алюмокислого стресса на всхожесть генотипов ячменя

Наличие алюмокислого стресса оказало влияние на **длину корней**. В среднем по генотипам в опытном варианте она достоверно снизилась на 0,9 см. Наличие стресса увеличило различия между генотипами по длине 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), однако в опытном варианте длина корней была достоверно ниже контроля. Минимальная

длина корней отмечена у генотипа Дина (11,6 и 10,1 см). Большинство генотипов снизили длину корней, за исключением Бионик и Tallon, у которых при наличии стрессового фактора исследуемый параметр возрос. Увеличение параметра у выделенных генотипов свидетельствует об их большей устойчивости к алюмокислотному стрессу.

Наличие алюмокислого стресса не оказало существенного влияния на **количество корней** (5,8 шт. – контроль, 5,9 шт. – опытный вариант).

Из всех исследуемых показателей алюмокислотный стресс больше всего повлиял на **длину ростка** ($CV = 14,1\%$), в контроле коэффициент вариации составлял 9,8%. В опытном варианте максимальной длиной ростка характеризовался генотип Памяти Дудина (13,2 см). Большинство генотипов, за исключением Зазерский 85 и Дина, увеличили длину ростка в опытном варианте (Таблица 28).

Таблица 28 – 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 $P > 0,95$

В условиях эдафического стресса устойчивые растения направляют относительно большие количества ассимилятов в корни для поддержания их физиологической активности. Уровень потенциальной алюмоустойчивости

оценивали по величине индекса длины корней (ИДК), рассчитываемому как соотношение средней длины корней в опыте к их средней длине в контроле.

Изученные генотипы различались по устойчивости к повышенному содержанию ионов водорода и алюминия. Значения параметра ИДК у всех генотипов находились в пределах 88,1-107,4%, что характеризует их, как устойчивые. У генотипов Бионик и Tallon был отмечен стимулирующий эффект при наличии стресса на рост корневой системы (ИДК > 100%). В дополнение к ИДК использовали параметр «относительная RSR» – отношение сухих масс корней и ростков, который дает информацию о перераспределении пластических веществ между надземными и подземными органами в ответ на стрессовое воздействие (Лисицын Е. М., 2018).

По параметру «относительная RSR» выделились генотипы Новичок, Зазерский 85 и Tallon, которые формировали развитую корневую систему в условиях стресса (Таблица 29).

Таблица 29 – Изменчивость параметров проростков ячменя под действием алюмокислого 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

Генотипы Зазерский 85 и Новичок в опытном варианте обладали наибольшей массой сухих корней с растения, которая превышала массу ростка. У генотипа Tallon на стрессовом фоне больше снизилась масса ростка, чем

корней. Генотипы Форвард, Витрум и Памяти Дудина в опытном варианте снижали массу корней и увеличивали массу ростков, что послужило снижению параметра «относительная RSR».

Использование сразу нескольких параметров для оценки уровня алюмоустойчивости может в полной мере отразить общую реакцию растений. Суммарный индекс устойчивости ИДК и RSR позволяет комплексно оценить разные механизмы алюмоустойчивости генотипов. Чем ниже суммарный индекс устойчивости, тем устойчивее генотип к абиотическому стрессу (Лисицын Е. М., 2018). Как устойчивые выделились генотипы Бионик (7,7%), Tallon (11,3%) и Новичок (11,4%). В селекционной работе комбинация этих параметров поможет на ранних этапах выявить перспективный стрессоустойчивый материал для скрещивания, а выделенные генотипы могут служить в качестве исходного селекционного материала.

Таким образом, установлено, что повышенная кислотность почвы существенно влияет на урожайность и морфофизиологические параметры генотипов ячменя. Наличие стрессового фактора достоверно снижало всхожесть семян и длину корней, при этом длина ростка увеличивалась. Стресс значимо влиял на содержание хлорофиллов *a* и *b* во флаговых листьях (в фазу цветения). Показатели содержания хлорофиллов *a* и *b* перспективны для диагностики кислотоустойчивости генотипов при создании селекционного материала.

Выявлены источники, перспективные для селекции устойчивых к повышенной кислотности почв генотипов ячменя, которые на стрессовом фоне: – сохранили урожайность, продуктивность колоса и растения и увеличили некоторые элементы структуры: Tallon – массу 1000 зерен, содержание хлорофиллов *a* и *b* во флаговых листьях, длину корней и ростка, Triumph – массу 1000 зерен и содержание хлорофиллов *a* и *b*, Новичок – всхожесть и длину ростка, Бионик – длину корней и ростка. Кроме этого генотипы Бионик, Tallon и Новичок выделились как устойчивые к стрессу по показателю суммарного индекса устойчивости; сохранили урожайность, продуктивность колоса

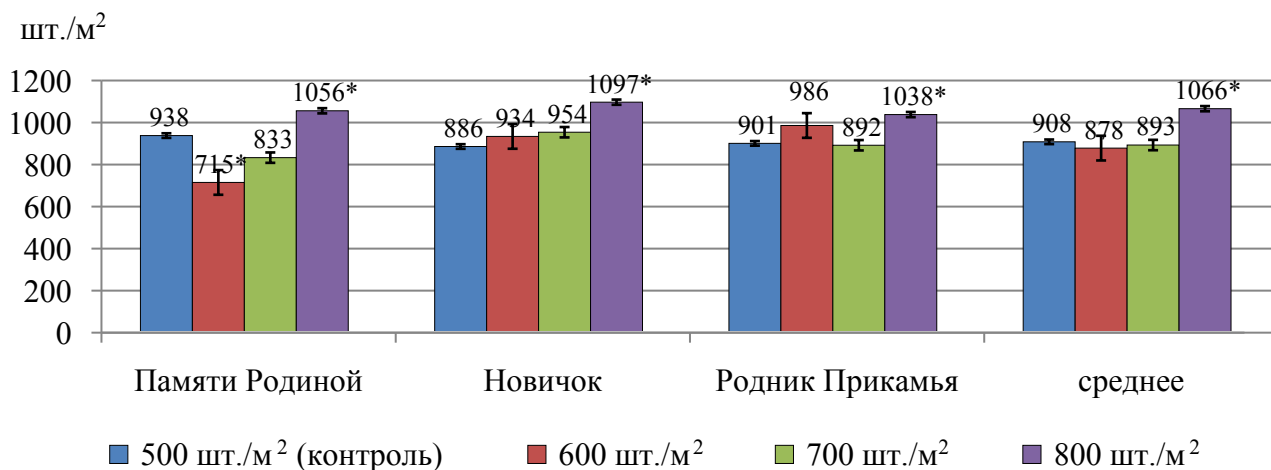
и растения и некоторые показатели ее структуры: Родник Прикамья – длину колоса, массу 1000 зерен; Дина – длину и озерненность колоса; Витрум – плотность колоса и массу 1000 зерен.

Генотипы Новичок, Tallon, Triumph и Бионик рекомендуется использовать в качестве исходного материала для селекции при создании алюмоустойчивых генотипов ячменя.

4.3 Генотипическая изменчивость ячменя при варьирующей густоте стеблестоя

Для объективной оценки исходного материала для селекции в условиях загущенного посева целесообразно применять метод моделирования стрессовых агроэкологических условий. Поскольку погодные условия в период прорастания семян и формирования стеблестоя нестабильны, предлагается густоту стеблестоя имитировать путем варьирования нормы высева, то есть искусственного создания плотности стеблестоя. Данный подход позволит имитировать эффект повышенной густоты стеблестоя, стандартизировать условия эксперимента не зависимо от колебания погодных условий и выявить генотипы, обладающие повышенной адаптивностью к конкуренции за ресурсы в плотных агрофитоценозах.

Густота стеблестоя формируется за счет сочетания трех основных факторов: количество всходов, общая кустистость растений и их сохранность. В результате формирования густоты стеблестоя с применением различных норм высева семян установлено, что максимальная густота стеблестоя у всех сортов отмечена при высеве 800 зерен на 1 м² и в среднем составляла 1066 шт./м², при высеве 500 зерен на 1 м² (контроль) – 908 шт./м² (Рисунок 8).



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

Рисунок 8 – Густота стеблестоя сортов ячменя, 2021-2023 гг.

Селекционная оценка сортов ячменя позволила установить, что сорт Памяти Родины при высеве 600 шт./м² резко снижал густоту стеблестоя на 223 шт./м², у сортов Новичок и Родник Прикамья изменения густоты стеблестоя при увеличении количества высеянных семян до 700 шт./м² были незначительны, только при высеве 800 шт./м² отмечено повышение густоты стеблестоя на 137-221 шт./м².

Различия между сортами по данному показателю, обусловлены различиями по морфологическим, физиологическим и продукционным признакам сортов, которые варьируют в зависимости от условий вегетации.

Урожайность. Исследования выявили достоверное воздействие густоты стеблестоя на урожайность сортов Памяти Родины, Новичок и Родник Прикамья. В отдельные годы существенное влияние на урожайность оказали все изучаемые факторы и их взаимодействие: «сорт» до 52,0% (2021 г.), «густота стеблестоя» до 22,1% (2021 г.), взаимодействие факторов до 38,4% (2023 г.). В среднем за годы исследований наибольший вклад в формирование урожайности оказали «сорт» – 42,3% и взаимодействие факторов – 40,7% (Приложение Н).

В среднем во всех вариантах опыта в 2021 г. отмечено достоверное увеличение урожайности на 54-97 г/м² относительно контроля. Максимальная

урожайность была отмечена при густоте стеблестоя, созданной при высеве 700 шт./м² (307 г/м²), минимальная – в контроле (210 г/м²) (Таблица 30).

Таблица 30 – Генотипическая вариабельность ячменя в зависимости от густоты стеблестоя

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Урожайность, г/м ²			
	2021 г. (фактор С)	2022 г.	2023 г.	среднее
Памяти Родиной (фактор А)				
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 $P > 0,95$

Анализ урожайности 2021 г. позволил оценить селекционную ценность сортов по различному характеру реакции на стресс. Так увеличение стеблестоя у сортов Новичок и Родник Прикамья достоверно повышало урожайность относительно контроля на 53-121 и 110-150 г/м² соответственно. Максимальная урожайность у сорта Родник Прикамья отмечена в варианте 800 шт./м², у сорта Новичок – 700 шт./м². У сорта Памяти Родиной отмечено достоверное

снижение урожайности на 39 г/м² относительно контроля только при густоте стеблестоя обеспеченной высевом 800 шт./м².

В исследованиях (Гребенщикова В. Ю. и др., 2019; Ашаева О. В., Коблова И. С., 2020) отмечено, что густота стеблестоя в сочетании с погодными условиями оказывают существенное влияние на урожайность ячменя. В наших исследованиях в наиболее благоприятных по уровню влаго- и теплообеспеченности условиях 2022 г. не было выявлено достоверного влияния изучаемых факторов на урожайность, которая в зависимости от варианта опыта, варьировала от 504-522 г/м² и достоверно превышала среднюю величину урожая, отмеченную в 2021 г. на 49%, в 2023 г. на 7%. У сортов Памяти Родины и Новичок максимальная урожайность отмечена в варианте 500 шт./м², у сорта Родник Прикамья – 800 шт./м².

Результаты дисперсионного анализа показали, что в 2023 г. урожайность на 28,4% зависела от фактора «сорт» и на 38,4% от взаимодействия факторов «сорт» и «густота стеблестоя». Каждое увеличение нормы высева относительно контроля увеличивало урожайность сорта Родник Прикамья на 78-168 г/м² и снижало урожайность сорта Новичок на 84-126 г/м². У сорта Памяти Родины при высеве 600 и 800 шт./м² было отмечено достоверное снижение урожайности на 105 и 168 г/м² относительно контроля.

В литературе существуют различные мнения о влиянии густоты стеблестоя на урожайность ячменя. В исследованиях ученых как загущенный (Мариков Е. И., 2013), так и изреженный посев (Ториков В. Е. и др., 2012) отрицательно сказывались на урожайности. В опытах других исследователей не выявлено различий по урожайности между вариантами с различной густотой стеблестоя (Берсенева Я. В., 2016; Митрофанов Ю. И. и др., 2018; Дериглазова Г. М., 2023). В среднем за годы наших исследований селекционная оценка изученных сортов показала различия в реакции на увеличение густоты стеблестоя. При увеличении высева до 600 и 800 шт./м² у сорта Памяти Родины было отмечено достоверное снижение урожайности на 38 и 78 г/м² относительно контрольного варианта – 409 г/м². Повышение густоты стеблестоя повышало

урожайность у сорта Родник Прикамья от 388 (контроль) до 501 г/м² (800 шт./м²) и не повлияло на урожайность у сорта Новичок (Таблица 30).

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), а сорт Родник Прикамья – полупрямостоячей (3 балла). Данное различие в габитусе растений определяет формирование различной архитектуры посевов. Это, в свою очередь, оказывает существенное влияние на фитоклимат в агроценозе, в частности, на режим освещенности внутри агроценоза, что в значительной степени влияет на все изучаемые показатели. Полученные данные подтверждают предположение, что посевы сортов с прямостоячей формой куста, имеют более благоприятные условия для вегетации растений и меньше страдают от увеличения густоты стеблестоя.

Наряду с урожайностью важной характеристикой является коэффициент размножения (отношение массы собранных семян к массе высеванных). В работах Б. Ж. Джангабаева с коллегами (2016) и Л. А. Радченко с соавторами (2021) показано, что с увеличением нормы высева коэффициент размножения снижается. Аналогичные результаты получены и в наших исследованиях, с увеличением густоты стеблестоя во всех вариантах опыта отмечали снижение коэффициента размножения с 13,4 до 8,2% (Таблица 31).

Таблица 31 – Влияние условий выращивания на коэффициент размножения семян ячменя, 2021-2023 гг.

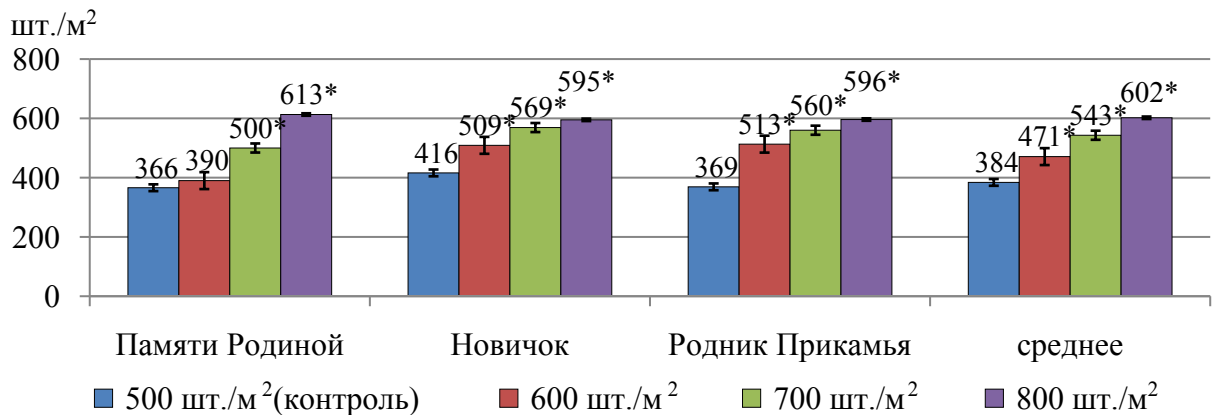
Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Коэффициент размножения, %			
	Памяти Родины (фактор А)	Новичок	Родник Прикамья	среднее
500 (контроль)	12,5	14,5	13,1	13,4
600	9,9	11,7	10,7	10,8*
700	8,3	10,0	9,5	9,3*
800	7,4	8,8	8,5	8,2*
НСР ₀₅	—	—	—	0,7

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

Полевая всхожесть и сохранность растений к уборке. Количество всходов обусловлено количеством высеванных семян, однако в исследованиях ряда авторов (Агеева А. А., 2013; Артемьев А. А., Ибрагимова Г. Н, 2024) выявлена обратная зависимость: повышение нормы высева приводит к снижению полевой всхожести семян.

Результаты дисперсионного анализа показали, что существенное влияние на количество всходов оказал фактор «густота стеблестоя» – 42,3%, вклад биологических особенностей сортов составлял 18,8% (Приложение Н).

Максимальное *количество всходов* в опыте отмечено при высеве 800 шт./м² – 602 шт./м² (Рисунок 9).



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

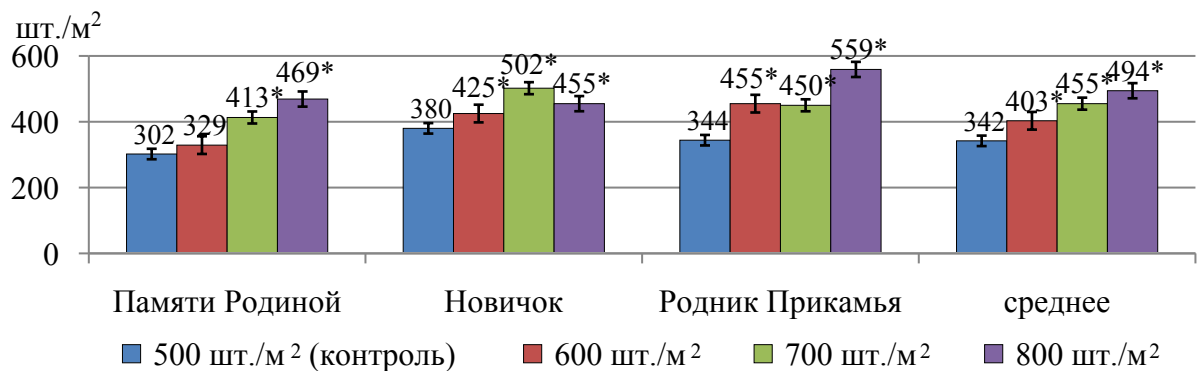
Рисунок 9 – Количество всходов сортов ячменя, 2021-2023 гг.

У сорта Новичок количество всходов достоверно возросло при каждом увеличении нормы высева относительно контроля от 416 до 595 шт./м², при этом полевая всхожесть снижалась относительно контроля (83%) на 2 и 9% при высеве 700 и 800 шт./м², при высеве 600 шт./м² возросла на 2% (Приложение П). У сорта Родник Прикамья количество всходов повышалось относительно контроля (369 шт./м²) в каждом варианте опыта на 93-179 шт./м², полевая всхожесть также возрастала на 1-12%. У сорта Памяти Родины количество всходов достоверно увеличилось относительно контроля (366 шт./м²) при высеве 700 и 800 шт./м² до 500 и 613 шт./м² соответственно, од-

нако полевая всхожесть семян при высеве 600 и 700 шт./м² снижалась с 73% до 65 и 71% соответственно, при высеве 800 шт./м² – увеличилась до 77%.

Увеличение количества высеваемых семян в среднем по опыту привело к снижению полевой всхожести семян ($r = -0,543$) и достоверному увеличению количества всходов ($r = 0,904$). В исследованиях В. Н. Золотарева и Н. И. Переправо (2017) показано, что снижение полевой всхожести с увеличением количества высеянных семян является общей закономерностью для зерновых культур.

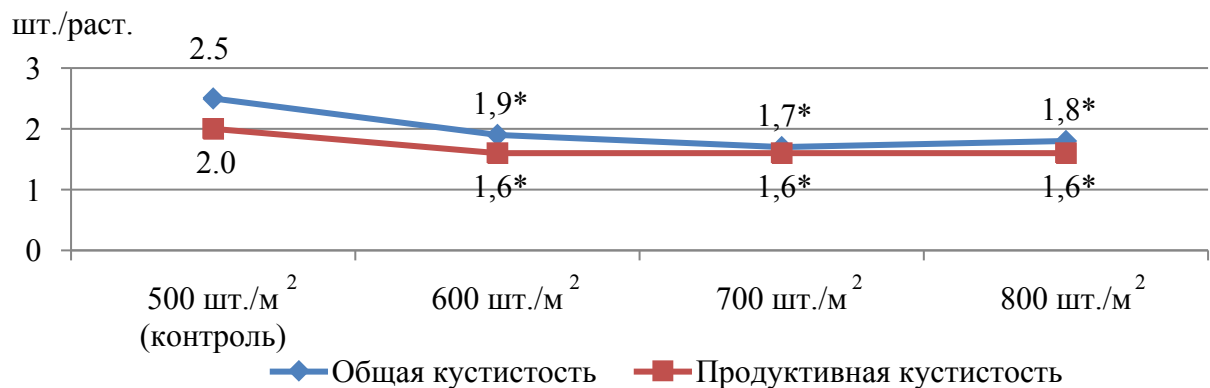
Количество растений, сохранившихся к уборке, обусловлено количеством высеянных и взошедших семян. Отмечено снижение параметра «сохранность растений к уборке» при повышении густоты стеблестоя. В среднем по опыту у сортов Новичок и Родник Прикамья с каждым увеличением количества высеянных семян достоверно возрастало количество растений, сохранившихся к уборке относительно контроля. Так, сорт Новичок имел максимальное значение при высеве 700 шт./м² – 502 шт./м², Родник Прикамья при высеве 800 шт./м² – 559 шт./м². У сорта Памяти Родины увеличение высева до 700 и 800 шт./м² достоверно повышало количество растений, сохранившихся к уборке на 111 и 167 шт./м² относительно контроля – 302 шт./м², при высеве 600 шт./м² не отмечено достоверного влияния густоты стеблестоя на количество растений, сохранившихся к уборке (Рисунок 10).



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

Рисунок 10 – Густота стояния растений ячменя перед уборкой, 2021-2023 гг.

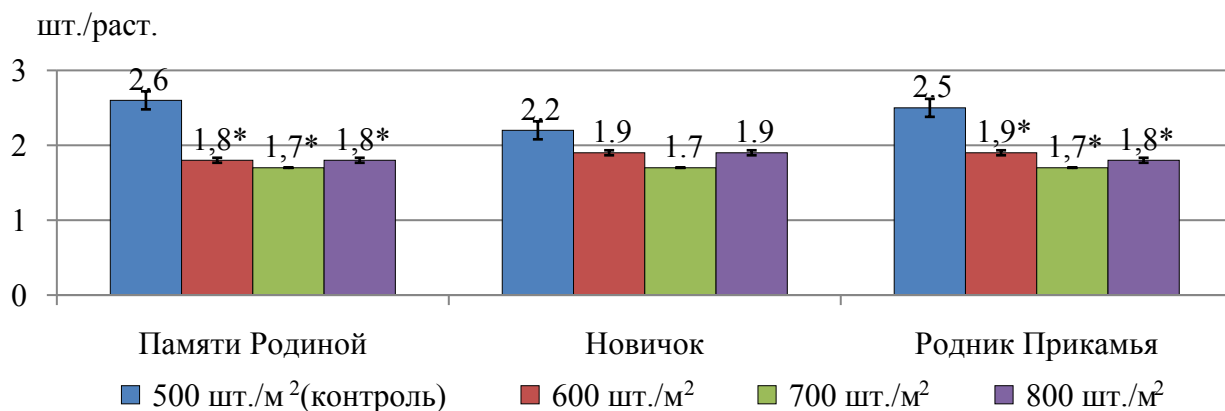
Общая и продуктивная кустистость. В создании агроценозов с заданной густотой стеблестоя важную роль играет кушение растений, как один из основных элементов механизма саморегуляции посевов. По результатам проведенных многолетних исследований варианты с контрольной густотой посева сформировали высокую общую и продуктивную кустистость. Загущение посева во всех вариантах опыта в значительной мере оказывало отрицательное влияние на формирование общей и продуктивной кустистости. Вклад фактора «густота стеблестоя» в формирование общей кустистости составил 55,1%, продуктивной – 45,0% (Приложение Н). Повышение нормы высева в среднем по опыту достоверно снижало *общую кустистость* растений ячменя от 2,5 до 1,7 шт./раст., *продуктивную кустистость* от 2,0 до 1,6 шт./раст. (Рисунок 11).



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

Рисунок 11 – Варьирование общей и продуктивной кустистости сортов ячменя, 2021-2023 гг.

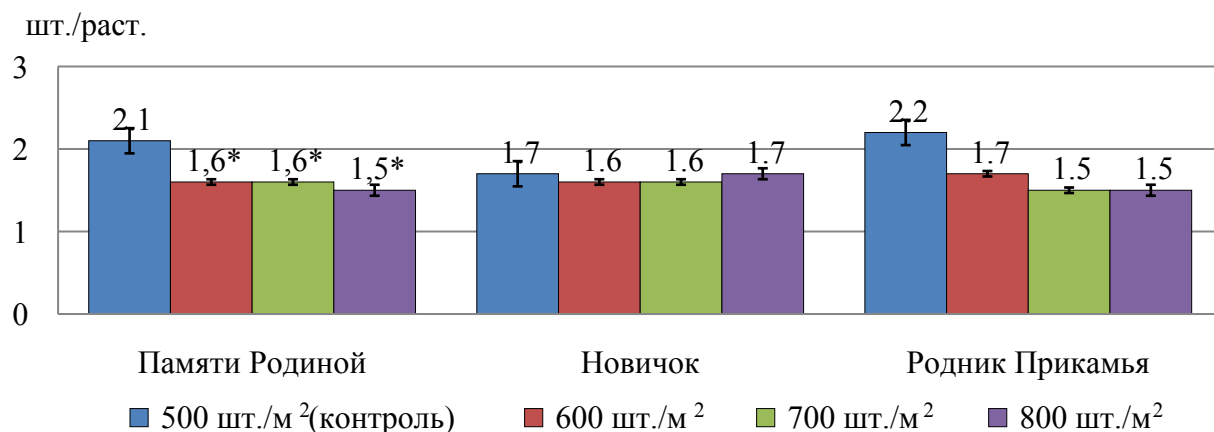
Сорта Памяти Родины и Родник Прикамья характеризовались высокими значениями общей кустистости в контрольном варианте (2,6 и 2,5 шт./раст. соответственно). Однако при загущении оба сорта снижали общую кустистость растений во всех вариантах опыта. У сорта Новичок не отмечено достоверного снижения общей кустистости при изменении условий вегетации (Рисунок 12).



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

Рисунок 12 – Общая кустистость сортов ячменя при различных условиях выращивания, 2021-2023 гг.

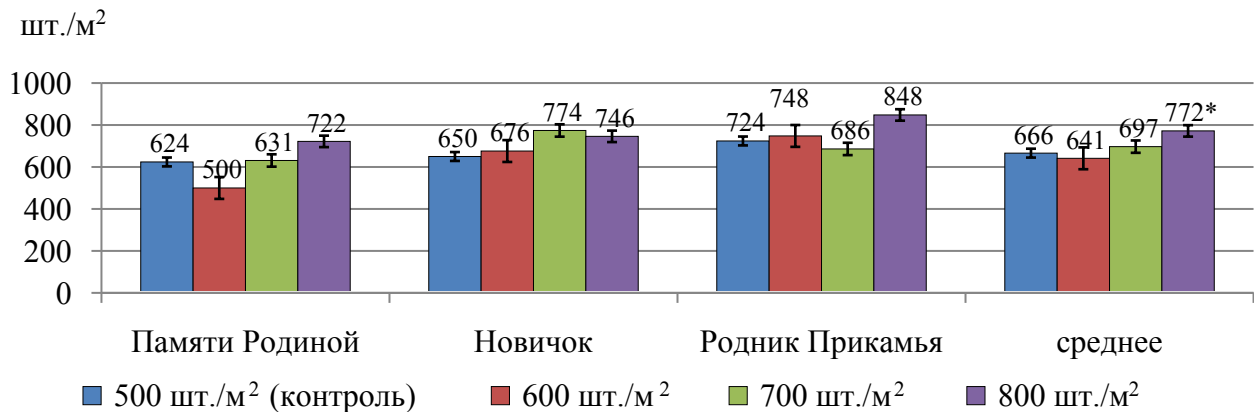
Анализ параметра «продуктивная кустистость» показал, что у сорта Памяти Родины при загущении посева отмечено достоверное снижение параметра относительно контроля. У сортов Новичок и Родник Прикамья не отмечено снижения продуктивной кустистости в вариантах опыта. В среднем наибольшее значение исследуемого параметра (2,2 шт./раст.) отмечено у сорта Родник Прикамья при высеве 500 шт./м² (Рисунок 13).



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

Рисунок 13 – Продуктивная кустистость сортов ячменя при различных условиях выращивания, 2021-2023 гг.

Густота продуктивного стеблестоя. Главным показателем в структуре урожайности, определяющим величину урожая, является густота продуктивного стеблестоя. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа выявили влияние факторов «сорт» и «густота стеблестоя» на продуктивный стеблестой (Приложение Н). В результате исследований определено, что при загущении посева густота продуктивного стеблестоя в среднем по опыту возросла от 666 до 772 стеблей на 1 м², достоверное увеличение относительно контроля отмечено только при высеве 800 шт./м². Сорта Новичок и Родник Прикамья формировали более плотный стеблестой, превышая сорт Памяти Родины во всех вариантах опыта (Рисунок 14).



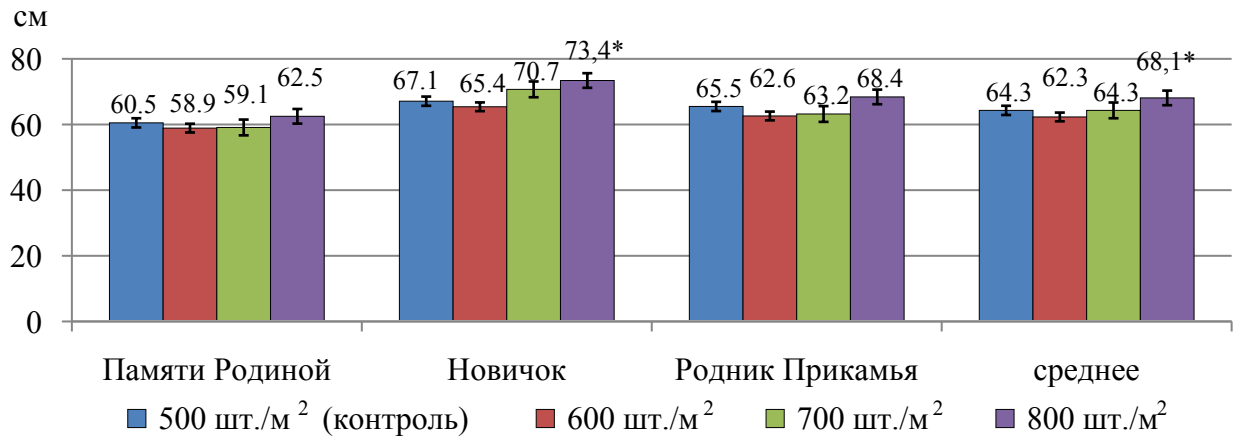
Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$

Рисунок 14 – Густота продуктивного стеблестоя сортов ячменя, 2021-2023 гг.

При высеве 500 шт./м² сорт Родник Прикамья имел наибольшее количество продуктивных стеблей – 724 шт./м². Загущение посева до 600 шт./м² увеличивало количество продуктивных стеблей у сортов Новичок (на 26 шт./м²) и Родник Прикамья (на 24 шт./м²). При 700 шт./м² наибольшее значение параметра отмечено у сорта Новичок – 774 шт./м², а при высеве 800 шт./м² у сорта Родник Прикамья – 848 шт./м² (максимальное значение по опыту).

Высота растений. Высота растений является биологической особенностью сорта и определяется длиной междоузлий. В наших исследованиях уста-

новлена зависимость высоты растений ячменя от густоты стеблестоя. В среднем по сортам увеличение количества высеваемых семян с 500 до 700 шт./м² не повлияло на высоту растений, дальнейшее увеличение до 800 шт./м² достоверно повысило параметр на 3,8 см относительно контроля (Рисунок 15).



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

Рисунок 15 – Высота растений ячменя при различной густоте стеблестоя, 2021-2023 гг.

Отмечены и сортовые различия по изменению высоты растений, так у сорта Новичок отмечалась наибольшая высота растений, а также отсутствие изменений высоты растений при увеличении высева до 700 шт./м². При дальнейшем загущении до 800 шт./м² высота достоверно превышала контрольный вариант на 6,3 см (Приложение Р). У сортов Памяти Родины и Родник Прикамья увеличение густоты посева не вызывало достоверных изменений высоты растений.

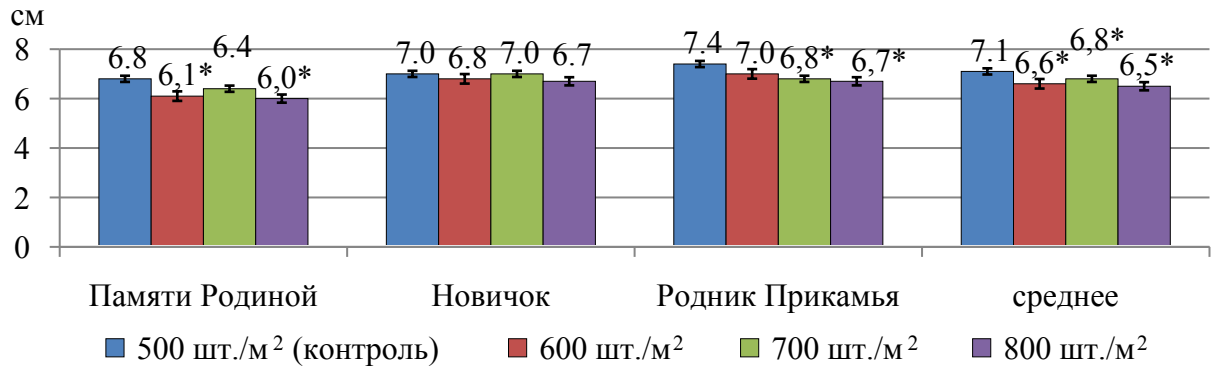
Устойчивость к полеганию. При исследовании ярового ячменя многими авторами установлена отрицательная корреляция между высотой растений и устойчивостью к полеганию (Левакова О. В., 2018; Тетяников Н. В., Боме Н. А., 2020). В среднем за годы исследований нами также выявлена достоверная отрицательная корреляция между высотой растений и устойчивостью к полеганию ($r = -0,838$). В варианте 600 шт./м² отмечалась наименьшая высота

растений (62,3 см) и, следовательно, наибольшая устойчивость к полеганию (4,7 балла). Увеличение высоты растений при высеве 800 шт./м² сопровождалось снижением устойчивости к полеганию до 3,8 балла.

Параметры колоса. *Длина колоса* является биометрическим показателем, определяется количеством колосков и зерен в колосе, от которых зависит масса зерна с колоса и растения и в итоге урожайность (Карпухин М. Ю. и др., 2023). Ряд авторов отмечают, что загущение посева приводит к снижению элементов структуры продуктивности, таких как длина колоса и количество зерен (Герасимов С. А., Ляхова Н. Е., 2015; Горбунова Е. В. и др., 2021).

Результаты дисперсионного анализа показали, что доля влияния на развитие параметров колоса фактора «сорт» составила 35,2%, «густота стеблестоя» – 26,9% (Приложение Н). В проведенном опыте установлена достоверная отрицательная корреляция между густотой стеблестоя и длиной колоса ($r = -0,502$). Так наибольшая длина колоса сформировалась при высеве 500 шт./м² – 7,1 см, при загущении параметр достоверно снижался на 0,3-0,6 см относительно контроля и самые короткие колосья – 6,5 см были сформированы при высеве 800 шт./м².

В результате селекционной оценки установлена неоднородная реакция сортов по длине колоса в ответ на изменение условий вегетации. Так у сорта Памяти Родины длина колоса уменьшалась на 0,7-0,8 см относительно контроля при высеве 600 и 800 шт./м², у сорта Родник Прикамья – на 0,6-0,4 см при высеве 700 и 800 шт./м², Новичок – не изменял длину колоса (Рисунок 16; Приложение С).



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

Рисунок 16 – Длина колоса при различной густоте стеблестоя, 2021-2023 гг.

Плотность колоса зависит от числа колосков в колосе, входит в число важных сортовых признаков. Значения изучаемого параметра в большей степени зависели от сорта – 36,5%. Плотность колоса в среднем по опыту у сортов Памяти Родины и Новичок была на 1,1 и 0,9 шт. выше, чем у сорта Родник Прикамья ($НСР_{05} = 0,4$ шт.) (Приложение С).

Изучение **количества колосков и зерен в колосе** показало, что данные параметры взаимосвязаны ($r = 0,924$). При загущении посева достоверно снизилось количество колосков на 1,0-1,2 шт. во всех вариантах опыта. Количество зерен при высеве 600 и 800 шт./м² снизилось на 0,9 и 1,0 шт. относительно контроля, при высеве 700 шт./м² изменение количества зерен в колосе находилось в пределах ошибки опыта. Наиболее озерненный колос отмечен у сорта Новичок (Приложение С).

Масса зерна с колоса является комплексным хозяйственно-ценным признаком, с помощью которого можно установить биологическую урожайность сорта (Дорошенко Э. С., Филиппов Е. Г., 2023). В исследованиях Н. А. Мамировой с коллегами (2016) указано, что масса зерна с одного колоса находится в прямой связи с количеством колосков и зерен, массой 1000 зерен.

В среднем по опыту максимальная масса зерна с колоса была отмечена у сорта Памяти Родины при высеве 500 шт./м² – 0,90 г, минимальная у сорта

Родник Прикамья при высеве 800 шт./м² – 0,79 г. Масса зерна с колоса в среднем по вариантам изменялась от 0,81 г (600 шт./м²) до 0,87 г (500 шт./м²). В исследованиях масса зерна с главного колоса достоверно коррелировала с количеством колосков ($r = 0,709$) и зерен ($r = 0,811$).

Масса зерна с растения является сложным признаком, уровень которого зависит от ее элементов – продуктивной кустистости, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен (Солонечный П. Н., 2018).

В исследованиях масса зерна с растения тесно коррелировала с общей и продуктивной кустистостью ($r = 0,948$; $0,960$), продуктивностью колоса ($r = 0,880$). Загущение посева достоверно снизило массу зерна с растения во всех вариантах опыта относительно контроля на 0,36-0,41 г (Таблица 32; Приложение У).

Таблица 32 – Влияние густоты стеблестоя на хозяйственно-ценные признаки ячменя, 2021-2023 гг.

Количество высеянных семян, шт./м ²	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
500 (контроль)	1,48	44,0
600	1,12*	43,3
700	1,09*	42,2*
800	1,07*	43,1*
НСР ₀₅	0,19	0,8

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

Устойчивость растений к экстремальным условиям определяется стабильностью или увеличением **массы 1000 зерен**. При формировании крупного зерна большое значение имеют наследственные особенности сорта (Батакова О. В., Корелина В. А., 2017). Исследованиями установлено, что доминирующее влияние на данный признак оказывал фактор «сорт» (35,4%), вклад фактора «густота стеблестоя» в формирование показателя составлял 19,1%, взаимодействие – 18,1% (Приложение Н).

Масса 1000 зерен достоверно снизилась только при высеве 700 и 800 шт./м² на 0,9-1,8 г относительно контрольного варианта (44,0 г) (Табли-

ца 32). Анализ данных показал, что сорта различались по этому показателю от 41,8 г (Новичок) до 44,0 г (Памяти Родины). Показателем эффективности селекционной работы служит неодинаковая реакция сортов на изменение условий вегетации. Так для сорта Памяти Родины загущение посева отрицательно сказалось на массе 1000 зерен, отмечено достоверное снижение с 45,7 г (контроль) до 42,2 г (700 шт./м²) (Приложение Т). У сорта Новичок отмечено достоверное снижение массы 1000 зерен на 1,4-1,8 г относительно контроля (42,7 г) при высеве 600 и 700 шт./м². Сорт Родник Прикамья достоверно увеличил массу 1000 зерен с 43,5 г (контроль) до 44,8 г при высеве 600 шт./м².

Зависимость урожайности от структурных элементов. Использование корреляционных связей в селекции позволяет изучить взаимодействие различных признаков с урожайностью зерна. Изменение густоты стеблестоя повлияло на связь между урожайностью и ее структурой. Во всех вариантах опыта, за исключением варианта 700 шт./м², отмечалась высокая и средняя корреляция между урожайностью и всеми элементами структуры. При высеве 700 шт./м² только два показателя оказывали достоверное влияние на урожайность. 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 ($r = 0,578 \dots 0,800$) (Таблица 33).

Таблица 33 – Связь урожайности с изучаемыми параметрами на фоне стресса (коэффициент корреляции), 2021-2023 гг.

Параметры	Количество высеянных 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 $P > 0,95$

Полученные данные согласуются с исследованиями В. И. Блохина с соавторами (2023) и Т. Г. Голова с коллегами (2022), которые также отмечали высокую корреляционную связь урожайности с массой 1000 зерен.

Результаты наших исследований свидетельствуют о целесообразности использования для диагностики устойчивости сортов к загущению параметры «сохранность растений к уборке», «масса 1000 зерен» и вариант с нормой высева 700 шт./м².

Качество зерна. Крупность зерна, содержание крахмала и белка в зерне зависят от условий питания растений, их влагообеспеченности, которые в свою очередь, зависят от количества растений на единицу площади, регулируемой количеством высеянных семян (Хоконова М. Б., Устова М. А., 2014). Известно, что содержание белка в зерне наследственно обусловлено, в тоже время отмечается повышение содержания белка в жаркие годы (Родина Н. А., 2003). В исследованиях О. В. Ашаевой и И. С. Коблова (2020) отмечено, что увеличение нормы высева способствовало повышению содержания белка в зерне ячменя. В то же время с увеличением содержания белка уменьшалось содержание крахмала в зерне.

В ходе исследования выявлено, что содержание крахмала и сырого белка в зерне ячменя в значительной мере зависело от погодных условий (35,4 и 39,1% соответственно), остальные факторы и их взаимодействие в разной степени также оказывали влияние на изучаемые показатели (Таблица 34).

Таблица 34 – Вклад факторов в изменчивость качества зерна ячменя, %

Признак	Сорт (фактор А)	Количество высеянных семян (фактор В)	Год (фактор С)	Взаимодействие факторов				Неучтенные факторы
				А×В	А×С	В×С	А×В×С	
Белок	13,5*	6,7*	35,4*	4,7*	22,2*	8,2*	6,8*	2,5
Крахмал	7,5*	4,7*	39,1*	6,0*	4,6*	7,4*	18,5*	12,2

Примечание: * – значения статистически значимы при $P > 0,95$

В 2021 г. содержание *белка* в зерне было на 19% больше, чем в 2022 г., и на 11%, чем в 2023 г. Высокая температура и низкая влажность воздуха в

период налива зерна в 2021 г. оказали стимулирующее действие на накопление белка в зерне. В 2021 г. содержание крахмала в зерне было на 10,5 и 10,1% меньше, чем в 2022 и 2023 гг. В период налива и созревания ячменя в 2022-2023 гг. исследований растения были лучше обеспечены влагой, и содержание крахмала было больше, чем в 2021 г. (Приложение У).

В среднем за годы исследований содержание сырого белка в зерне варьировало от 8,4% (у сорта Памяти Родины при высеве 800 шт./м²) до 10,6% (у сорта Новичок при высеве 500 шт./м²). При контрольной норме высева – 500 шт./м² значения достигали 10,1%, а при высеве 700 и 800 шт./м² значения были достоверно ниже контроля на 0,4 и 0,7%.

При повышении густоты стеблестоя у сорта Новичок во всех вариантах опыта достоверно снизилось содержание сырого белка в зерне на 0,4-0,5% относительно контрольного значения (10,6%), у сорта Родник Прикамья на 0,5-0,7% (10,3%). У сорта Памяти Родины при высеве 600 шт./м² значение показателя достоверно возросло на 0,5% относительно контроля (9,4%), увеличение густоты посева до 800 шт./м² достоверно снижало содержания сырого белка на 1,0%.

В среднем за годы исследований *содержание крахмала* в зерне варьировало от 36,5% (Новичок, 600 шт./м²) до 38,2% (Памяти Родины, 500 шт./м²). Однако в изученных вариантах отмечено неоднозначное влияние густоты стеблестоя на содержание крахмала в зерне. Установлено, что при высеве 500 шт./м² содержание крахмала в зерне составило 37,4%, а при высеве 600 шт./м² значение достоверно снизилось на 0,6%. При дальнейшем увеличении густоты стеблестоя содержание крахмала в зерне, относительно контроля, изменялось незначительно.

Среди изучаемых сортов у Памяти Родины отмечено достоверное снижение содержания крахмала при загущении до 700 шт./м². У сорта Родник Прикамья при высеве 700 шт./м² отмечено достоверное увеличение параметра на 1,1%. У сорта Новичок не отмечено изменений параметра при загущении.

Важнейшим показателем зерна, характеризующим физико-технологические свойства, является *натура зерна*, которая определяет его плотность, полновесность и выравненность. Чем выше натура, тем ценнее зерно для переработки.

В среднем за годы исследований натура зерна варьировала от 681,0 г/л (Памяти Родины, 700 шт./м²) до 713,9 г/л (Родник Прикамья, 800 шт./м²). При высеве 500 шт./м² значения достигали 695,3 г/л, а при высеве 600 и 800 шт./м² значения достоверно возрастали на 5,1 и 8,3 г/л, при высеве 700 шт./м² не отмечено достоверных изменений параметра (Приложение Т). В исследованиях А. П. Еряшева с соавторами (2018) получены аналогичные результаты, а в опытах Р. М. Бадреева (2008) при увеличении нормы высева натура снижалась, по их мнению, при загущении посева сокращается площадь питания растений и формируется более щуплое зерно.

При оценке *выравненности* зерна установлено, что в среднем за годы исследований основная масса схода зерен ячменя с двух смежных сит с размером отверстий 2,8 и 2,5 мм варьировала от 85,5% (Памяти Родины, 700 шт./м²) до 93,7% (Памяти Родины, 600 шт./м²) (Приложение Т). Увеличение густоты стеблестоя неоднозначно влияло на выравненность зерна. Так при высеве 500 шт./м² значения достигали 92,6%, однако при 700 и 800 шт./м² значения снизились на 2,4 и 1,4% относительно контрольного варианта. При высеве 600 шт./м² не отмечено изменения выравненности зерна. Полученные данные согласуются с результатами исследований В. П. Владимирова с коллегами (2019), в опытах которых с увеличением нормы высева выравненность зерна снижалась.

Среди сортов достоверное снижение выравненности на 7,2% отмечено только у сорта Памяти Родины при высеве 700 шт./м². В среднем по опыту наиболее выравненное зерно было сформировано у сорта Родник Прикамья. У сортов Памяти Родины и Родник Прикамья максимальные значения отмечены при высеве 600 шт./м² – 93,7 и 93,6% соответственно, у сорта Новичок при высеве 700 шт./м² – 92,4%. Минимальные значения отмечены при высеве

800 шт./м² у сорта Новичок (90,6%) и Родник Прикамья (91,3%), у сорта Памяти Родиной – при 700 шт./м² (84,6%).

Устойчивость к болезням. Устойчивость к неспецифическим инфекциям определяется не столько генотипом растения, сколько средовыми факторами. В условиях нестабильности климатических факторов (водный, тепловой режимы) в период вегетации растений ячменя ухудшается фитосанитарная ситуация в агроценозах, снижается урожай. Благоприятными условиями для развития пыльной головки являются: высокая влажность воздуха и теплая нежаркая погода в период цветения ячменя (Серебренников Ю. И., 2019).

Заражение растений пыльной головней происходит в период цветения. Пыльная головня остается на зерне и проявляется на следующий год в посевах ячменя после выколашивания (Шешегова Т. К. и др., 2017). На заражение растений и развитие пыльной головки оказывают влияние условия внешней среды. Повышенная влажность в период цветения обуславливают большую зараженность посевов, так как в такую погоду цветение растянуто (Кекало А. Ю. и др., 2017).

В период проведения исследований погодные условия различались по годам. Межфазный период «колошение – созревание» в 2020 и 2021 гг., по сравнению с 2022 г. исследований, характеризовался теплой погодой, что способствовало его более быстрому прохождению. Период для заражения зерновок пыльной головней был более короткий и процент поражения в 2021 и 2022 гг. был низким, не превышал 1,0% (2021 г. – до 0,2%; 2022 г. – до 0,8%). В 2022 г. межфазный период «колошение – созревание» характеризовался более низкими температурами и избыточным увлажнением (ГТК = 1,89), что увеличило его продолжительность. Это способствовало более сильному проявлению болезни на фоне естественного заражения в 2023 г., процент поражения пыльной головней составлял 1,6-1,9%.

Статистическая обработка экспериментальных данных показала различный вклад изучаемых факторов в изменчивость степени поражения сетчатой и темно-бурой пятнистостями в полевых условиях. Так, на развитие сетчатой и

темно-бурой пятнистостей листьев наибольшее влияние оказывало совокупное действие факторов «сорт» и «густота стеблестоя», доля которых составила 38,5% и 29,5% соответственно. Существенный вклад в изменчивость степени поражения темно-бурой пятнистостью оказывал также фактор «сорт» – 29,0%. Влияние густоты стеблестоя и условий года на степень поражения гельминтоспориозными болезнями листьев статистически незначимо.

В контрастных погодных условиях сорта Новичок и Родник Прикамья проявили устойчивость к сетчатой и темно-бурой пятнистостям при развитии болезней не более 10,2%, а Памяти Родины – среднюю устойчивость к сетчатой пятнистости при степени поражения до 20,9% (Таблица 35).

Таблица 35 – Степень поражения сортов ячменя гельминтоспориозными пятнистостями листьев при изменении условий выращивания, 2021-2023 гг.

Количество высеянных се- мян, шт./м ² (фактор В)	Темно-бурая пятнистость, %				Сетчатая пятнистость, %			
	Памяти Родиной (фактор А)	Новичок	Родник Прикамья	сред- нее	Памяти Родиной	Новичок	Родник Прикамья	сред- нее
500 (контроль)	12,5	7,9	8,6	9,7	17,2	6,7	9,6	11,2
600	12,8	9,7*	9,8*	10,8*	17,9	9,5*	10,0	12,5*
700	11,6	8,8	9,4	9,9	15,3*	7,4	10,1	10,9
800	13,3	9,4*	10,2*	11,0*	20,9*	8,2*	9,7	12,9*
НСР ₀₅	А-0,5 В-0,5 А×В-0,9				А-0,6 В-0,3 А×В-1,0			

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

Характер проявления корневых гнилей в значительной мере определяли факторы «сорт» и «густота стеблестоя». По мере загущения посевов у всех сортов происходило нарастание распространения и развития корневых гнилей. Это может быть обусловлено ослаблением растений при недостатке питательных веществ в загущенном стеблестое (Таблица 36).

Таблица 36 – Характер проявления корневых гнилей у взрослых растений ячменя при различных условиях выращивания, 2021-2023 гг.

Количество высеянных се- мян, шт./м ² (фактор В)	Учет в фазу созревания							
	поражение, %				развитие болезни, %			
	Памяти Родиной (фактор А)	Новичок	Родник Прикамья	сред- нее	Памяти Родиной	Новичок	Родник Прикамья	сред- нее
500 (контроль)	40,2	13,9	18,1	24,1	14,8	4,6	5,8	8,4
600	48,0	21,5	33,6*	34,4*	19,5*	5,4	9,0*	11,3*
700	38,0	14,6	45,8*	32,8	13,0	3,4	15,6*	10,7*
800	46,2	29,2*	39,4*	38,3*	15,4	8,0*	11,3*	11,6*
НСР ₀₅	А-4,9 В-5,7 А×В-9,9				А-1,0 В-1,1 А×В-2,0			

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

При этом обнаружено, что у сортов Родник Прикамья и Новичок при увеличении плотности стеблестоя развитие болезни возрастало. В варианте с нормой высева 800 шт./м² поражение и развитие болезни увеличилось практически в два раза по сравнению с 500 шт./м². У сорта Родник Прикамья степень поражения возрастала с 18,1 до 39,4%, развитие болезни с 5,8 до 11,3%, у сорта Новичок с 13,9 до 29,2%, и с 4,6 до 8,0% соответственно. У сорта Памяти Родиной отмечено достоверное увеличение только развития болезни относительно контроля при высеве 600 шт./м².

В связи с тем, что условия вегетации значительно влияют на проявление устойчивости к инфекциям, в лабораторных условиях проводили оценку инфицированности проростков, выращенных из семян каждого года урожая. В результате дисперсионного анализа выявлено, что наибольшее влияние на поражение (31,8%) и развитие (43,2%) болезни оказал фактор «сорт». Наибольшая инфицированность выявлена у сорта Памяти Родиной (в среднем 59,5% – поражение и 25,6% – развитие болезни). Результаты исследований зафиксированы в статье Т. К. Шешеговой и др. (2024).

У всех сортов инфицированность проростков снижалась по мере увеличения нормы высева. Можно полагать, что зерновки, сформировавшиеся при дополнительном кущении на боковых побегах при высеве 500 шт./м², были более щуплыми и инфицированными. Наиболее высокая инфицированность

проростков была у семян, сформировавшихся в 2021 г. (58,5-71,8% – поражение и 23,7-35,0% – развитие болезни), что может свидетельствовать о значительной семенной инфекции (Приложение Ф).

Таким образом, на степень поражения пыльной головней наибольшее влияние оказывали погодные условия. На развитие сетчатой и темно-бурой пятнистости наибольшее влияние оказывало совокупное действие факторов «сорт» и «густота стеблестоя». При загущении посева отмечено ухудшение фитосанитарной ситуации: степень поражения листьев гельминтоспориозными пятнистостями возрастала, степень поражения и уровень развития корневых гнилей так же увеличивались. Инфицированность проростков корневыми гнилями, выращенных из семян каждого варианта опыта, в большей степени зависела от сортовых особенностей.

Содержание пигментов во флаговых и подфлаговых листьях. Фотосинтетическая деятельность растений является одним из важных процессов, определяющих урожайность. Фотосинтез определяет доступность световой энергии и эффективность преобразования энергии света в биомассу. Увеличение урожайности ярового ячменя может быть обеспечено путем повышения интенсивности фотосинтеза, что достигается созданием оптимальных условий освещения и питания.

В наших исследованиях статистически значимые различия по количеству хлорофилла *a* и *b* во флаговых и подфлаговых листьях не отмечены, так же как и доли хлорофилла в ССК во флаговых листьях, однако в то же время отмечена средняя корреляционная связь между урожайностью и изучаемыми параметрами ($r = 0,532...0,684$). Увеличение густоты стеблестоя повлияло только на содержание хлорофиллов в ССК подфлаговых листьев. При максимальном загущении параметр снизился на 2,76% относительно контроля. В ходе селекционной оценки выявлена неоднородная реакция изученных сортов на повышение густоты стеблестоя. Так у сорта Памяти Родины отмечено достоверное снижение процента хлорофилла в ССК относительно контроля. У сорта Родник Прикамья снижение содержания хлорофилла в ССК отмечено при

высеве 800 шт./м², однако при высеве 600 шт./м² отмечена достоверная прибавка параметра относительно контроля на 2,84%. У сорта Новичок не отмечено значимых различий по содержанию хлорофилла в ССК (Приложение X).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что оптимальная густота стеблестоя для формирования важных селекционных признаков: длинного колоса, большого количества колосков и высокой массы зерна с растения обеспечивается путем высева 500 шт./м²; крупного зерна – 500-600 шт./м². При густоте стеблестоя, сформированной путем высева 800 шт./м² в среднем по сортам: полевая всхожесть снижалась с 77 % до 75 %, сохранность растений к уборке уменьшалась с 89 до 82 %, сокращалась общая (с 2,5 до 1,7 шт./раст.) и продуктивная (с 2,0 до 1,6 шт./раст.) кустистость, возрастала высота растений, но при этом снижалась устойчивость к полеганию на 0,6 балла, уменьшалась длина колоса, число колосков в колосе и масса зерна с растения, снижалось содержание белка и крахмала в зерне, выравнивалась зерно. Наблюдалось увеличение натурности зерна при высеве 600 и 800 шт./м². При загущении посева отмечено ухудшение фитосанитарной ситуации: у всех сортов возрастала степень поражения листьев гельминтоспориозными пятнистостями и степень поражения и уровень развития корневых гнилей. Анализ пигментов во флаговых и подфлаговых листьях показал, что с увеличением густоты стеблестоя снижалось содержание хлорофилла в ССК подфлаговых листьев.

Оценка сортов ячменя по важным хозяйственно-ценным признакам показала, что сорт Памяти Родины проявил себя как восприимчивый к загущению: снижал урожайность при 600-800 шт./м², полевую всхожесть (65 % при 600 шт./м²), сохранность растений при 800 шт./м² (снижение на 6%), показатели колоса и массы зерна во всех вариантах. При этом сорт охранял стабильность высоты и устойчивости к полеганию. Новичок – толерантен к загущению: не выявлено значимого влияния густоты на урожайность и кустистость; не снижал количество колосков и зерен даже при ухудшении условий вегета-

ции; сохранял массу 1000 зерен при высева 800 шт./м². Недостаток – при 700 и 800 шт./м² возрастала высота и снижалась устойчивость к полеганию. Родник Прикамья – наиболее адаптивный сорт: имел высокую полевую всхожесть (86% при 600 шт./м²); сохранность растений (94% при 800 шт./м²); увеличивал урожайность с ростом густоты стеблестоя, сохранял массу 1000 зерен и даже повышал ее при 600 шт./м², стресс не влиял на высоту растений. Сорт перспективен для селекции на устойчивость к стрессовым факторам.

Оценка сортов при увеличении густоты стеблестоя подтверждает возможность создания конкурентоспособных сортов методом селекции. Для массовой оценки при выявлении конкурентоспособности исходного материала возможно применение метода искусственного регулирования стеблестоя используя норму высева 700 шт./м².

Для получения высококачественных семян необходим дифференцированный подход к нормам высева с учетом особенностей сорта: Памяти Родной – избегать загущенных посевов; Новичок – допустимы разные нормы высева; Родник Прикамья – рекомендован для высокоплотных посевов.

4.3.1 Оценка конкурентоспособности образцов генетической коллекции ячменя при варьирующей густоте стеблестоя

Генотипические особенности коллекционных образцов ячменя различного эколого-географического происхождения в большей степени проявляются в их реакции на стрессовые условия произрастания. Изучение изменчивости признаков, выявление и систематизация генетического разнообразия коллекционного материала по морфологическим и биологическим признакам позволяет выявить возможности генофонда и подобрать исходный материал для селекции стрессоустойчивых образцов.

Проведенными исследованиями было установлено, что увеличение густоты стеблестоя влияет на структурные показатели растений ярового ячменя, снижает продуктивность и качество зерна (Панихина Л. В., 2022). В ре-

зультате оценки влияния густоты стеблестоя на хозяйственно-ценные признаки коллекционных образцов установлено, что вклад биологических особенностей изучаемых образцов составил 30,0%, доля влияния фактора «густота стеблестоя» всего 26,3%, взаимодействие факторов – 31,8% (Приложение Ц).

В среднем по опыту наибольшая урожайность сформировалась в опытном варианте (700 шт./м²) – 383 г/м², урожайность в контроле составляла 330 г/м². 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 ($r = 0,837$ – 500 шт./м²; $r = 0,720$ – 700 шт./м²).

Оценка селекционных образцов в ответ на увеличение густоты стеблестоя позволила установить достоверное повышение урожайности при увеличении густоты стеблестоя (Таблица 37).

Таблица 37 – 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 выделившиеся по признаку образцы

Так у образцов: Салаир, Radegast, П-23/08, Л-223/15, Clearwater, Л-236/10, AC Alberte, Л-209/11, Jenuta, CDC Gainer, Соборный и Сигнал, прибавка составляла 108-243 г/м². Следует отметить, что достоверное снижение урожайности на 109-210 г/м² было отмечено у образцов, отличавшихся высокой урожайностью в контроле, таких как Памяти Дудина, Витрум и Дина. Стабильной урожайностью выделялся Бионик.

Результаты дисперсионного анализа показали существенное влияние фактора «густота стеблестоя» на **количество всходов** – 73,4% и **сохранность растений к уборке** – 58,5%, вклад биологических особенностей изученных образцов составлял 8,6 и 19,3% соответственно (Приложение Ц).

В среднем по опыту наибольшее количество всходов – 636 шт./м² и сохранившихся к уборке растений – 589 шт./м² отмечено при густоте стеблестоя, сформированной при высеве 700 шт./м², разница с контролем по количеству всходов составила 197 растений, по количеству сохранившихся растений – 171 шт./м². Соответственно, значения полевой всхожести возрастали с 88 до 91%, сохранность растений к уборке не снижалась и составляла 84% (Приложение Ч).

При проведении дисперсионного анализа отмечено значимое влияние фактора «образец» и взаимодействие факторов на **высоту растений** изученных образцов. Отмечены образцы, у которых при увеличении густоты стеблестоя достоверно возрастала высота растений на 9,3-14,3 см: Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-236/10, AC Alberte, Л-209/11 и Clearwater. У образцов Памяти Дудина, Triumph и Алей значения высоты растений при увеличении густоты стеблестоя достоверно снижались относительно контроля на 10,7-11,9 см.

В среднем за годы исследований выявлена достоверная обратная зависимость между высотой растений и **устойчивостью к полеганию**. Коэффициент корреляции в контрольном варианте составлял $r = -0,446$, в опытном – $r = -0,663$. У большинства образцов, увеличивших высоту растений при загу-

щении посева, снижалась устойчивость к полеганию на 1,0-3,0 балла, за исключением образца Radegast, у которого как при контрольной густоте посева, так и при 700 шт./м² устойчивость к полеганию составляла 9,0 баллов. При достоверном снижении высоты растений с увеличением густоты посева у образцов Алей и Памяти Дудина устойчивость к полеганию возросла на 1-2 балла. Только у образца Triumph при загущении снизилась высота растений и устойчивость к полеганию на 1 балл (Таблица 38).

Таблица 38 – Влияние густоты стеблестоя на высоту растений и устойчивость к полеганию образцов ячменя, 2022-2024 гг.

Образец* (фактор А)	Высота растений, см		Устойчивость к полеганию, балл	
	500 шт./м ² (фактор В)	700 шт./м ²	500 шт./м ²	700 шт./м ²
Алей	69,9	59,2*	8	9
Салаир	62,9	72,7*	9	7
Radegast	51,1	60,4*	9	9
Л-223/15	53,9	68,2*	9	8
Л-236/10	60,4	71,9*	9	8
АС Alberte	55,8	64,5*	9	8
Л-209/11	51,9	67,9*	9	6
Clearwater	61,9	71,3*	9	7
Памяти Дудина	73,3	61,4*	6	8
Triumph	62,0	50,3*	9	8
Среднее по фактору В	61,3	62,8	8	8
НСР ₀₅	А-5,5 В – А×В-7,8		–	

Примечание * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$;
 ** – в таблице представлены выделившиеся по признакам образцы

При рассмотрении влияния густоты стеблестоя на **общую и продуктивную кустистость** отмечены различия между вариантами опыта. Вклад взаимодействия факторов «образец» и «густота стеблестоя» на общую и продуктивную кустистость составлял 34,2 и 35,4% (Приложение Ц).

В среднем по опыту, при повышении густоты стеблестоя, показатели общей и продуктивной кустистости не изменялись. Однако выделились образцы Фобос, который достоверно увеличил показатель общей кустистости на 0,5 шт./раст., и Radegast, который при увеличении густоты стеблестоя сфор-

мировал достоверно большую (1,9 шт./раст.), по сравнению с контролем (1,5 шт./раст.), продуктивную кустистость. Селекционную ценность представляют образцы Л-243/15 и Л-168/16, которые не снизили кустистость при изменении условий вегетации, вызванных увеличением густоты стеблестоя (Таблица 39).

Таблица 39 – Влияние стрессовых условий на кустистость коллекционных образцов ячменя, 2022-2024 гг.

Образец** (фактор А)	Общая кустистость, шт./раст.		Продуктивная кустистость, шт./раст.	
	500 шт./м ² (фактор В)	700 шт./м ²	500 шт./м ²	700 шт./м ²
Фобос	1,6	2,1*	1,3	1,4
Radegast	1,8	2,2	1,5	1,9*
Л-223/15	1,6	1,7	1,3	1,6
Л-168/16	1,7	1,7	1,5	1,5
среднее по фактору В	1,8	1,7	1,6	1,5
НСР ₀₅	А-0,3 В-0,1 А×В-0,4		А-0,2 В-0,1 А×В-0,3	

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$; ** – в таблице представлены выделившиеся по признаку образцы

В результате исследований определено, что на *густоту продуктивного стеблестоя* в большей степени повлияло количество высеванных семян – 29,4% (Приложение Ц). Значения показателей в среднем по опыту возрастали от 651 (500 шт./м²) до 843 колосьев на 1 м² (700 шт./м²). Установлено достоверное увеличение продуктивного стеблестоя в опытном варианте у образцов: Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-236/10, Л-209/11, Jenuta, CDC Gainer, Л-168/16, Сигнал, Бионик, Зазерский 85 и Tallon, прибавка составляла 232-444 шт./м².

Длина колоса у изучаемых образцов в большей степени зависела от фактора «образец» – 40,5%, вклад стрессового фактора составил 19,5%, взаимодействия факторов – 28,6% (Приложение Ц). Анализ данных показал, что с увеличением густоты стеблестоя длина колоса достоверно снижалась от 6,0 до 5,8 см. Определена изменчивость образцов при увеличении густоты стеблестоя по селекционному признаку – длине колоса. Практический интерес

представляют образцы: Ворсинский 2, Radegast, Л-236/10 и Jenuta длина колоса у которых изменялась в пределах статистической ошибки опыта (Таблица 40).

Таблица 40 – Влияние стрессовых условий на параметры колоса коллекционных образцов, 2022-2024 гг.

Образец** (фактор А)	Параметры колоса					
	длина, см		количество колосков, шт.		количество зерен, шт.	
	500 шт./м ² (фактор В)	700 шт./м ²	500 шт./м ²	700 шт./м ²	500 шт./м ²	700 шт./м ²
Ворсинский 2	5,9	5,9	19,1	18,5	16,8	16,2
Radegast	6,1	6,8	17,9	19,9	15,2	18,6*
Л-236/10	6,2	5,5	19,6	17,0*	17,3	16,0
Л-209/11	4,9	5,5	15,0	16,9	12,9	15,3*
Jenuta	5,9	6,6	17,0	18,1	15,9	16,4
Л-103/16	6,4	6,1	21,0	20,5	18,7	18,7
Среднее по фактору В	6,0	5,8*	18,7	18,0	16,5	16,0*
НСР ₀₅	А-0,4 В-0,1 А×В-0,7		А-1,4 В -0,4 А×В-2,0		А-1,5 В-0,4 А×В-2,1	

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$; ** – в таблице представлены выделившиеся по признаку образцы

Плотность колоса в большей степени зависела от фактора «образец» – 62,5%. Увеличение густоты стеблестоя снизило плотность колоса с 13,8 до 13,6 шт. (НСР₀₅ = 0,1 шт.) в среднем по всем образцам.

Самые высокие показатели **количества колосков и озерненности колоса** были получены в вариантах с контрольной густотой стеблестоя. Увеличение густоты стеблестоя достоверно снижало количество колосков с 18,7 до 18,0 шт. и зерен с 16,5 до 16,0 шт.

Количество колосков и зерен достоверно возросло при увеличении густоты стеблестоя у образца Radegast. Также перспективу для использования в качестве исходного материала для селекции адаптивных к изменению условий вегетации сортов имеет образец Л-209/11, который увеличил количество зерен, и Л-103/16 у которого не отмечено изменения количества зерен при увеличении густоты стеблестоя.

В исследованиях установлено достоверное влияние взаимодействия факторов «образец» и «густота стеблестоя» на *массу зерна с колоса*. Хозяйственная оценка селекционных образцов показала различную степень их устойчивости к стрессу. Для образцов Л-209/11 и Radegast, загущенный стеблестой положительно сказался на массе зерна с колоса, показатель достоверно возростал на 0,14-0,24 г. Загущение посева не повлияло на продуктивность колоса у образцов Jenuta и Сигнал.

Высокая *масса зерна с растения* сформировалась в опытном варианте у образцов Салаир, Radegast, Л-223/15, Л-209/11 Clearwater, Л-103/16 и Jenuta. Значения достоверно превышали показатели контроля на 0,26-0,68 г (Таблица 41).

Таблица 41 – Влияние стрессовых условий на продуктивность колоса и растения ячменя, 2022-2024 гг.

Образец** (фактор А)	Масса зерна, г				Масса 1000 зерен, г	
	с колоса		с растения			
	500 шт./м ² (фактор В)	700 шт./м ²	500 шт./м ²	700 шт./м ²	500 шт./м ²	700 шт./м ²
Л-243/15	0,71	0,67	1,17	0,90	44,8	46,3*
Л-102/17	0,66	0,73	0,98	0,86	48,7	50,2*
Салаир	0,75	0,82	1,06	1,38*	44,0	46,6*
Radegast	0,63	0,87*	0,99	1,67*	45,0	47,7*
Л-223/15	0,61	0,71	0,76	1,04*	43,8	47,8*
Л-236/10	0,77	0,71	0,84	0,84	43,1	43,6*
АС Alberte	0,53	0,58	0,73	0,79	39,2	40,6*
Л-209/11	0,55	0,69*	0,70	1,01*	43,0	45,4*
Clearwater	0,68	0,74	0,95	1,21*	36,0	38,2*
Jenuta	0,74	0,74	1,13	1,41*	46,4	46,4
CDC Gainer	0,71	0,73	1,10	1,31	34,1	36,5*
Соборный	0,66	0,60	1,08	1,16	41,3	42,2*
Фобос	0,66	0,63	0,80	0,82	39,0	40,3*
Л-103/16	0,79	0,84	1,08	1,43*	40,9	41,9*
Lawina	0,66	0,63	0,93	0,78	40,0	41,4*
Сигнал	0,76	0,76	1,02	1,19	45,0	44,1
Triumph	0,75	0,58	1,23	0,69	45,2	46,7*
Среднее по фактору В	0,70	0,70	1,04	1,00	43,6	43,8
НСР ₀₅	А-0,08 В – А×В-0,11		А-0,18 В-0,05 А×В-0,25		А-0,4 В – А×В-0,3	

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,95$;
** – в таблице представлены выделившиеся по признаку образцы

Не изменялась продуктивность растений у образца Л-236/10 при загущении стеблестоя.

Доминирующее влияние на *массу 1000 зерен* оказали биологические особенности изученных образцов – 66,7%, взаимодействия факторов «образец» и «густота стеблестоя» составило 21,9% (Приложение Ц).

У образцов Л-243/15, Л-102/17, Салаир, Radegast, Л-223/15, AC Alberte, Л-209/11, Clearwater, CDC Gainer, Соборный, Фобос, Л-103/16, Lawina и Triumph при увеличении густоты стеблестоя достоверно возросла масса 1000 зерен на 0,9-4,0 г. Практический интерес также представляет образец Jenuta, не снизивший параметр при изменении условий вегетации.

В результате проведенных исследований выделены устойчивые к увеличению густоты стеблестоя ценные селекционные образцы ячменя, сочетающие 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.

Образцы генетической коллекции используются в селекционном процессе в качестве компонентов скрещивания при селекции устойчивых к стрессу высокоурожайных сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона (Приложение Ш).

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: Род-

ник 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 ($r = 0,650...0,818$) и масса 1000 зерен ($r = 0,578...0,800$). 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 при-

знаков 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абугалиева А. И. Биохимическое тестирование качества зерна как основа классификации генетических ресурсов ячменя // Биотехнология. Теория и практика. – 2005. – №. 1. – С. 14-25.
2. Агеева А. А. Влияние нормы посева семян на всхожесть многорядного ячменя на черноземе типичном // Актуальные проблемы агропромышленного производства: материалы Международной научно-практической конференции. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2013. – С. 17-19.
3. Агроклиматическая характеристика Кировской области. – Киров: ЗГМО, 1970. – 36 с.
4. Адамень Ф. Ф., Демчук А. В. Фотосинтетическая деятельность ячменя различных биологических групп в зависимости от сроков посева и норм высева // Аграрная наука. – 2019. – Т. 1. – С. 57-60.
5. Амунова О. С., Лисицын Е. М. Влияние различных условий увлажнения на пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8. – №. 3 (28). – С. 19-25.
6. Анисимова Н. Н., Ионова Е. В. Элементы структуры урожая сортов ярового ячменя и их вклад в формирование высокой продуктивности растений // Зерновое хозяйство России. – 2016. – №. 5. – С. 40-43.
7. Анопченко Л. Ю., Якутин Л. Ю. Учение о биосфере и ландшафтоведение: учеб. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – 144 с.
8. Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Кузнецов Д. А. Технология семеноводства ярового ячменя: научн.-практ рек. – Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2022. – 72 с.
9. Артемьев А. А., Ибрагимова Г. Н. Продуктивность ярового ячменя при разных нормах высева и дозах удобрений // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25. – №. 4. – С. 571–582.
10. Асеева Т. А., Шукюров С. А. Влияние агроклиматических ресурсов Среднего Приамурья на потенциальную продуктивность и экологическую

устойчивость сельскохозяйственных культур (сортов) // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №. 6. – С. 14-16.

11. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Трифунтова И. Б. Оценка зерновых яровых культур на устойчивость к алюминию // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – №. 4. – С. 35-40.

12. Афанасенко О. С. Устойчивость ячменя к гемибiotрофным патогенам / Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб.: ВИР, 2005. – С. 592-609.

13. Афонин Н. М., Золотарев А. Н. Определение оптимальной нормы высева семян ярового ячменя при выращивании в Липецкой области // Наука и Образование. – 2024. – Т. 7. – №. 2. – С. 1-7.

14. Ашаева О. В., Коблова И. С. Урожайность и качество зерна озимого ячменя при разных нормах высева // АгроЭкоИнфо. – 2020. – №. 2 (40). – С. 1-7.

15. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (af) и неосыпаемости семян (def) // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 2(74). – С. 40-44.

16. Банадысев С. А. Возможности снижения ущерба от засухи в картофелеводстве. Часть 1. Влияние засухи на развитие растений и клубней // Наше сельское хозяйство. – 2022. – №. 17. – С. 41-47.

17. Батакова О. Б., Корелина В. А. Влияние элементов структуры урожая на продуктивность ячменя ярового (*Hordeum vulgare* L.) в условиях крайнего севера РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2017. – Т. 178. – №. 3. – С. 50-58.

18. Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Тулякова М. В. Изучение состояния фотосинтетического аппарата овса в селекции на устойчивость к эдафическому стрессу // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – №. 3 (23). – С. 43-50.

19. Батехин В. М., Дегтярев А. Н., Баранов А. В. Забытые полезные крупы из ячменя // Вестник военной академии материально-технического обеспечения. – 2021. – №. 3. – С. 83-89.

20. Бегеулов М. Ш. Качество зерна ярового ячменя в севооборотах с длительным применением зелёного удобрения // Доклады ТСХА: Сборник статей. – М.: Грин Эра 2: ООО «Сам полиграфист», 2015. – Т. 2. – Ч. 1. – №. 287. – С. 18-23.
21. Белкина Р. И., Першаков А. Ю., Яковлев В. К. Урожайность и качество зерна пивоваренных сортов ячменя на разных фонах минеральных удобрений //Агропродовольственная политика России. – 2017. – №. 12. – С. 75-78.
22. Белокурова Е. С., Борисова Л. М., Панкина И. А. Методология определения активности прорастания ячменя пивоваренного // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – №. 2. – С. 18-23.
23. Белопухов С. Л., Бугаев П. Д., Ламмас М. Е., Прохоров И. С. Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую активность посевов ячменя // Агрохимический вестник. – 2013. – №. 5. – С. 19-21.
24. Белоус Н. М., Ториков В. Е., Шпилев Н. С., Мельникова О. В. Яровые зерновые культуры: биология и технологии возделывания: монография. – Брянск: ФГОУ ВПО БГСХА, 2010. – 122 с.
25. Беляева А. А., Тер-Саркисова Л. А., Заводилкин Н. Д., Ткаченко О. В. Влияние штаммов ризобактерий на фотосинтетический аппарат ярового ячменя в вегетационном опыте // Вавиловские чтения – 2022: Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов: Амирит, 2022. – С. 251-253.
26. Берсенева Я. В. Урожайность ячменя сорта Багрец в зависимости от сроков посева и норм высева в условиях Среднего Урала // Современные проблемы земледелия Зауралья и пути их научно обоснованного решения: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Курганского НИИСХ и 100-летию Шадринского опытного поля. – Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2014. – С. 218-222.

27. Берсенева Я. В. Эффективность различных сроков посева и норм высева ячменя в условиях Среднего Урала // АПК России. – 2016. – Т. 23. – №. 2. – С. 263-267.
28. Бершанский Р. Г., Ерешко А. С., Хронюк В. Б. Озимый ячмень: технология и урожай: монография. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2011. – 108 с.
29. Бехтольд Н. П., Орлова Е. А. Изучение расового состава возбудителя пыльной головни ячменя // Научные исследования для АПК в Сибири и Казахстане: сборник статей. – Барнаул: «Новый формат», 2018. – С. 24-30.
30. Блохин В. И., Сержанов И. М., Ланочкина М. А., Ганиева И. С., Каримов Х. З. Отзывчивость сорта ярового ячменя Камашевский на норму высева // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – №. 5. – С. 39-41.
31. Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С., Ланочкина М. А., Малафеева Ю. В. Засухоустойчивость сортов ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. - 2022. - №. 3 (71). - С. 4-11.
32. Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С., Ланочкина М. А., Малафеева Ю. В., Дюрбин Д. С. Элементы структуры урожая и продуктивность зерна сортов ярового ячменя // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2023. – №. 4 (48). – С. 123-130.
33. Бойко Е. С., Салфетников А. А., Репко Н. В., Назаренко Л. В. Агродеум - новый сорт двурядного озимого ячменя // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №. 104. – С. 1245-1252.
34. Бруй И. Г., Холодинский В. В. Шкала прогноза устойчивости ячменя ярового к полеганию в зависимости от числа побегов на единице площади в начале выхода в трубку культуры // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2022. – №. 58. – С. 128-137.
35. Будакова Э. Д., Ермолаева Г. А., Леонова С. А. Качество ячменя Республики Башкортостан // Пиво и напитки. – 2008. – №. 1. – С. 46-47.

36. Булавин Л. А., Позняк Е. И., Гвоздов А. П., Хилько Н. П. Роль различных факторов в формировании урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя // Земледелие и растениеводство. – 2022. – Т. 1. – №. 4. – С. 3-7.
37. Вавилов П. П., Гриценко В. В., Кузнецов В. С. Практикум по растениеводству. – М.: Колос, 1983. – 352 с.
38. Вавилов Н. И. Теоретические основы селекции. – Москва, 1987. – 511 с.
39. Васильев М. М., Наумов Е. В., Петров О. Ф., Гладышева О. В., Гуреева Е. В., Ушакова Е. Ю., Фомина Т. А., Астахова Н. В., Трунова Т. И., Журавлев Д. Ю., Климова Н. Ф., Ярошенко Т. М., Сальникова Н. Б., Хлопюк М. С. Повышение устойчивости к отрицательным и низким положительным температурам и засухоустойчивости растений зерновых культур после обработки их семян низкотемпературной плазмой // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – №. 2. – С. 26-33.
40. Васин В. Г., Бурунов А. Н., Михалкин Н. Г. Показатели фотосинтеза ячменя и урожайность при комплексном применении удобрений и стимуляторов роста // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – №. 4. – С. 3-9.
41. Верниченко И. В., Осипова Л. В., Быковская И. А., Яковлев П. А. Влияние селена и цинка на засухоустойчивость растений сортов ячменя и их способность нормализовать азотное питание после перенесенной засухи (опыты с 15 N) // Агрохимия. – 2015. – №. 3. – С. 43-55.
42. Викторов Д. П. Малый практикум по физиологии растений. – М.: Высшая школа, 1969. – 120 с.
43. Вильфанд Р. М., Страшная А., Береза О. В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2016. – №. 360. – С. 45-78.
44. Владимиров А. М. Классификация гидрологических засух // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2012. – №. 23. – С. 5-12.

45. Владимиров В. П., Гареев И. Р., Бизянов С. Я. Продуктивность и качество зерна ячменя в зависимости от норм высева и расчетных доз удобрений в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №. 3. – С. 21-26.
46. Владимирский В. К. Засуха - возможный источник чрезвычайной ситуации // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3. – №. 1. – С. 148-157.
47. Волгин В. И., Романенко Л. В., Прохоренко П. Н., Федорова З. Л., Корочкина Е. А. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности: монография. – М.: РАН, 2018. – 260 с.
48. Волкова Е. Н. Отзывчивость сортов пивоваренного ячменя на изменение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой почвы // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник статей Международной научно-практической конференция. – Пенза: РИО ПГСХА, 2020. – С. 264-266.
49. Волкова Е. С., Артемова Е. Н. Разработка технологии безопасных пищевых продуктов повышенной пищевой ценности с использованием ячменной муки // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма: Материалы V Международной студенческой Интернет-конференции. – Орел: ОГУ, 2017. – С. 141-146.
50. Волкова И. Н. Экологическое почвоведение: учеб. пособие. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. - 112 с.
51. Волкова Л. В. Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24. – №. 3. – С. 377-388.
52. Волкова С. Н., Сивак Е. Е. Агротехнологический метод защиты полевых и кормовых культур от вредителей и болезней // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК: материалы II Международной научно-практиче-

ской конференции. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2022. – С. 228-235.

53. Воронина Л. П., Кирюшина А. П., Ксенофонов А. Л., Тимофеева А. В., Голубкина Н. А. Влияние селена на содержание азота в растениях и аминокислотный состав надземных органов ячменя // Агрохимия. – 2018. – №. 9. – С. 20-28.

54. Выборнов А. А., Анисимова Л. В. Разработка технологии ячменной муки улучшенного качества // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: Материалы XIV Международной научно-практической конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 2013. – С. 27-31.

55. Габдукаева Л. З., Сорокина Е. С. Характеристика современного рынка хлебобулочных изделий для функционального питания // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №. 1. – С. 151-154.

56. Галаян А. Г., Лаврухина И. М. Вклад российских ученых в развитие представлений о фотосинтезе // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2020. - №. 2 – С. 60-67.

57. Гамзиков Г. П. Проблемы агрохимии в современном земледелии // Инновации и продовольственная безопасность. – 2013. – №. 1. – С. 88-100.

58. Генкель П. А. Устойчивость растений к засухе и пути ее повышения. - Москва, 1946. - 238 с.

59. Генкель П. А., Гамарголина К. П. О вязкости протоплазмы и жаропрочности вегетативных и генеративных органов у растений // Доклады Академии наук СССР. - 1951. - Т. 76. – №. 4. – С. 587-589.

60. Генкель П. А. Крахмальная проба – как один из методов диагностики засухоустойчивости растений // Доклады Академии наук СССР. - 1952. - Т. 86. - №. 5. - С. 1049-1052.

61. Герасимов С. А., Ляхова Н. Е. Формирование элементов структуры урожая ячменя при увеличении нормы высева в условиях Красноярской лесостепи // СибСкрипт. – 2015. – №. 1-2 (61). – С. 11-15.

62. Гладких А. В., Некрасова Е. В., Рендов Н. А., Мозылева С. И., Стецюк В. В., Хуснутдинов Р. А. Влияние сроков сева, норм высева и уровня химизации на засоренность посевов голозерного ячменя // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 1 (9). – С. 21-25.
63. Глухих М. А. Технологии производства продукции растениеводства в Зауралье и Западной Сибири. Ч. 1: учебное пособие. - М.: Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 264 с.
64. Гойман Э. Инфекционные болезни растений. – М.: Иностранная литература, 1954. – 608 с.
65. Голова Т. Г., Ершова Л. А., Кузьменко С. А. Формирование продуктивности ярового ячменя в стрессовых условиях // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – №. 2 (42). – С. 98-105.
66. Головки Т. К., Родина Н. А., Куренкова С. В., Табаленкова Г. Н. Ячмень на Севере (селекционно-генетические и физиолого-биохимические основы продуктивности). – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 156 с.
67. Горбунова Е. В., Горбунов Р. В., Петриченко А. О., Захаров И. О., Денисова Н. А. Продуктивность озимого ячменя в зависимости от нормы высева в условиях предгорного Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2021. – №. 27 (190). – С. 59-68.
68. Горянин О. И., Пронович Л. В., Джангабаев Б. Ж. Оптимизация норм высева ярового ячменя в Поволжье // Аграрный научный журнал. – 2023. – №. 11. – С. 44-50.
69. Гребенщиков В. Ю., Верхотуров В. В., Копылова В. С. Влияние гидро-термических условий на продуктивность и технологические качества двухрядного ячменя в условиях Иркутской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №. 4 (44). – С. 85-90.
70. Гребенщиков В. Ю., Копылова В. С. Оценка технологических и крупяных качеств зерна районированных сортов ячменя выращенных в условиях Присаянья // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы Меж-

дународной научно-практической конференции. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. – С. 60-68.

71. Гребенщиков В. Ю., Копылова В. С., Верхотуров В. В. Влияние нормы высева и сроков посева на урожайность ячменя в условиях Присяня Иркутской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №. 4 (48). – С. 29-34.

72. Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. – Л., 1976. – 60 с.

73. Гринкевич В. А., Сероклинов Г. В. Разработка технических требований для формирователя температурного профиля для исследования стрессоустойчивости растений // Развитие сельского хозяйства на основе современных научных достижений и интеллектуальных цифровых технологий «Сибирь-агробιοтехнологии» («Сабит-2019»): Международная научно-практическая конференция, посвященная 50-летию со дня создания СО ВАСХНИЛ (СО Россельхозакадемии). – Новосибирск, 2019. – С. 147-149.

74. Грошева Т. Д., Смольков Н. А. Урожайность ярового многорядного ячменя сорта Вакула в условиях Ульяновской области // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ. – Ульяновск: УлГАУ, 2023. – С. 15-19.

75. Грязнов А. А. Ячмень Карабалыкский (корм, крупа, пиво). – Кустанай: Кустанайский печатный двор, 1996. – 446 с.

76. Грязнов А. А. Мука из зерна пигментированного сорта ячменя как компонент кондитерских изделий // Агропродовольственная политика России. – 2015. – №. 6. – С. 51-54.

77. Грязнов А. А. Ячмень голозерный: монография. – Челябинск: ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2019. – 383 с.

78. Губанова В. М., Губанов М. В. Технологические и биохимические характеристики зерна плёчатого и голозёрного ячменя в условиях северного Зауралья // Пермский аграрный вестник. – 2018. – №. 4 (24). – С. 47-52.
79. Гудков С. В., Саримов Р. М., Асташев М. Е., Пищальников Р. Ю., Яныкин Д. В., Симакин А. В., Шкирин А. В., Серов Д. А., Кончечков Е. М., Гусейн-заде Намик Гусейнага оглы, Леднев В. Н., Гришин М. Я., Сдвиженский П. А., Першин С. М., Бункин А. Ф., Ашуров М. Х., Аксенов А. Г., Чилингарян Н. О., Смирнов И. Г., Павкин Д. Ю., Хорт Д. О., Московский М., Сибирев А. В., Лобачевский Я. П., Дорохов А. С., Измайлов А. Ю. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве // Успехи физических наук. – 2024. – Т. 194. – №. 2. – С. 208-226.
80. Гунар И. И., Синюхин А. М., Сална Л. Я., Царев Л. А. Электрофизиологическая характеристика раздражимости растений // Сборник научных трудов Российской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева. – 1961. – №. 2 (39). – С. 7-19.
81. Дериглазова Г. М. Научно-практические рекомендации по возделыванию ярового ячменя в Курской области. – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2019. - 58 с.
82. Дериглазова Г. М. Влияние норм посева и внесения удобрений на урожайность ярового ячменя в Курской области // Перспективные направления рационального землепользования и цифровизация земледелия: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук. - Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2023. – С. 80-84.
83. Дзюбенко Н. И. Генетические ресурсы культурных растений основа продовольственной и экологической безопасности России // Вестник Российской академии наук. – 2015. – Т. 85. – №. 1. – С. 3-8.
84. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / Под ред. Г. В. Удовенко. – Л.: ВИР, 1988. – 227 с.

85. Долгополова Н. В., Воронина А. А., Нагорных А. В. Приемы защиты ячменя от гельминтоспориоза // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – №. 8. – С. 90-95.
86. Донцова А. А. Использование молекулярных методов селекции на устойчивость к сетчатой пятнистости ячменя (обзор) // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – №. 113. – С. 1314-1324.
87. Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Терновая Е. А. Производство ячменя в мире и России // Зерновое хозяйство России. – 2016. – №. 6. – С. 7-13.
88. Дорошенко Э. С., Филиппов Е. Г. Оценка коллекционного материала голозерного ярового ячменя для практической селекции в условиях Ростовской области // Журнал активная честолубивая интеллектуальная молодежь сельскому хозяйству. – 2017. – №. 1. – С. 95-100.
89. Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Поиск источников устойчивости к пыльной головне для селекции ярового ячменя // Научный журнал КубГАУ. – 2021. – №. 174. – С. 106-112.
90. Дорошенко Э. С., Филиппов Е. Г. Оценка сортов озимого ячменя различного эколого-географического происхождения по хозяйственно-ценным признакам и свойствам // Аграрная наука. – 2023. – №. 4. – С. 110-115.
91. Дубовик Д. В., Чуян О. Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий // Земледелие. – 2018. – №. 2. – С. 9-13.
92. Дубровский А. В., Соломатина Н. В., Попова О. В., Ветров В. Ф., Полянский Н. А. Влияние нормы высева на урожайность ярового ячменя в условиях Тамбовской области // Наука и образование. – 2023. – Т. 6. – №. 1. – С. 231-240.
93. Евдокимова М. А., Харитонов В. С. Влияние минеральных удобрений на урожайность и пивоваренные качества зерна ярового ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. – №. 3. – С. 23-27.

94. Еремеев Г. Н., Лищук А. И. Отбор засухоустойчивых сортов и подвоев плодовых растений: Методические рекомендации. – Ялта, 1974. – 18 с.
95. Ерешко А. С., Шикина Л. В. Совершенствование технологии возделывания ячменя: монография. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – 117 с.
96. Ерешко А. С., Хронюк В. Б., Бершанский Р. Г., Татаркин С. В. Озимый ячмень: сорт, удобрение, урожай: монография. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 160 с.
97. Ерошенко Л. М., Ерошенко А. Н., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А. Селекционное совершенствование ярового ячменя на адаптивность в условиях Центрального Нечерноземья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2011. – №. 5. – С. 15-19.
98. Ерошенко Ф. В., Бильдиева Е. А., Сторчак И. Г., Шестакова Е. О., Энговатова И. В. Фотосинтетическая продуктивность растений: учебное пособие. – Ставрополь: Сервисшкола, 2020. – 115 с.
99. Ершова Л. А., Велибекова Е. И. Устойчивость сортов ячменя к вредным организмам и способы повышения урожайности // Защита и карантин растений. – 2017. – №. 12. – С. 40-43.
100. Еряшев А. П., Железнов А. С., Еряшев П. А. Влияние удобрений и норм высева на качество семян многорядного ячменя сорта Гелиус // XLVI Огарёвские чтения: Материалы научной конференции: в 3-х частях. Часть 2. – Саранск: ФГБОУ ВО, 2018. – С. 61-66.
101. Еряшев А. П., Шапошников А. С., Еряшев П. А. Влияние удобрений и норм высева на качество семян пивоваренного ячменя сорта Грэйс // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №. 1 (45). – С. 18-23.
102. Ефремов В. Н., Мугенов Т. И., Голосман Е. З. Низкотемпературная каталитическая селективная очистка отходящих газов от оксидов азота // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: сборник материалов III Всероссийской конференции. – Кемерово: КузГТУ, 2016. – С. 69-73.

103. Жанбыршина Н. Ж., Габдола Э. Ж., Яцюк С. В. Отбор высокоурожайных, засухоустойчивых сортов ярового ячменя из мировой коллекции в условиях Акмолинской области // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – №. 2-3. – С. 147-151.
104. Железнов А. В., Кукоева Т. В., Железнова Н. Б. Ячмень голозерный: происхождение, распространение и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 17. – №. 2. – С. 286-297.
105. Жилин Н. А., Щенникова И. Н. Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – №. 1. – С. 79-82.
106. Жичкина Л. Н. Полевая устойчивость ярового ячменя к головневым болезням // Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ: Материалы Международной научно-практической конференции. – Кинель: ФГБОУ ВО Курганская ГСХА, 2018. – С. 509-512.
107. Завальшич Н. А., Черенков А. В. Формирование площади листовой поверхности посевов ячменя озимого в весенне-летний период вегетации // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XXV Международной научно-практической конференции. Агрономия. Защита растений. - Гродно: ГГАУ, 2022. – С. 57-58.
108. Завьялов Р. О., Соловьева Ю. А., Соловьев А. В. Влияние минеральных удобрений и предполивного порога влажности почвы на качество урожая ячменя (*Hordeum sativum* L.) // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2021. – №. 37. – С. 9-15.
109. Зайдельман Ф. Р., Беличенко М. В., Бибин А. С. Деградация и восстановление почв поймы р. Москва за последние 50 лет // Почвоведение. – 2013. – №. 11. – С. 1377-1377.
110. Заушинцена А. В. Источники биологических свойств и хозяйственно ценных признаков для селекции ячменя // Вестник КрасГАУ. – 2019. – №. 12 (153). – С. 64-68.

111. Зверева Г. К. Агроценозы (понятия, структура, особенности функционирования): учебное пособие. – Новосибирск: Изд. НГПУ, 2006. – 118 с.
112. Землянкина Ю. Н., Столпивская Е. В., Шиповалова А. В. Изучение исходного материала ярового ячменя для использования в селекционном процессе // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2017. – №. 11. – С. 75-77.
113. Зинкевич Е. П. Гридина С. Б., Лёвкина Г. Б., Токарева Н. А. Качество и биохимия зерна ячменя // Экономический вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2014. – №. 4 (49). – С. 40-44.
114. Зинченко С. И., Щукина И. М. Кислотность и ее негативное воздействие на почвенную среду // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса: монография. – Иваново: ПресСто, 2022. – С. 23-25.
115. Зобова Н. В., Ступко В. Ю. Способ оценки кислотоустойчивости сельскохозяйственных растений. Патент № RU 2 505 958 С2 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01). № 2011149832/10; заявл. 07.12.2011; опубл. 10.02.2014.
116. Золотарев В. Н., Переprawo Н. И. Оптимизация норм высева и способов посева диплоидной и тетраплоидной овсяницы луговой при возделывании на семена // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – №. 1. – С. 26-31.
117. Золотухина А. А., Гурылева А. В., Гресис В. О., Дехканова К. Р., Полякова С. С., Нестеров Г. В., Платонова Н. Б. Определение концентрации хлорофилла растений нескольких культур методом видеоспектрометрии // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: Труды XVI Международной научно-технической конференции. - Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. - С. 394-398.
118. Зуев Д. В., Тысленко А. М. Исходный материал и практические результаты экологической селекции яровой тритикале // Таврический вестник аграрной науки. – 2016. – №. 2. – С. 58-68.

119. Ибрагимова З. Ш., Гасанова Г. И., Абдуллаева Л. С., Керимов А. Я. Активность фотосинтетических пигментов в условиях стресса // Технические и естественные науки: инновации и перспективы: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Белгород: ООО АПНИ, 2020. – С. 22-27.
120. Иванов А. Л., Столбовой В. С., Гребенников А. М., Оглезнев А. К., Петросян Р. Д., Шилов П. М. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института им. ВВ Докучаева. – 2020. – №. 103. – С. 168-187.
121. Иванов В. П., Марченко С. И., Глазун И. Н., Нартов Д. И., Соболева Л. М. Изменения в биогеоценозах центральной части Брянской области после летней жары 2010 года // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – №. 1 (17). – С. 25-35.
122. Иванов Д. А., Ковалёв Н. Г., Толин В. А., Рублюк, М. В., Карасёва О. В. Влияние ландшафтных и агроклиматических условий на качество зерна ячменя // Вестник Российской академии наук. – 2016. – Т. 86. – №. 5. – С. 450-454.
123. Иеронова В. В. Оценка сортов ячменя на устойчивость к засухе // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2013. – №. 1. – С. 9-13.
124. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. – 2019. – №. 6. – С. 18-22.
125. Исаенко А. В. Особенности формирования ярового ячменя при различных способах посева и нормах высева // Вестник Курганской ГСХА. – 2013. – №. 3 (7). – С. 29-33.
126. Калитка В. В., Кравченко Т. Н. Пигментный комплекс и продуктивность растений ячменя озимого в зависимости от предшественника и действия регулятора роста АКМ // Știința Agricolă. – 2014. – №. 2. – С. 32-37.

127. Каляга Т. Г., Козел Н. В. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя сорта Бровар // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. – 2020. - №. 3. – С. 46-53.
128. Караваев Л. Л., Таляр А. С., Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я. Влияние катионов алюминия и свинца (II) на прорастание семян и рост проростков ячменя сорта Новичок // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. Киров: ВятГУ, 2017. – С. 158-160.
129. Карашаева А. С., Мазихова А. М. Фотосинтетическая деятельность растений ярового ячменя в зависимости от нормы высева // Биология в сельском хозяйстве. – 2018. – №. 3 (20). – С. 13-15.
130. Каримова Л. З., Валиуллин А. Р., Сафин Р. И. Оптимизация приемов защиты растений ярового ячменя от микозов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 6. – №. 3. – С. 125-127.
131. Каримова Л. З. Особенности формирования урожая ярового ячменя и развития гельминтоспориозов на различных сортах ярового ячменя // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 7. – №. 1. – С. 129-132.
132. Каримова Л. З., Сафин Р. И., Таланов И. П. Влияние предпосевной обработки семян и нормы высева на формирование урожая и пораженность растений ячменя корневыми гнилями // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №. 1 (29). – С. 21-25.
133. Карпухин М. Ю., Байкин Ю. Л., Батыршина Э. Р. Агрономическая эффективность органоминерального удобрения на черноземных почвах Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. – 2023. – №. 4 (233). – С. 2-14.
134. Кахнович Л. В., Петько Л. В. Фотосинтезирующая поверхность и пигментный фонд растений ячменя // Вестник Белорусского государственного университета имени В. И. Ленина. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 1988. – №. 1. – С. 30-34.

135. Кашукоев М. В., Хоконова М. Б. Продуктивность и технологические свойства зерна ярового ячменя // Аграрная наука. – 2009. – №. 7. – С. 13-15.
136. Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Влияние почвенной кислотности на урожайность озимой ржи и возможности эдафической селекции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – №. 6 (67). – С. 17-25.
137. Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Цыпышева М. Ю. Защита зерновых культур от болезней: монография. - Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. – 172 с.
138. Киндаев А. Ю. Анализ региональной структуры посевных площадей и урожайностей зерновых культур (на материалах субъектов Приволжского федерального округа) // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – Т. 1. – С. 103-108.
139. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Кинчарова М. Н., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – Т. 183. – №. 4. – С. 39-47.
140. Киселева Т. Л., Шарафетдинов Х. Х., Плотникова О. А., Кочеткова А. А., Киселева М. А. Зерновые в лечебном питании при сахарном диабете 2 типа с позиции современной и традиционной диетологии // Традиционная медицина. – 2018. – №. 3 (54). – С. 40-52.
141. Климашевский Э. Л. Минеральное питание растений: генетическая концепция // Сельскохозяйственная биология. – 1991. – Т. 6. – №. 3. – С. 12.
142. Коблянский А. С., Репко Н. В. Влияние плотности стеблестоя сортов озимого ячменя на формирование посевных качеств семян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – №. 152. – С. 35-44.
143. Ковбашин Д. И., Сонюшкин А. В. Анализ территориальных особенностей процесса вывода земель из сельскохозяйственного использования в Кировской области // Интеркарто. ИнтерГИС. – 2022. – Т. 28. – №. 2. – С. 746–760.

144. Ковригина Л. Н. Изменчивость строения стебля у ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2010. – №. 9. – С. 111-115.
145. Кожушко Н. Н., Волкова А. М. Определение относительной засухоустойчивости и жаростойкости образцов зерновых культур (пшеница, ячмень) способом проращивания семян в растворах сахарозы и после прогревания: Методические указания. - Л.: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова, 1982. – 19 с.
146. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Иванов В. Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – №. 3 (58). – С. 45-48.
147. Козьмина К. А. Зернофуражные культуры. – М.: Колос, 1975. – 256 с.
148. Кокина Л. П., Щенникова И. Н., Зайцева И. Ю. Оценка коллекционных образцов ячменя на устойчивость к осмотическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – №. 5 (66). – С. 40-44.
149. Коломейченко В. В. Полевые и огородные культуры России. Зерновые: монография. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 472 с.
150. Комарицкая Е. И. Влияние способа и нормы посева на пивоваренные свойства зерна ячменя // Аграрная наука-сельскому хозяйству. – 2009. – С. 263-264.
151. Кононенко Н. В., Чабан И. А., Смирнова Е. А., Широких И. Г., Шуплецова О. Н., Баранова Е. Н. Тестирование устойчивости разных форм ячменя (*Hordeum vulgare* L.) к токсическому действию алюминия // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – №. 2. – С. 121-130.
152. Конышева Е. Н., Зобова Н. В. Результативность получения растений-регенерантов ярового ячменя в культуре *in vitro* на селективных средах // Вестник КрасГАУ. – 2006. – №. 10. – С. 137-141.

153. Коротков А. Г., Коротков В. Г. Влияние опрыскивания посевов ярового ячменя во время вегетации БИС-300 на густоту стояния растений // Научный журнал молодых ученых. – 2023. – №. 1 (31). – С. 26-29.
154. Косарева И. А., Давыдова Г. В., Семенова Е. В. Диагностика устойчивости растений овса посевного к повышенному содержанию ионов алюминия в почвенном растворе // Сельскохозяйственная биология. – 1998. – №. 5. – С. 73-76.
155. Косарева И. А. Изучение коллекций сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2012. – Т. 170. – №. 1. – С. 35-45.
156. Косарева И. А., Лоскутов И. Г., Мельникова С. В. Алюмоустойчивость овса отечественной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 2013. - Т. 171. - С. 114-116.
157. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю., Шиповалова А. В., Ермилина Н. Н. Изучение засухоустойчивости сортов ярового ячменя на ранних этапах онтогенеза // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – №. 4 (72). – С. 142-151.
158. Кошеляев В. В., Карпова Г. А., Кошеляева И. П. Научное обоснование формирования продуктивности ярового ячменя под влиянием приемов технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья: монография. – Пенза: ПГСХА, 2013. – 218 с.
159. Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е. Культура *in vitro* автономных зародышей как модельная система для исследования стресс-устойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков) // Успехи современной биологии. – 2021. – Т. 141. – №. 5. – С. 483-495.
160. Кузикеев Ж. В., Борадулина В. А., Мусалитин Г. М., Кузикеева А. П. Реакция сортов ячменя на нормы высева и уровень азотного питания на выщелоченных черноземах Алтайского Приобья // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – №. 7. – С. 27-31.

161. Кузнецова Т. Е., Левштанов С. А., Серкин Н. В., Судаков В. В. Результаты оценки сортов ярового ячменя на устойчивость к кислой pH среде // Зерновое хозяйство России. – 2011. – №. 4. – С. 32-36.
162. Куконкова А. А., Терехов М. Б. Влияние норм высева и обработки гербицидами на урожайность и элементы ее структуры ярового тритикале // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №1 (21). – С. 19-23.
163. Курьянчик Т. Г., Козел Н. В. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя при разной освещенности // IX Международная конференция молодых ученых: вирусологов, биотехнологов, биофизиков, молекулярных биологов и биоинформатиков. – 2022. – С. 361-362.
164. Куст Г. С., Розов С. Ю., Кутузова Н. Д. Агрогенная деградация черноземов как причина развития почвенной засухи, снижающей продуктивность сельскохозяйственных культур // Аридные экосистемы. – 2010. – Т. 16. – №. 41. – С. 16-27.
165. Ламажап Р. Р. Урожайность ярового ячменя в зависимости от норм высева и сроков посева в условиях республики Тыва // Вестник КрасГАУ. – 2022. – №. 12 (189). – С. 26-31.
166. Ламмас М. Е., Шитикова А. В. Мировое производство ячменя // Агробиотехнология-2021: сборник статей международной научной конференции. – Москва: РГАУ МСХА, 2021. – С. 733-736.
167. Лебедев В. Е., Амакова Т. В. Роль влажности почвы в развитии сельскохозяйственных культур // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Материалы Всероссийской научно-практической конференции: в IV томах. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2021. –Т. I. – С. 59-65.
168. Левакова О. В. Изучение и подбор ярового ячменя по признакам устойчивости к полеганию и урожайности // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – №. 3. – С. 39-41.

169. Лепайыз Я. Я. Пивоваренный ячмень в Эстонии. – Таллин: Валгус, 1980. – 248 с.
170. Леухина О. В., Леухина Т. В. Агрономическая и экологическая оценка пахотных дерново-подзолистых почв северной лесостепи // Природные ресурсы Центрального региона России и их рациональное использование: материалы Международной научно-практической конференции. – Орёл: ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», 2017. – С. 164-170.
171. Лисицын Е. М. Методика лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 3. – С. 5-7.
172. Лисицын Е. М., Лисицына И. И. Влияние места репродукции сорта на его потенциальную алюмоустойчивость // Сельскохозяйственная биология. - 2008. - № 5. - С. 58-64.
173. Лисицын Е. М. Физиологические параметры корневых систем в селекции зерновых культур на абиотическую устойчивость // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2018. – Т. 4. – № 3. – С. 37-44.
174. Литвинов А. С. О почвенной засухе и устойчивости к ней растений. - Львов: Изд-во Львовского ГУ, 1951.- 168 с.
175. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. - СПб.: ВИР, 2012. - 63 с.
176. Лоскутов И. Г., Новикова Л. Ю., Ковалева О. Н., Иванова Н. Н., Блинова Е. В., Бельская, Г. В. Эколого-географические подходы к изучению генетического разнообразия ячменя и овса из коллекции ВИР // Экологическая генетика. – 2020. – Т. 18. – № 1. – С. 89-102.
177. Лыткина Л. И., Шенцова Е. С., Апалихина О. А., Курманахынова М. К., Абжанова Ш. А., Сериккызы М. С. Сенсорометрическое определение степе-

ни поражения зерна пшеницы головней // Вестник Алматинского технологического университета. – 2020. – №. 1. – С. 14-18.

178. Магомедов А. Н. Д., Пролыгина Н. А., Осипов А. А., Камилова З. Г. Сырьевая база пивоваренной промышленности России // АПК: экономика, управление. – 2009. – №. 11. – С. 72-79.

179. Маймистов В. В. Результаты оценки засухоустойчивости селекционного материала в засушниках нового типа // Селекция и семеноводство, 1983. - №. 2. - С. 15-16.

180. Маймистов В. В., Осипов Ю. Ф., Чумаковский Н. Н., Евтушенко Ю. В. Ускоренная оценка засухоустойчивости селекционного материала // Селекция и семеноводство. - 1988. - №. 3. - С. 23-25.

181. Максютлов Н. А., Зоров А. А. Влияние основных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях засухи // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – №. 5 (61). – С. 8-10.

182. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Влияние засухи на хозяйственно ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области // Вестник Омского ГАУ. – 2021. – №. 3 (43). – С. 25-35.

183. Мамирова Н. А., Тулепова Ф., Сабденова У. О., Асылбекова Г. Т., Ермаханов М. Н. Элементы продуктивности озимого ячменя на поливе юга Казахстана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №. 3-2. – С. 290-292.

184. Мариков Е. И. Продуктивность сортов ячменя разных сроков посева и норм высева // Инновационное развитие АПК Северного Зауралья: сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых. – Тюмень: Ризограф, 2013. – С. 46-49.

185. Марчик Т. П., Ефремов А. Л. Почвоведение с основами растениеводства. - Гродно: ГрГУ, 2006. – 249 с.

186. Марьина-Чермных О. Г. Влияние биологических препаратов на посевные качества семян, распространенность и вредоносность корневой гнили на яровом ячмене // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. - 2020. - Т. 6. - № 4. - С. 445-449.
187. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum* L. / составители Лекеш Я., Береш И., Форал А., Одиignal И., Ружичка Ф., Бобек М., Трофимовская А., Лукьянова М., Корнейчук В., Ильина Н., Ярош Н. – Ленинград: ВИР, 1983. – 50 с.
188. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый: общая часть. - Москва, 2019. - 329 с.
189. Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды /Под ред. У. Г. Удовенк. - Л.: Колос, 1976. - 318 с.
190. Милевская И. А. Влияние норм высева семян на динамику засоренности посевов ярового ячменя в разных фазах вегетации растений // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2014. – №. 2. – С. 387-387.
191. Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф., Морачевская Е. В. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – №. 1. – С. 3-9.
192. Мирошниченко Н. Н., Семенов Д. А., Тertyшная А. В., Панасенко А. В. Влияние природных и антропогенных факторов на формирование микроэлементного состава почв на землях сельскохозяйственного назначения // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: материалы Международной научно практической конференции. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – 366 с.
193. Митрофанов Ю. И., Гуляев М. В., Лукьянов С. А. Нормы высева ячменя на осушаемых землях // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4. – №. 10. – С. 140-147.

194. Митрофанова Е. М. Динамика обменных оснований и кислотности дерново-слабоподзолистой почвы Предуралья // Аграрный вестник Урала. – 2009. – №. 5. – С. 64-67.
195. Митрофанова Е. М. Продуктивность кислотоустойчивых сортов полевых культур на кислой дерново-слабоподзолистой почве Предуралья // Агрохимия. – 2010. – №. 2. – С. 52-58.
196. Митрофанова Е. М. Эффективность применения кислотоустойчивых сортов яровой пшеницы в Предуралье // Развитие научного наследия Н.И. Вавилова в современных селекционных исследованиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции., посвященной 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2012. – С. 146-150.
197. Моткалюк О. Б. Прямой метод оценки засухоустойчивости зерновых в засушливике путем кратковременной глубокой почвенной засухи в период формирования одноядерных микроспор // Тезисы докладов совещания «Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды». - Ленинград, 1973. – С. 94-95.
198. Мохов И. И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. – 2022. – Т. 92. – №. 1. – С. 3-14.
199. Некрасов Р. В., Овчаренко М. М., Аканова Н. И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв // Земледелие. – 2019. – №. 4. – С. 3-7.
200. Неттевич Э. Д., Аниканова З. Ф., Романова Л. М. Выращивание пивоваренного ячменя. – М.: Колос, 1981. – 207 с.
201. Никольский А. Н., Бочкарев Д. В., Девяткина Т. Ф., Недайборщ Ю. Н., Бочкарев В. Д. Вредоносность корневищных и корнеотпрысковых сорных растений в посевах озимой пшеницы и ярового ячменя в условиях лесостепи юга Нечерноземной зоны // Вестник защиты растений. – 2020. – Т. 103. – №. 3. – С. 182-187.

202. Новоселова Н. В., Бакулина А. В. Молекулярные маркеры в селекции сортов ячменя, устойчивых к ионной токсичности (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21. – №. 1. – С. 7-17.
203. Носкова Е. Н., Щенникова И. Н. Селекция засухоустойчивых сортов ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2018. – С. 144-147.
204. Нурлыгаянов Р. Б., Гиниятова Ф. Ф., Зайнагабдинов А. Ф., Хаернасов И. И. Известкование кислых почв: прошлое и настоящее // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2021. – №. 1. – С. 34-41.
205. Ныска И. Н., Петренкова В. П. Экспресс-метод оценки ячменя ярового на устойчивость к засухе // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – №. 7. – С. 22-24.
206. Окорков В. В. Основные направления исследований по известкованию кислых почв // Владимирский земледелец. – 2011. – №. 4. – С. 17-22.
207. Олонова М. В., Гудкова П. Д., Крючкова Е. А. Семейство *Poaceae* (Gramineae) – Мятликовые, или Злаки: учебное пособие. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2019. – 80 с.
208. Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года по Кировской области. Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кировской области, – 2023. – 109 с.
209. Охорзин Н. Д. Особенности агроклиматических ресурсов Кировской области // Современные технологии в мировом научном пространстве: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях. – Уфа: ООО Аэтерна, 2017. - Т. 3. – С. 228-230.
210. Павловская Н. Е., Агеева Н. Ю., Яковлева И. В., Солохина И. Ю., Гнеушева И. А. Реакция фотосинтетического аппарата озимой пшеницы и ярового ячменя на обработку биостимулятором Нигор++ // Вестник аграрной науки. – 2023. – №. 4 (103). – С. 50-58.

211. 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.
212. Панихина Л. В. Влияние водного дефицита на разных стадиях онтогенеза урожайность ярового ячменя // Адаптивная селекция и агробιοтехнологии в условиях северного земледелия: Материалы школы молодых ученых. Под общей редакцией И. А. Устюжанина. Киров: ФАНЦ Северо-Востока. – 2025. – С. 103–108.
213. Панихина Л. В., Кокина Л. П. Влияние стрессовых факторов на морфофизиологические 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.
214. 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.
215. 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.
216. Панфилов А. Л., Абдрашитов Р. Р. Влияние биоудобрений и осмотического стресса на морфологические показатели проростков ярового ячменя // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2022. – Т. 17. – № 4. – С. 425–436.
217. Патуринский А. В., Козулина Н. С. Физиологическая оценка засухоустойчивости и потенциальной продуктивности селекционного материала зер-

новых культур // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – Т. 12. – №. 4. – С. 151-156.

218. Патуринский А. В. Физиологическая оценка засухоустойчивости пшеницы и ячменя // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции. Часть II. - Красноярский ГАУ, 2017. – С. 141-144.

219. Паштецкий В. С. Особенности формирования урожая озимых и ранних яровых зерновых, зернобобовых, масличных культур и рекомендации по их уборке в условиях 2018 года: Научно-методическое издание / В. С. Паштецкий, Л. А. Радченко, Е. Н. Турин, Е. Л. Турина, А .В . Приходько, К. Г. Женченко, А. Ф. Радченко, О. П. Пташник, Е. В. Ремесло, В. Ю. Иванов, Е. Н. Ростов. – Симферополь: ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2018. – 40 с.

220. Переведенцев Ю. П., Шаймарданов М. З., Френкель М. О. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. – Казань: Казанский гос. ун-т, 2010. – 242 с.

221. Перепичай М. И., Романова И. Н., Мартынова К. В. Влияние абиотических условий на полевую всхожесть сортов ячменя // Агропромышленный комплекс в условиях инновационного развития: наука, технологии, кадровое обеспечение: материалы I Международной научно-практической конференции. - Минск: БГАТУ, 2024. – С. 207-210.

222. Пигорев И. Я., Комарицкая Е. И. Влияние норм посева на продуктивность ячменя в Курской области // Фундаментальные исследования. – 2005. – №. 10. – С. 51-52.

223. Пигорев И. Я., Степкина И. И., Агеева А. А. Экономико-энергетическая оценка выращивания ярового ячменя на черноземе типичном лесостепи // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №. 2. – С. 44-46.

224. Поварницына А. В., Савин М. И. Влияние изменения климата на мировое сельское хозяйство // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – №. 84-1. – С. 152-157.

225. Подласова Е. Ю., Новикова А. А. Анализ содержания хлорофилла в листьях ярового ячменя с использованием гиперспектральной визуализации и спектрофотометрии // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107. – №. 4. – С. 337-346.
226. Политыко П. М., Киселев Е. Ф., Капранов В. Н., Мерзликин А. С., Посметный Р. С., Абрамова Н. А., Тареев А. И. Роль минеральных удобрений и средств защиты растений в формировании урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при разных технологиях возделывания на дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. – 2017. – №. 2. – С. 13-18.
227. Полонский В. И. Неповреждающий метод определения засухоустойчивости пшеницы и ячменя // Доклады ВАСХНИЛ. - 1988. - №. 5. - С. 13-16.
228. Пономарев А. Я., Манвелов, А. Н., Шмырев, В. И., Шмырев, Д. В. Влияние физико-химических свойств элементов и условий природной среды на миграцию загрязнений // Человеческий капитал. – 2015. – №. 11-12. – С. 40-44.
229. Попова Н. П., Шевченко В. А., Соловьёв А. М. Влияние системы удобрения и предшественников на динамику кислотности дерново-подзолистых почв при введении их в сельскохозяйственный оборот // Плодородие. – 2020. – №. 6 (117). – С. 3-6.
230. Посыпанов Г. С., Долгодворов В. Е., Жеруков Б. Х. Растениеводство. - М.: КолосС, 2007. - 612 с.
231. Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л., Радченко А. Ф. Влияние норм высева озимого ячменя на зерновую и семенную продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – №. 1. – С. 187-194.
232. Радюкевич Т. Н., Бондарева Л. М., Лашина Н. М. изучение коллекции ярового ячменя для целей селекции на северо-западе России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – №. 2 (55). – С. 16-22.

233. Родина Н. А., Ефремова З. Г. Методические рекомендации по селекции ячменя на устойчивость к болезням и их применение в НИИСХ Северо-Востока. – М.: ВАСХНИЛ, 1986. – 79 с.
234. Родина Н. А., Солодянкина М. М. Скрининг генотипов ячменя, толерантных к Al^{3+} , в условиях водной культуры // Научные основы стратегии адаптивного растениеводства северо-востока европейской части России. Ч. 2. Селекция и семеноводство: Материалы научно-практической конференции. – Киров, 1999. – С. 31-39.
235. Родина Н. А. Возделывание пивоваренного ячменя (рекомендации). – Киров: НИИСХ Северо-Восток, 2003. – 104 с.
236. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. – 488 с.
237. Рубин А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – №. 4. – С. 7-13.
238. Русских Е. А. Динамика содержания подвижных соединений кадмия в подзолистой почве с разной степенью антропогенной нагрузки // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – №. 1. – С. 41-44.
239. Рязанова А. А., Воропай Н. Н. Повторяемость атмосферных засух на юге Сибири в конце XX-начале XXI вв // Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2018. - Томск: Томский ЦНТИ, 2018. – С. 372-374.
240. Сажин А. Н., Судаков А. В. Почвенно-климатический потенциал развития зернопроизводства в Нижнем Поволжье // География и природные ресурсы. – 2013. – №. 4. – С. 84-93.
241. Саксонов С. В., Васюков В. М., Сенатор С. А. Новый обзор злаков (*Poaceae*) Среднего Поволжья // Экосистемы. – 2020. – №. 24. – С. 43-62.
242. Саломатов А. С. Получение β -глюкана из ячменя методом кислотной экстракции // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – №. 6 (128). – С. 130-135.

243. Сахибгареев А. А., Акчурин Р. Л. Ячмень яровой. Современные технологии возделывания в Республике Башкортостан (методические рекомендации). – Уфа: Мир печати, 2016. – 64 с.
244. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.
245. Серебренников Ю. И. Пыльная головня ячменя в условиях искусственного заражения // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы V Международной научно-практической конференции. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. – С. 173-175.
246. Сибгатов А. Р. Применение стеклобоя для регулирования кислотности почв // XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых): международная молодежная научная конференция. – Казань: ООО «Издательство Фолиант», 2015. – С. 172-174.
247. Сидоренко В. С., Шевченко С. Н., Долженко Д. О., Бишарев А. А., Калякулина И. А., Гуськова А. Н., Наумкин Д. В., Старикова Ж. В. Особенности селекции голозёрного ярового ячменя // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2025. – №. 4 (56). – С. 115-125.
248. Сказкин Ф. Д., Ловчиновская Е. И., Миллер М. С., Аникиев В. В. Практикум по физиологии растений. – Москва, 1958. – 338 с.
249. Скибина Ю. С. Об актуальности изучения патосистемы ячмень – темно-бурая пятнистость // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов: материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвящается 95-летию Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, 2017. – С. 376-378.
250. Соболева О. М., Белашова О. В. Изменение пигментного состава листьев ячменя при адаптации к водному дефициту после СВЧ-обработки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – №. 2 (244). – С. 17-22.
251. Соколова Т. А., Толпешта И. И., Трофимов С. Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой

фазе почвы и в почвенном растворе. Изд. 2-е, испр. и доп. – Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.

252. Соломина О. Н. Засухи Восточно-европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным / О. Н. Соломина, И. С. Бушуева, Е. А. Долгова и др. - СПб.: Нестор-История, 2017. - 360 с.

253. Солонечный П. Н. Уровень проявления и корреляция количественных признаков сортов ячменя ярового // *Știința Agricolă*. – 2018. – №. 1. – С. 23-27.

254. Старцева А. А., Фадькин Г. Н. Влияние микробиологических препаратов на формирование урожая ярового ячменя // *Международный технико-экономический журнал*. – 2014. – №. 5. – С. 81-87.

255. Статистические данные продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций (ФАО). URL: <https://www.fao.org/fao-stat/ru/#data/QCL/visualize> (дата обращения: 29.11.2024).

256. Страшная А. И., Максименкова Т. А., Чуб О. В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // *Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра российской федерации*. – 2011. – Т. 345. – С. 171-188.

257. Страшная А. И., Пурина И. Э., Чуб О. В., Задорнова О. И., Чекулаева Т. С. Автоматизированная технология мониторинга и расчета количества декад с почвенной и атмосферно-почвенной засухой под зерновыми культурами // *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*. – 2013. – №. 349. – С. 161-175.

258. Стрижова Ф. М. Царева Л. Е., Титов Ю. Н. Растениеводство: учебное пособие. - Барнаул: АГАУ, 2008. – 219 с.

259. Стюхин А. Ю., Захаренко А. В., Поддымкина Л. М. Влияние удобрений и извести на кислотность дерново-подзолистой почвы // *Плодородие*. – 2007. – №. 6. – С. 5-6.

260. Сурин Н. А., Полонский В. И., Герасимов С. А. Перспективные образцы ячменя в селекции на кислотоустойчивость // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2012. – №. 3. – С. 7-10.

261. Тарасова А. М. Влияние средств защиты растений и минеральных удобрений на фитопатогенный комплекс грибов ярового ячменя в Верхневолжье // Вестник защиты растений. – 2007. – №. 1. – С. 53-66.
262. Тараторкин В. М., Петров Е. Б. От технологического аудита к технологической реструктуризации растениеводства // АгроСнабФорум. – 2015. – №. 6. – С. 38-41.
263. Тетянников Н. В., Боме Н. А. Источники ценных признаков для селекции голозерного ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – Т. 181. – №. 3. – С. 49-55.
264. Тимаков А. Г., Мамеев В. В., Павловская Н. Е., Яковлева И. В. Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность растений ярового ячменя и структуру урожая // Агрохимия. – 2019. – №. 8. – С. 34-39.
265. Типсина Н. Н., Пуляева О. С. Биологическая ценность продуктов переработки ячменя // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №. 8. – С. 226-229.
266. Ткаченко М. Н. Эффективность применения биологических препаратов в борьбе с корневой гнилью ячменя // Инновационные достижения науки и техники АПК: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Кинель: СГСХА, 2018. – С. 323-326.
267. Тлеумуратова Б. С., Султашов Р. Г., Жанабаева А., Атажанов А. Методы оценки неблагоприятных погодных явлений // Экологический мониторинг последствий аральской катастрофы для здоровья человека и сохранения биосферы: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию доктора биологических наук, профессора Азата Таубалдиевича Матчанова. Часть I. – Нукус, 2022. – С. 244-246.
268. Торики В. Е., Мельникова О. В., Торики В. В., Аксенов О. А. Влияние минеральных удобрений и норм высева семян на кормовую ценность зерна ярового ячменя // Агрохимический вестник. – 2012. – №. 2. – С. 36-37.
269. Торики В. Е., Мельникова О. В., Шпилев Н. С., Резунов А. А., Мельников Д. М. Управление продуктивностью посевов зерновых культур при проведении научных исследований и хозяйственной деятельности //

Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – №. 5 (99). – С. 13-20.

270. Трубников Ю. Н., Минина И. Н., Каличкин В. К. Эффективность известкования кислых почв Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – №. 8. – С. 5-10.

271. Трубников Ю. Н. Кислые почвы Приенисейской Сибири и отзывчивость сельскохозяйственных культур на известкование // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №. 1. – С. 19-21.

272. Тюлин В. В. Почвы Кировской области. – Киров: Волго-Вятское кн. изд-во. Кировское отд., 1976. – 288 с.

273. Тютюма Н. В., Туманян А. Ф., Васим Х. Селекционная ценность сортообразцов ярового ячменя для аридных условий // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – №. 6. – С. 54-56.

274. Тютюма Н. В., Туманян А. Ф., Введенский В. В. Селекция ярового ячменя на устойчивость к абиотическим факторам // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – №. 2. – С. 12-19.

275. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 14.12.2024).

276. Федулов Ю. П. Методы определения устойчивости растений: курс лекций. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 39 с.

277. Филенко Г. А., Фирсова Т. И., Скворцова Ю. Г., Филиппов Е. Г. Динамика посевных площадей и урожайности ярового ячменя в РФ // Зерновое хозяйство России. – 2017. – №. 5. – С. 20-25.

278. Филиппов Е. Г., Хронюк В. Б. Факторы, влияющие на урожайность и качество зерна ячменя как сырья для пивоваренной промышленности // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2004. – Т. 3. – №. 3-1. – С. 28-31.

279. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Новые засухоустойчивые сорта ярового ячменя // Зерновое хозяйство России. – 2013. – №. 5. – С. 43-45.

280. Филиппов Е. Г., Алабушев А. В. Селекция ярового ячменя: монография. – Ростов на Дону: ЗАО «Книга», 2014. – 208 с.
281. Фирсов И. П., Соловьев А. М., Трифонова М. Ф. Технология растениеводства: учебное пособие. – М.: КолосС, 2006. – 472 с.
282. Френкель М. О., Колчанов В. И., Прокашев А. М. Природа, хозяйство, экология Кировской области. Климат. – Киров: Вятка, 1996. – 592 с.
283. Халапханова Л. В., Доржиев В. В., Доржиева А. А. Использование ячменной муки в производстве сахарного печенья // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГУТУ). – 2023. – №. 1.(88). – С. 22-28.
284. Хлебникова Е. И., Павлова Т. В., Сперанская Н. А. Засухи в книге: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. – М.: Росгидромет, 2012. – С. 126–164.
285. Хлесткина Е. К., Чухина И. Г. Генетические ресурсы растений: стратегия сохранения и использования // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90. – №. 6. – С. 522-527.
286. Хоконова М. Б., Устова М. А. Качество зерна ячменя и солода в зависимости от приемов агротехники // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – №. 4 (35). – С. 71-75.
287. Хоконова М. Б. Биологические требования ярового ячменя в связи с особенностями воспроизводства // Наука и практика в XXI веке: межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 6. – Астрахань: Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2020. – С. 118-121.
288. Холодинский В. В., Бруй И. Г., Ключкова О. В., Сенько Ж. Е. Оптимизация приемов возделывания яровых зерновых культур // Земледелие и растениеводство. – 2022. – №. 2. – С. 3-7.
289. Чеботарев Н. Т., Броварова О. В. Минеральных удобрений на фоне последствий известия о продуктивности многолетних трав в условиях республики Коми // Агрохимический вестник. – 2023. – №. 6. – С. 24-28.

290. Чекаев Н. П., Колесов А. Е. Опыт по применению негашеной извести в качестве кальцийсодержащего удобрения при возделывании ячменя // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского служащего аграрного университета. – ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2021. – С. 52-54.
291. Чекалин С. Г., Оськина А. А., Шара С., Кравченко А. С. Оценка влияния различных типов засух на продуктивность возделываемых культур // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – №. 1 (81). – С. 19-24.
292. Чепрасова В. С., Мамелин Ю. В., Барыбин Д. А. Разработка мультиспектральной установки дистанционного зондирования // Научные исследования и инновации. – 2021. – №. 10. – С. 22-34.
293. Черенкова Е. А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах Европейской территории России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2015. – №. 6. – С. 76-85.
294. Чернобай С. В., Рожков А. А. Влияние нормы высева и внекорневой подкормки на формирование биометрических показателей растений ячменя ярового // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №. 6. – С. 58-60.
295. Черномаз П. А., Якушкин И. В. Прогрессивные способы посева зерновых культур. – М.: Сельхозиздат, 1959. – 420 с.
296. Чернядьев И. И. Влияние водного стресса на фотосинтетический аппарат растений и защитная роль цитокининов (Обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Т. 41. – №. 2. – С. 133-147.
297. Шаганов И. А. Практические рекомендации по освоению интенсивной технологии возделывания озимых зерновых культур. – Минск: Равноденствие, 2008. – 180 с.
298. Шайхиев И. Г., Гальблауб О. А., Гречина А. С. Использование отходов от переработки ячменя в качестве сорбционных материалов для удаления

- поллютантов из водных сред (обзор литературы) // Вестник ВСГУТУ. – 2017. – Т. 20. – №. 23. – С. 110-117.
299. Шалаева Л. В. Тенденции производства и потребления ячменя в Российской Федерации // Продовольственная политика и безопасность. – 2023. – Т. 10. – №. 4. – С. 719-734.
300. Шаповалов А. А. Выделение органических веществ из клеток растений в связи с функциональным состоянием плазматических мембран // Успехи современной биологии. – 1973. – Т. 76. - №. 1. – С. 82-95.
301. Шарипова Г. В., Фархутдинов Р. Г. Реакция различных по засухоустойчивости сортов ячменя на воздушную засуху // Агрохимия. – 2009. – №. 12. – С. 39-43.
302. Шарошкин Н. М., Рыбакова М. И., Афанасьев М. Н., Рудакова В. В. Способ определения устойчивости растений к почвенной засухе. Патент № RU 2080057 С1 Российская Федерация, МПК А 01 Н 1/04. № 94002496/13; заявл. 25.01.1994; опубл. 27.05.1997.
303. Шешегова Т. К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – №. 5 (48). – С. 10-14.
304. 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.
305. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Щенникова И. Н., Мартьянова А. Н. Зависимость развития грибной инфекции зерновых культур от сезонной динамики климатических факторов // Достижения науки и техники АПК. - 2017. - № 4. - С. 58-61.
306. Шешегова Т. К., Щенникова И. Н. Источники устойчивости ячменя к гельминтоспориозным болезням и их использование в ФАНЦ Северо-Востока // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – №. 2. – С. 76-83.

307. Шихова Л. Н., Егошина Т. Л. Тяжелые металлы в почвах и растениях таежной зоны Северо-Востока Европейской части России. – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока. – 2004. – 264 с.
308. Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Результаты изучения перспективных сортов озимой ржи в условиях кировской области // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – №. 1. – С. 213-223.
309. Шуплецова О. Н., Широких И. Г. Повышение устойчивости ячменя к токсичности металлов и осмотическому стрессу путем клеточной селекции //Зерновое хозяйство России. – 2015. – №. 1. – С. 57-62.
310. Шуплецова О. Н., Широких И. Г., Баранова Е. Н. Морфотопографический способ оценки устойчивости сельскохозяйственных растений к ионной токсикации алюминием. Патент № RU 2 608 654 С2 Российская Федерация, МПК А01С 1/00 (2006.01), А01Н 1/04 (2006.01). № 2015111896; заявл. 01.04.2015; опубл. 23.01.2017.
311. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Средаобразующая активность корневой системы регенерантов ячменя в условиях токсичности кислых почв // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – №. 4 (65). – С. 42-48.
312. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Генетические источники селекции ячменя (*Hordeum vulgare*) в Волго-Вятском регионе //Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – Т. 180. – №. 1. – С. 82-88.
313. Щекутьева Н. А. Формирование элементов структуры урожая яровой тритикале при различных нормах высева // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – №. 4 (28). – С. 123-132.
314. Щенникова И.Н., Панихина Л.В. Влияние засухи на развитие элементов структуры урожайности сортов ярового ячменя // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1(3). – С. 111–121.
315. Щенникова И. Н., Шуплецова О. Н., Бутакова О. И. Оценка сортов ярового ячменя на кислотоустойчивость (Al^+) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2009. – Т. 165. – С. 174-177.

316. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т. 22. – №. 1. – С. 21-31.
317. Югай А. М. Эффективность производства и уровень кислотности почв // Вестник АПК Верхневолжья. – 2015. – №. 4 (32). – С. 3-8.
318. Юсова О. А. Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – №. 2. – С. 24-28.
319. Юсова О. А., Николаев П. Н. Новый высококачественный сорт ярового ячменя Омский // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – №. 4. – С. 68-76.
320. Яковлева О. В. Методы изучения генетического разнообразия ячменя на алюмоустойчивость // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2013. – Т. 171. – С. 117-122.
321. Ярцев Г. Ф., Бадреев Р. М. Фотосинтетические и структурные параметры разнобиологических сортов ярового ячменя в зависимости от норм высева в учхозе ОГАУ // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – №. 24. – С. 414-422.
322. Ahmed I. M., Nadira U. A., Qiu C. W., Cao F., Zhang G., Holford P., Wu F. Tolerance to drought, low pH and Al combined stress in Tibetan wild barley is associated with improvement of ATPase and modulation of antioxidant defense system // International Journal of Molecular Sciences. – 2018. – V. 19. – №. 11. – P. 3553.
323. Almedeij J. Long-term periodic drought modeling // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. – 2016. – V. 30. – P. 901-910.
324. Baquy M., Li J. Y., Xu C. Y., Mehmood K., Xu R. K. Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops // Solid Earth. – 2017. – V. 8. – №. 1. – P. 149-159.

325. Berdahl J. D., Rasmusson D. C., Moss D. N. Effects of Leaf Area on Photosynthetic Rate, Light Penetration, and Grain Yield in Barley 1 // *Crop Science*. – 1972. – V. 12. – №. 2. – P. 177-180.
326. Bian M., Zhou M., Sun D., Li C. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants // *The Crop Journal*. – 2013. – V. 1. – №. 2. – P. 91-104.
327. Brudvig G. W., Worland S. T., Sauer K. Procedure for rapid isolation of photosynthetic reaction centers using cytochrome c affinity chromatography // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 1983. – V. 80. – №. 3. – P. 683-686.
328. Chiasson T. C. Effect of N, P, Ca, and Mg treatments on yield of barley varieties grown on acid soils // *Canadian Journal of Plant Science*. – 1964. – V. 44. – №. 6. – P. 525-530.
329. Dai H., Shan W., Zhao J., Zhang G., Li C., Wu F. Difference in response to aluminum stress among Tibetan wild barley genotypes // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. – 2011. – V. 174. – №. 6. – P. 952-960.
330. Datt B. Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+ b, and total carotenoid content in eucalyptus leaves // *Remote sensing of environment*. – 1998. – V. 66. – №. 2. – P. 111-121.
331. Dawood M. F. A., Tahjib-Ul-Arif M., Sohag A. A. M., Abde Latef A. A. H. Fluoride mitigates aluminum-toxicity in barley: morpho-physiological responses and biochemical mechanisms // *BMC Plant Biology*. – 2022. – V. 22. – №. 1. – P. 287.
332. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management // *Sustainable Agriculture*. – 2009. – P. 153-188.
333. Hu H., Hua W., Shen A., Zhou H., Sheng L., Lou W., Zhang G. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence of barley exposed to simulated acid rain // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – V. 28. – P. 42776-42786.

334. Jozefaciuk G., Szatanik-Kloc A. Decrease in variable charge and acidity of root surface under Al treatment are correlated with Al tolerance of cereal plants // *Plant and Soil*. – 2004. – V. 260. – P. 137-145.
335. Kalaji H. M., Carpentier R., Allakhverdiev S. I., Bosa K. Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. – 2012. – V. 112. – P. 1-6.
336. Kouril R., Ilík P., Naus J., Schoefs B. On the limits of applicability of spectrophotometric and spectrofluorimetric methods for the determination of chlorophyll a/b ratio // *Photosynthesis Research*. – 1999. – V. 62. – P. 107-116.
337. Leifert C., Pryce S., Lumsden P. J., Waites W. M. Effect of medium acidity on growth and rooting of different plant species growing in vitro // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 1992. – V. 30. – P. 171-179.
338. Li R., Guo P. G., Michael B., Stefania G., Salvatore C. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley // *Agricultural Sciences in China*. – 2006. – V. 5. – №. 10. – P. 751-757.
339. Li X., Jimoh S. O., Li Y., Duan J., Cui Y., Jin K., Zhen W., Zhang Y. Stress memory and phyllosphere/soil legacy underlie tolerance and plasticity of *Leymus chinensis* to periodic drought risk // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2022. – V. 312. – P. 108717. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108717> (дата обращения: 18.10.2024).
340. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. – 2001. – №. 1. – P. F4.3.1–F4.3.8.
341. Miralles D. J., Abeledo L., Prado S. A., Chenu K., Serrago R. A., Savin R. Crop physiology case histories for major crop. - Amsterdam: Academic Press, 2021. - 757 p.
342. Navacode S., Weidner A., Varshney R.K., Lohwasser U., Scholz U., Roder M.S., Borner A. A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals // *Agric. Conspec. Sci*. – 2010. – V. 75. – №. 4. – P. 191–196.

343. Neenan M. The effects of soil acidity on the growth of cereals with particular reference to the differential reaction of varieties thereto // *Plant and Soil*. – 1960. – V. 12. – P. 324-338.
344. Shim J. W., Lee H. S., Choi K. J. Effect of soil acidity and nitrogen fertilization on the growth and yield of barley cultivars // *Korean journal of crop science*. – 1988. – V. 33. – №. 1. – P. 12-22.
345. Solh M., van Ginkel M. Drought preparedness and drought mitigation in the developing world s drylands // *Weather and climate extremes*. – 2014. – V. 3. – P. 62-66.
346. Velicevici G., Madosa E., Ciulca S., Coradini R., Cretescu I., Malaescu M., Lazar A. Influence of water stress on the chlorophyll content in barley // *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. – 2013. – V. 17. – №. 2. – P. 223-228.
347. Wheeler D. M., Edmeades D. C., Christie R. A., Gardner R. Comparison of techniques for determining the effect of aluminium on the growth of, and the inheritance of aluminium tolerance in wheat // *Plant and soil*. – 1992. – V. 146. – P. 1-8.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Сортимент изученных образцов генетической коллекции ячменя

Номер каталога	Название образца	Разновидность	Страна/регион происхождения
1	2	3	4
Российская Федерация			
к-30806*	Новичок	<i>nutans</i>	Кировская область
я-207**	Бионик	<i>nutans</i>	Кировская область
я-389	Форвард	<i>nutans</i>	Кировская область
я-245	Витрум	<i>nutans</i>	Кировская область
я-184	Родник Прикамья	<i>nutans</i>	Кировская область
я-192	Памяти Родины	<i>nutans</i>	Кировская область
я-237	Дина	<i>nutans</i>	Кировская область
я-390	Форсаж	<i>nutans</i>	Кировская область
я-1	Спутник	<i>nudum</i>	Кировская область
я-6	999-93	<i>nutans</i>	Кировская область
я-291	М 4-16-3	<i>nutans</i>	Кировская область
я-295	М 9-5-3	<i>nutans</i>	Кировская область
я-292	М 5-11	<i>nutans</i>	Кировская область
я-289	М 2-37-6	<i>nutans</i>	Кировская область
я-340	Памяти Дудина	<i>nutans</i>	Кировская область
я-288	М 11-13-Ха	<i>nutans</i>	Кировская область
я-290	М 4-10	<i>nutans</i>	Кировская область
я-293	М 5-3	<i>nutans</i>	Кировская область
я-294	М 6-10	<i>nutans</i>	Кировская область
я-287	М 10-12	<i>nutans</i>	Кировская область
к-30846	Сигнал	<i>nutans</i>	Алтайский край
к-31109	Ворсинский 2	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-186	Алей	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-272	Л-102/17	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-273	Л-103/16	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-274	Л-168/16	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-275	Л-199/16	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-276	Л-209/11	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-277	Л-223/15	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-278	Л-236/10	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-279	Л-243/15	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-339	П-23/08	<i>nutans</i>	Алтайский край
я-361	Салаир	<i>nutans</i>	Алтайский край
к-31115	Таусень	<i>nutans</i>	Архангельская область
я-201	Белгородский 100	<i>nutans</i>	Белгородская область
к-31197	Докучаевский 10	<i>nutans</i>	Воронежская область
к-31198	Буян	<i>nutans</i>	Красноярский край
к-31199	Оленёк	<i>nutans</i>	Красноярский край
я-415	Биос-1	<i>nutans</i>	Московская область
я-322	Нур	<i>nutans</i>	Московская область
к-15619	Полярный 14	<i>pallidum</i>	Мурманская область
к-30919	Омский голозерный 1	<i>nudum</i>	Омская область
к-31103	Вариант	<i>pallidum</i>	Пензенская область

Продолжение приложения А

1	2	3	4
к-30926	Казьминский	<i>rikotense</i>	Приморский край
к-30892	Наран	<i>nutans</i>	Республика Бурятия
к-31046	Щедрый	<i>nutans</i>	Ростовская область
к-31104	Волгодон	<i>pallidum</i>	Самарская область
к-31177	Казак	<i>submedicum</i>	Самарская область
к-31099	Зенит	<i>nutans</i>	Тюменская область
к-31100	Зауральский 1	<i>nutans</i>	Тюменская область
к-31116	Кредо	<i>nutans</i>	Челябинская область
к-31286	С-105	<i>coeleste</i>	Челябинская область
Восточная Европа			
к-31171	Липень	<i>rikotense</i>	Беларусь
к-29917	Сябра	<i>nutans</i>	Беларусь
я-181	Адам	<i>nudum</i>	Беларусь
я-270	Куфаль	<i>nutans</i>	Беларусь
я-356	Рейдер	<i>nutans</i>	Беларусь
к-31173	Талер	<i>rikotense</i>	Беларусь
к-31148	Фобос	<i>neogenes</i>	Беларусь
к-31172	Дублет	<i>neogenes</i>	Беларусь
к-31147	Хаго	<i>nutans</i>	Беларусь
к-31149	Магутны	<i>deficiens</i>	Беларусь
к-30235	Зазерский 85	<i>nutans</i>	Беларусь
к-30256	Rodos	<i>erectum</i>	Польша
к-29010	Одесский 115	<i>nutans</i>	Украина
к-31094	Бадьорий	<i>nutans</i>	Украина
к-31097	Юкатан	<i>nutans</i>	Украина
к-31093	Соборный	<i>nutans</i>	Украина
к-31062	Персей	<i>nutans</i>	Украина
к-31064	Казковский	<i>nutans</i>	Украина
к-31186	Respect	<i>nutans</i>	Чехия
к-31179	Radegast	<i>nutans</i>	Чехия
Западная Европа			
я-52	Crusades	<i>nutans</i>	Великобритания
к-30025	Prisma ATF 2/802	<i>erectum</i>	Великобритания
к-30468	Orthega	<i>nutans</i>	Германия
к-30889	Danuta	<i>deficiens</i>	Германия
к-31170	Калькюль	<i>nutans</i>	Германия
к-31190	Mauritia	<i>nutans</i>	Германия
к-31193	Issota	<i>nutans</i>	Германия
к-31192	Jenuta	<i>nutans</i>	Германия
к-31178	Lawina	<i>nudum</i>	Германия
к-29317	HVS 59393	<i>nutans</i>	Германия
к-30431	Princesse	<i>nutans</i>	Германия
к-31242	J.B. Flavour	<i>nutans</i>	Германия
к-31243	J.B. Maltasia	<i>nutans</i>	Германия
к-19798	Sultan	<i>nutans</i>	Нидерланды
к-31191	2033E	<i>deficiens</i>	Франция
к-29180	Natasha	<i>nutans</i>	Франция
к-30872	Melton	<i>nutans</i>	Франция

1	2	3	4
я-4	752А	<i>pallidum</i>	Швейцария
Северная Европа			
к-30873	Mentor	<i>nutans</i>	Дания
к-31169	Эвергрин	<i>nutans</i>	Дания
к-31188	Truimph	<i>nutans</i>	Дания
к-31242	Анакин	<i>nutans</i>	Дания
к-31143	Irbe (PR-3528)	<i>nudum</i>	Латвия
к-24724	Абава	<i>nutans</i>	Латвия
к-30458	Botnia	<i>parallelum</i>	Финляндия
к-30574	Filippa	<i>nutans</i>	Швеция
к-6496	Svanhals	<i>erectum</i>	Швеция
к-30375	Cooper	<i>nutans</i>	Эстония
к-30379	Mie	<i>nutans</i>	Эстония
Южная Европа			
к-28115	Novosadski 301	<i>nutans</i>	Югославия
Северная Америка			
к-31108	CDC MC Gwire	<i>nudum</i>	Канада
к-31105	Tercel	<i>nudum</i>	Канада
к-31106	CDC Gainer	<i>nudum</i>	Канада
к-31107	AC Alberte	<i>nudum</i>	Канада
к-31053	Haxby	<i>medicum</i>	США
к-31049	Bear	<i>nudum</i>	США
к-31050	Clearwater	<i>nutans</i>	США
к-31059	Tamalpais	<i>coeleste</i>	США
к-3367	Nakano wase	<i>nutans</i>	США
к-18686	Chevron C.I. 1111	<i>pallidum</i>	США
к-31057	Tetonia	<i>nutans</i>	США
к-31061	Sublette	<i>nutans</i>	США
Южная Америка			
к-21957	Bonita	<i>nutans</i>	Аргентина
к-35425	NCL 95098	<i>nutans</i>	Аргентина
к-30349	C.I. 11084 Lan	<i>pallidum</i>	Перу
Восточная Азия			
к-2929	Местный	<i>trifurcatum</i>	Китай
к-2930	Местный	<i>violaceum</i>	Китай
к-18709	Murasaki mochi	<i>violaceum</i>	Япония
Южная Азия			
к-5983	Местный	<i>coeleste</i>	Афганистан
к-3506	Местный	<i>asiaticum</i>	Индия
Центральная Азия			
к-31138	Медикум 11	<i>medicum</i>	Казахстан
к-31139	Медикум 125	<i>medicum</i>	Казахстан
к-31140	Медикум 176	<i>medicum</i>	Казахстан
к-31124	Асем	<i>nutans</i>	Казахстан
Австралия			
к-5210	Makbo	<i>trifurcatum</i>	Австралия
к-31174	Fitzroy	<i>nutans</i>	Австралия
к-30290	Tallon	<i>nutans</i>	Австралия

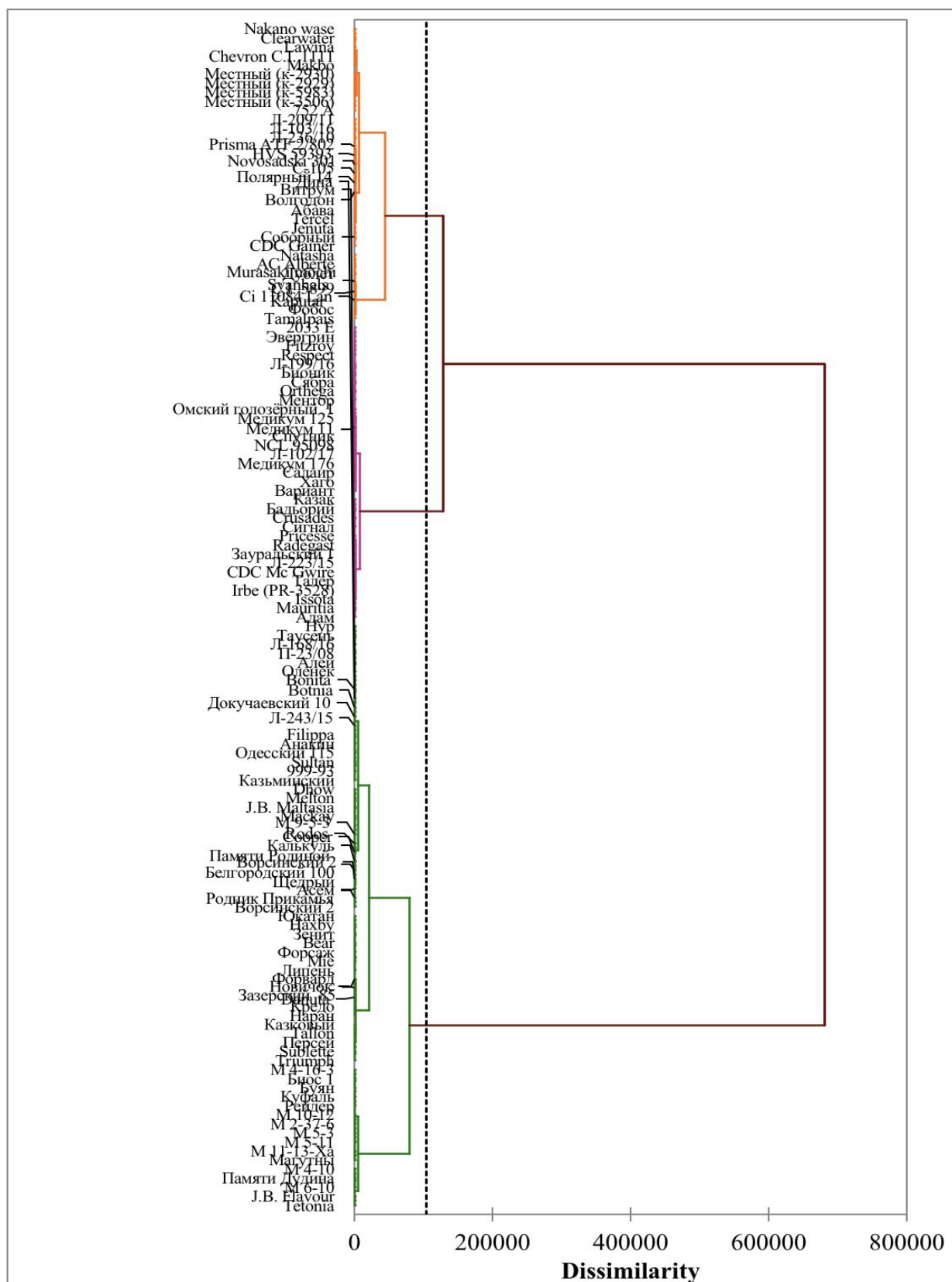
Продолжение приложения А			
1	2	3	4
к-30285	Kaputar	<i>nutans</i>	Австралия
к-31156	Dhow	<i>nutans</i>	Австралия
к-31153	Mackay	<i>nutans</i>	Австралия

Примечание: *к – каталог ВИР; **я – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

Источники хозяйственно-ценных признаков генетической
коллекции ячменя

Признак	Образец
Урожайность	М 4-10, Памяти Дудина, М 6-10, J.B. Flavour, Tetonia
Продуктивная кустистость	NCL 95098, Kaputar
Длина колоса	Витрум, Родник Прикамья, П-23/08, Буян, Юкатан, Абава, CDC Mc Gwire, Bear
Количество зерен	Форвард, Сигнал, П-23/08, Буян, Оленёк, Полярный 14, Вариант, Казьминский, Волгодон, С-105, Липень, Талер, Зазерский 85, Юкатан, Danuta, 752A, Irbe (PR-3528), Абава, CDC Mc Gwire, CDC Gainer, Bear, Tamalpais, Chevron C.I. 1111, Местный (к-2929), Местный (к-2930), Murasaki mochi C.I. 5899, Местный (к-5983), Местный (к-3506), Makbo
Масса зерна с главного колоса	Витрум, С-105, П-23/08, Буян, Полярный 14, Вариант, Казьминский, Волгодон, Липень, Талер, 752A, Tamalpais
Масса зерна с растения	Витрум, Памяти Родины, Сябра, Калькюль
Масса 1000 зерен	Хаго
Устойчивость к полеганию (9 баллов)	Бионик, Форсаж, Адам, Зазерский 85, Issota, Mie, NCL 95098
Пыльная головня	Сябра, Crusades, Эвергрин, Filipra
Сетчатая пятнистость	Ci 11084, Местный (к-2929), Местный (к-2930), Makbo
Темно-бурая пятнистость	Danuta, Местный (к-2930), Makbo

Дендрограмма кластеризации генетической коллекции
по основным хозяйственно-ценным признакам, 2020-2022 гг.



Характеристика сформированных кластеров

Кла-стер	Коли-чество образ-цов, шт.	Продук-тивная кусти-стость, шт./раст.	Длина колоса, см	Масса зерна с колоса, г	Масса зерна с растения, г	Уро-жайн-ость, г/м ²	Устой-чи-вость к поле-ганию, балл	Образцы
1	36	1,6±0,1	6,0±0,2	0,87±0,03	1,18±0,05	265±7	7,6±0,2	Витрум, Дина, Л-103/16, Л-209/11, Л-236/10, Полярный 14, Волгодон, С-105, Фобос, Дублет, Соборный, Prisma ATF 2/802, Jenuta, Lawina, HVS 59393, Natasha, 752 А, Эвергрин, Абава, Svanhals, Novosadski 301, Tercel, CDC Gainer, AC Alberte, Clearwater, Tamalpais, Nakano wase, Chevron C.I. 1111, C.I. 11084 Lan, Местный (к-2929), Местный (к-2930), Murasaki mochi C.I. 5899, Местный (к-5983), Местный (к-3506), Makbo, Kaputar
2	33	1,9±0,1	6,8±0,1	0,89±0,02	1,41±0,05	353±3	8,4±0,1	Бионик, Спутник, Сигнал, Л-102/17, Л-168/16, Л-199/16, Л-223/15, Салаир, Омский голозерный 1, Вариант, Казак, Зауральский 1, Сябра, Адам, Талер, Хаго, Бадьорий, Respect, Radegast, Crusades, Ortheга, Mauritia, Issota, Pricesse, 2033 E, Mentor, Irbe (PR-3528), CDC Mc Gwire, NCL 95098, Медикум 11, Медикум 125, Медикум 176, Fitzroy
3	63	1,9±0,1	6,9±0,1	0,91±0,01	1,45±0,03	453±6	7,9±0,1	Новичок, Форвард, Родник Прикамья, Памяти Родиной, Форсаж, 999-93, М 4-16-3, М 9-5-3, М 5-11, М 2-37-6, Памяти Дудина, М 11-13-Ха, М 4-10, М 5-3, М 6-10, М 10-12, Ворсинский 2, Алей, Л-243/15, П-23/08, Таусень, Белгородский 100, Докучаевский 10, Буян, Оленёк, Биос 1, Нур, Казьминский, Наран, Щедрый, Зенит, Кредо, Липень, Куфаль, Рейдер, Магутны, Зазерский 85, Rodos, Одесский 115, Юкатан, Персей, Казковский, Danuta, Калькюль, J.B. Flavour, J.B. Maltasia, Sultan, Melton, Triumph, Анакин, Botnia, Filippa, Cooper, Mie, Haxby, Bear, Tetonia, Sublette, Bonita, Асем, Tallon, Dhow, Mackay

Вклад факторов и их взаимодействия в формирование хозяйственно-ценных признаков сортов ячменя при засухе, %

Признак	Сорт (фактор А)	Стрессовый фон (фактор В)	Взаимодействие А×В	Неучтенные факторы
Урожайность	11,7	40,1*	24,5*	23,6
Количество растений, сохранившихся к уборке	26,6	34,0*	17,2	22,2
Общая кустистость	25,5	34,0	24,0	16,5
Продуктивная кустистость	20,1	24,5	37,4	18,0
Продуктивный стеблестой	13,1	33,2*	38,1*	15,6
Высота растений	23,8	41,0*	25,8*	9,3
Длина колоса	20,3*	35,2*	20,3*	24,2
Плотность колоса	34,3*	25,5*	18,9	21,4
Количество колосков	20,0*	30,5*	24,4*	25,0
Количество зерен	30,3*	31,0*	27,8	10,9
Масса зерна с главного колоса	26,2*	28,0*	26,8	18,9
Масса зерна с растения	22,3	36,4*	29,9*	11,4
Масса 1000 зерен	20,1*	48,7*	20,4*	10,7

Примечание: * – значения статистически значимы при $P > 0,95$

Влияние засухи на элементы структуры продуктивности ячменя, 2021-2023 гг.

Период создания засухи (фактор В)	Высота растений, см	Продуктивный стеблестой, шт./м ²	Длина колоса, см	Плотность колоса, шт.	Количество колосков, шт.	Количество зерен, шт.
Памяти Родиной (фактор А)						
Контроль	76,3	315	9,3	12,2	25,8	22,6
Всходы – кущение	74,0	303	9,4	12,1	25,3	21,8
Кущение – выход в трубку	74,8	364	9,4	12,3	23,8*	21,8
Выход в трубку – колошение	77,2	284	9,1	12,0	25,1	21,3
Колошение – созревание	73,5	305	9,1	12,7	25,6	22,9
Всходы – созревание	67,7*	290	8,7*	12,2	24,3*	21,1
Родник Прикамья						
Контроль	79,1	406	10,1	12,0	26,9	24,5
Всходы – кущение	73,9*	303*	9,4	11,6	25,1	23,3
Кущение – выход в трубку	74,4*	326	9,5	11,8	25,4	22,6
Выход в трубку – колошение	73,1*	319	9,2*	11,9	25,2*	22,8
Колошение – созревание	75,5*	315	8,9	12,3	25,2	23,3
Всходы – созревание	68,1*	307*	9,1*	11,9	25,1*	23,6
Среднее по фактору В						
Контроль	77,7	361	9,7	12,1	26,4	23,6
Всходы – кущение	74,0*	303*	9,4	11,9	25,2	22,6
Кущение – выход в трубку	74,6*	345	9,5	12,1	24,6	22,2
Выход в трубку – колошение	75,2*	302	9,2*	12,0	25,2*	22,1*
Колошение – созревание	74,5*	310	9,0	12,5	25,4	23,1
Всходы – созревание	67,9*	299*	8,9*	12,1	24,7*	22,4*
А	–	–	0,2	0,2	0,4	0,4
НСР ₀₅ В	2,1	36	0,3	0,3	0,7	0,8
А×В	3,0	51	0,4	–	1,0	–

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

Приложение Ж

Содержание пигментов в листьях ячменя при наличии засухи, 2021-2023 гг.

Период создания засухи (фактор В)	Флаговые листья						Подфлаговые листья					
	хлоро- филл a, мг/г	хлоро- филл b, мг/г	a/b, мг/г	каро- тино- иды, мг/г	a+b/ка- ротино- иды, мг/г	ССК, %	хлоро- филл a, мг/г	хлоро- филл b, мг/г	a/b, мг/г	каро- тино- иды, мг/г	a+b/ кароти- ноиды, мг/г	ССК, %
Памяти Родиной (фактор А)												
Контроль	13,2	7,3	1,8	3,2	6,4	78,0	15,4	8,6	1,8	3,7	6,5	78,3
Всходы – кущение	13,2	7,9*	1,7	3,0*	7,0*	82,1*	14,0*	7,9*	1,8	3,3	6,6	78,2
Кущение – выход в трубку	14,0*	7,8*	1,8	3,4*	6,4	78,5	15,6	8,9	1,8	3,6	6,8*	79,8
Выход в трубку – колошение	12,9	7,5	1,7	3,0*	6,8*	79,6*	15,1	8,5	1,8	3,5	6,7	78,1
Всходы – созревание	13,1	8,1*	1,6	3,0*	7,1*	84,0*	14,3*	8,7	1,6*	3,2	7,2*	82,5*
Родник Прикамья												
Контроль	13,5	7,4	1,8	3,4	6,2	78,3	15,1	8,3	1,8	3,7	6,3	77,7
Всходы – кущение	13,2	7,8*	1,7	3,1*	6,8*	81,3*	15,3	8,9*	1,7	3,5	6,9*	81,0*
Кущение – выход в трубку	13,5	8,1*	1,7	3,2*	6,8*	81,5*	15,8*	10,0*	1,6*	3,5	7,4*	84,7*
Выход в трубку – колошение	13,3	8,1*	1,6	3,0*	7,1*	82,8*	14,2*	8,2	1,7	3,3	6,8*	78,9
Всходы – созревание	12,0*	7,6	1,6	2,7*	7,3*	84,4*	14,4*	8,8*	1,6*	3,1	7,5*	82,6*
Среднее по фактору В												
Контроль	13,4	7,4	1,8	3,3	6,3	78,2	15,3	8,5	1,8	3,7	6,4	78,0
Всходы – кущение	13,2	7,9*	1,7	3,1*	6,9*	81,7*	14,7*	8,4	1,8	3,4*	6,8*	79,6*
Кущение – выход в трубку	13,8*	8,0*	1,7	3,3	6,6*	80,0*	15,7*	9,5*	1,7	3,6	7,1*	82,3*
Выход в трубку – колошение	13,1	7,8*	1,7	3,0*	7,0*	81,2*	14,7*	8,4	1,8	3,4*	6,8*	78,5
Всходы – созревание	12,6*	7,9*	1,6	2,9*	7,2*	84,2*	14,4*	8,8*	1,6*	3,2*	7,3*	82,6*
НСР ₀₅ А	0,2	0,1	–	0,1	–	0,6	–	0,1	0,1	–	0,1	0,7
В	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	1,2
А×В	0,4	0,2	–	0,1	0,2	1,5	0,4	0,3	0,1	–	0,2	1,7

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

Приложение И

Вклад факторов и их взаимодействие в формирование хозяйственно-ценных признаков генотипов ячменя при наличии засухи, %

Признак	Генотип (фактор А)	Стрессовый фон (фактор В)	Взаимодействие факторов А×В	Неучтенные факторы
Урожайность	29,5*	42,7*	16,7	11,1
Общая кустистость	39,5*	23,9	24,8	11,7
Продуктивная кустистость	34,9*	29,3*	22,3	13,4
Продуктивный стеблестой	37,1*	23,4*	16,8	22,7
Высота растений	42,1*	40,4*	12,9*	4,5
Длина колоса	60,7*	20,3*	8,7*	10,2
Плотность колоса	57,8*	17,2*	8,6*	16,3
Количество колосков	43,6*	34,0*	11,7	10,8
Количество зерен	30,5*	42,1*	16,3*	11,0
Масса зерна с главного колоса	25,5	33,5*	12,7	28,3
Масса зерна с растения	20,9*	46,7*	19,6*	12,9
Масса 1000 зерен	59,0*	8,6*	21,8*	10,7

Примечание: * – значения статистически значимы при $P > 0,95$

Влияние осмотического стресса на показатели проростков ячменя

Генотип	Всхожесть, %		Сухая масса корней, г		Сухая масса ростков, г		RSR, %		Относительная RSR, %
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	
Новичок	93,3	83,3	0,281	0,107	0,183	0,018	153,3	607,5	396,4
Дина	93,3	43,3	0,232	0,051	0,149	0,010	155,6	527,6	339,1
Родник Прикамья	90,0	80,0	0,216	0,068	0,158	0,026	136,8	257,0	187,9
Форвард	93,3	83,3	0,176	0,101	0,115	0,063	153,2	159,5	104,1
Витрум	99,0	80,0	0,237	0,101	0,200	0,015	118,9	675,6	568,3
Бионик	96,7	93,3	0,236	0,129	0,164	0,032	144,4	400,0	277,0
Памяти Дудина	90,0	63,3	0,193	0,060	0,153	0,011	126,4	529,4	419,0
Зазерский 85	90,0	66,7	0,217	0,067	0,145	0,028	149,7	240,5	160,7
Triumph	86,7	86,7	0,197	0,095	0,162	0,016	121,4	604,3	497,9
Tallon	96,7	80,0	0,230	0,084	0,169	0,010	136,3	836,7	613,9
Среднее	92,9	76,0	0,222	0,086	0,160	0,023	139,6	483,8	356,4

Вклад факторов и их взаимодействие в формирование хозяйственно-ценных признаков генотипов ячменя при повышенной кислотности почвы, %

Признак	Генотип (фактор А)	Стрессовый фон (фактор В)	Взаимодействие факторов А×В	Неучтенные факторы
Урожайность	27,9*	24,0*	20,2	27,9
Общая кустистость	32,7*	27,6*	23,2	16,5
Продуктивная кустистость	32,9*	28,8*	22,6	15,7
Продуктивный стеблестой	34,8*	25,7*	19,6	19,9
Высота растений	42,5*	29,4*	13,8*	14,3*
Длина колоса	58,4*	15,6*	18,0*	7,9
Плотность колоса	50,3*	11,0*	13,0*	25,7
Количество колосков	42,8*	19,8*	11,7*	25,7
Количество зерен	50,4*	13,9*	16,5*	19,2
Масса зерна с главного колоса	29,9*	26,0*	15,2	28,9
Масса зерна с растения	28,0	31,8	26,1	14,1
Масса 1000 зерен	50,1*	20,7*	22,7*	6,5

Примечание: * – значения статистически значимы при $P > 0,95$

Влияние повышенной кислотности почвы на содержание пигментов
во флаговых листьях ячменя

Генотип (Фактор А)	Содержание пигментов, мг/г					
	2021 г.		2022 г.		2023 г.	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Хлорофилл <i>a</i>						
Новичок	12,38	14,03*	6,91	5,28*	8,16	7,03
Дина	13,52	15,31*	7,35	4,88*	8,61	6,46*
Родник Прикамья	13,14	14,89*	6,97	6,10*	9,82	6,86*
Форвард	12,28	14,28*	8,79	7,25*	8,07	8,95
Витрум	14,30	14,50	6,71	5,82*	9,68	8,41
Бионик	14,26	15,37	8,52	7,66*	8,34	8,65
Памяти Дудина	13,19	14,98*	7,55	5,72*	7,11	7,18
Зазерский 85	14,11	16,09*	9,16	7,80*	9,09	7,75
Triumph	13,31	13,65	6,06	7,25*	7,30	7,94
Tallon	12,99	14,46*	6,74	7,00	4,34	5,10
Среднее	13,35	14,76*	7,48	6,48*	8,05	7,43*
НСР ₀₅	A	0,55	0,22		0,47	
	B	0,25	0,10		0,21	
	A×B	1,30	0,31		1,60	
Хлорофилл <i>b</i>						
Новичок	8,12	9,11*	3,33	2,07*	3,67	3,07
Дина	9,21	11,59*	3,31	1,75*	4,07	2,88*
Родник Прикамья	8,54	10,26*	2,94	2,44*	4,50	2,98*
Форвард	7,89	8,59*	4,39	2,98*	3,65	3,87
Витрум	9,17	10,33*	3,20	2,17*	4,31	3,75
Бионик	8,85	10,01*	4,41	3,54*	3,50	4,08
Памяти Дудина	8,18	9,91*	3,95	2,15*	3,27	3,23
Зазерский 85	9,68	11,39*	4,76	3,34*	4,01	3,23
Triumph	8,25	10,12*	2,37	3,55*	3,26	3,63
Tallon	8,40	10,04*	2,84	3,49*	1,83	2,15
Среднее	8,63	10,14*	3,55	2,75*	3,61	3,29*
НСР ₀₅	A	0,32	0,14		0,25	
	B	0,14	0,06		0,11	
	A×B	0,45	0,30		0,83	

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

Приложение Н

Вклад факторов и их взаимодействия в формирование хозяйственно-ценных признаков сортов ячменя при изменении условий выращивания, %

Признак	Сорт (фактор А)	Количество высеянных семян (фактор В)	Взаимодействие факторов А×В	Неучтенные факторы
Урожайность	42,3*	7,0	40,7*	10,0
Количество всходов	18,8*	42,3*	10,8	28,1
Количество растений, сохранившихся к уборке	19,4*	47,9*	16,0	16,7
Общая кустистость	4,7	55,1*	13,6	26,6
Продуктивная кустистость	6,7	45,0*	19,3	29,0
Продуктивный стеблестой	31,7*	21,1*	19,6	27,6
Высота растений	41,3*	24,4*	26,4*	7,9
Длина колоса	35,2*	26,9*	21,5	16,4
Плотность колоса	36,5*	16,0	20,1	27,4
Количество колосков	29,7*	25,7*	19,7	24,9
Количество зерен	28,5*	22,6*	19,8	29,1
Масса зерна с главного колоса	20,8	26,7	23,7	28,8
Масса зерна с растения	9,4	44,5*	17,7	28,4
Масса 1000 зерен	35,4*	19,1*	18,1*	27,4
Натура зерна	40,5*	26,6*	27,3*	5,6
Выравненность (2,8+2,5)	28,3	30,4	28,7	12,6

Примечание: * – значения статистически значимы при $P > 0,95$

Приложение П

Полевая всхожесть, число всходов и сохранность растений ячменя

в зависимости от количества высеванных семян, 2021-2023 гг.

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Количество всходов, шт./м ²	Полевая всхожесть, %	Густота стеблестоя перед уборкой, шт./м ²	Сохранность растений к уборке, %
Памяти Родины(фактор А)				
500 (контроль)	366	73	302	82
600	390	65	329	84
700	500*	71	413*	83
800	613*	77	469*	76
НСР ₀₅ фактор В	85	—	92	—
Новичок				
500 (контроль)	416	83	380	91
600	509*	85	425*	83
700	569*	81	502*	88
800	595*	74	455*	76
НСР ₀₅ фактор В	64	—	62	—
Родник Прикамья				
500 (контроль)	369	74	344	93
600	513*	86	455*	89
700	560*	80	450*	80
800	596*	75	559*	94
НСР ₀₅ фактор В	111	—	100	—
Среднее по фактору А				
Памяти Родины	467	72	378	81
Новичок	522	81	440	85
Родник Прикамья	510	79	452	89
Среднее по фактору В				
500 (контроль)	384	77	342	89
600	471*	78	403*	85
700	543*	78	455*	84
800	602*	75	494*	82
НСР ₀₅	А-42 В-48	А-7 В –	А-40 В-46	А-6 В –

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

Влияние густоты стеблестоя на высоту и устойчивость
к полеганию растений ячменя, 2021-2023 гг.

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, балл
Памяти Родины (фактор А)		
500 (контроль)	60,5	4,8
600	58,9	5,0
700	59,1	4,8
800	62,5	4,8
Среднее по фактору А	60,3	4,8
Новичок		
500 (контроль)	67,1	4,5
600	65,4	4,6
700	70,7	4,0
800	73,4*	3,3
Среднее по фактору А	69,1	4,1
Родник Прикамья		
500 (контроль)	65,5	3,9
600	62,6	4,5
700	63,2	4,3
800	68,4	3,3
Среднее по фактору А	64,9	4,0
Среднее по фактору В		
500 (контроль)	64,3	4,4
600	62,3	4,7
700	64,3	4,3
800	68,1*	3,8
НСР ₀₅	А-2,6 В-3,0 А×В-5,2	—

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

Влияние густоты стеблестоя на параметры колоса
и продуктивность растений ячменя, 2021-2023 гг.

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Длина колоса, см	Плотность колоса, шт.	Количе- ство колосков, шт.	Количе- ство зерен, шт.	Масса зерна,г	
					с главного колоса	с растения
Памяти Родины (фактор А)						
500 (контроль)	6,8	13,2	20,6	18,9	0,90	1,55
600	6,1*	13,7	18,9	17,0	0,79	1,04
700	6,4	13,7	19,7	17,7	0,82	1,09
800	6,0*	13,6	18,8	17,4	0,81	0,97
Среднее по фактору А	6,3	13,5	19,5	17,7	0,83	1,16
НСР ₀₅ фактор В	0,5	—	—	—	—	—
Новичок						
500 (контроль)	7,0	13,4	21,5	19,1	0,84	1,35
600	6,8	13,3	20,8	18,9	0,82	1,16
700	7,0	13,2	20,9	19,5	0,85	1,12
800	6,7	13,4	20,7	19,4	0,87	1,25
Среднее по фактору А	6,9	13,3	21,0	19,2	0,85	1,22
НСР ₀₅ фактор В	—	—	—	—	—	—
Родник Прикамья						
500 (контроль)	7,4	12,1	20,7	19,1	0,86	1,53
600	7,0	12,5	20,1	18,1	0,82	1,17
700	6,8*	12,1	18,9	17,5	0,80	1,06
800	6,7*	13,0	19,7	17,5	0,79	0,98
Среднее по фактору А	7,0	12,4	19,9	18,1	0,82	1,19
НСР ₀₅ фактор В	0,4	—	—	—	—	—
Среднее по фактору В						
500 (контроль)	7,1	12,9	20,9	19,0	0,87	1,48
600	6,6*	13,2	19,9*	18,0*	0,81	1,12*
700	6,8*	13,0	19,8*	18,2*	0,82	1,09*
800	6,5*	13,3	19,7*	18,1*	0,83	1,07*
НСР ₀₅	А	0,2	0,4	0,8	0,7	—
	В	0,2	—	0,9	0,8	—

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

Влияние густоты стеблестоя на показатели качества зерна ячменя,

2021-2023 гг.

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Выравненность (2,8+2,5), %
Памяти Родины (фактор А)			
500 (контроль)	45,7	681,2	92,7
600	44,3*	689,4	93,7
700	42,2*	681,0	85,5*
800	43,7*	689,6	91,6
Среднее по фактору А	44,0	685,3	90,9
Новичок			
500 (контроль)	42,7	702,6	92,2
600	40,9*	702,5	91,0
700	41,3*	701,2	92,4
800	42,1	713,0	90,6
Среднее по фактору А	41,8	704,8	91,6
Родник Прикамья			
500 (контроль)	43,5	702,1	92,8
600	44,9*	709,4	93,6
700	43,0	707,9	92,8
800	43,3	713,9	91,3
Среднее по фактору А	43,7	708,3	92,6
Среднее по фактору В			
500 (контроль)	44,0	695,3	92,6
600	43,3	700,4*	92,8
700	42,2*	696,7	90,2*
800	43,1*	703,6*	91,2*
НСР ₀₅ А	0,7	3,8	1,1
В	0,8	4,4	1,3
А×В	1,3	—	2,3

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

Влияние густоты стеблестоя на биохимические показатели
качества зерна ячменя

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Белок, %				Крахмал, %			
	2021 г (фактор С)	2022 г.	2023 г.	сред- нее	2021 г.	2022 г.	2023г.	сред- нее
Памяти Родины (фактор А)								
500 (контроль)	11,4	8,1	8,9	9,4	36,0	40,1	38,4	38,2
600	12,0	8,1	9,7	9,9*	35,5	39,1	38,1	37,6
700	11,2	8,0	8,3	9,2	36,4	38,8	37,2	37,4*
800	9,2	7,9	8,2	8,4*	37,8	38,3	37,7	37,9
Среднее по фактору А	10,9	8,0	8,7	9,2	36,4	39,1	37,8	37,8
Новичок								
500 (контроль)	11,3	9,6	10,8	10,6	36,7	37,1	37,7	37,2
600	10,5	10,5	9,3	10,1*	36,3	37,0	36,2	36,5
700	10,3	10,5	9,7	10,2*	35,5	38,6	37,2	37,1
800	10,2	10,2	9,7	10,0*	37,0	37,6	37,7	37,4
Среднее по фактору А	10,6	10,2	9,9	10,2	36,4	37,6	37,2	37,0
Родник Прикамья								
500 (контроль)	11,8	8,5	10,7	10,3	35,4	38,1	37,0	36,8
600	10,0	9,0	10,5	9,8*	35,3	37,3	37,1	36,6
700	9,7	9,3	9,8	9,6*	36,9	37,6	39,3	37,9*
800	9,8	8,7	10,3	9,6*	37,1	38,5	36,0	37,2
Среднее по фактору А	10,3	8,9	10,3	9,8	36,2	37,9	37,3	37,1
Среднее по фактору В								
500 (контроль)	11,5	8,7	10,1	10,1	36,0	38,4	37,7	37,4
600	10,8	9,2	9,8	10,0	35,7	37,8	37,1	36,8*
700	10,4	9,3	9,3	9,7*	36,3	38,3	37,9	37,5
800	9,8	8,9	9,4	9,4*	37,0	37,9	37,6	37,5
Среднее по фактору С	10,7	9,0	9,6	9,8*	36,2	38,1	37,6	37,3
НСР ₀₅	А	—	—	0,2	—	—	—	0,4
	В	—	—	0,2	—	—	—	0,4
	А×В	—	—	0,3	—	—	—	0,7
	С	—	—	0,2	—	—	—	0,3
	А×С	—	—	0,3	—	—	—	0,6
	В×С	—	—	0,3	—	—	—	0,7
	А×В×С	—	—	0,5	—	—	—	1,2

Примечание: * – различия с контролем статистически значимы при $P > 0,05$

Степень поражения и развитие корневых гнилей
у 14-дневных проростков ячменя

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Год сбора зерна						Среднее по фактору В		
	2021 г.		2022 г.		2023 г.				
	Р, %*	Pb, %	Р, %	Pb, %	Р, %	Pb, %	Р, %	Pb, %	
Памяти Родиной (Фактор А)									
500 (контроль)	76,2	36,9	62,0	28,0	54,2	21,6	64,1	28,8	
600	73,3	31,7	70,0	30,0	64,0	22,0	69,1	27,9	
700	65,9	36,5	59,3	24,8	45,4	17,6	56,9	26,3	
800	64,7	33,1	64,0	27,0	32,0	12,0	48,0	19,5	
Среднее по фактору А	—	—	—	—	—	—	59,5	25,6	
Среднее по фактору С	71,8	35,0	63,8	27,4	48,9	18,3	—	—	
Новичок									
500 (контроль)	62,0	29,0	50,0	21,5	52,0	23,0	54,6	24,5	
600	65,0	27,3	56,5	25,0	56,5	20,7	59,3	24,3	
700	72,0	33,0	52,6	28,3	45,0	16,7	56,5	26,0	
800	65,2	25,3	53,4	22,5	28,0	9,0	40,7	15,7	
Среднее по фактору А	—	—	—	—	—	—	52,7	22,6	
Среднее по фактору С	66,3	29,6	53,1	24,3	45,4	17,3	—	—	
Родник Прикамья									
500 (контроль)	58,5	22,0	47,5	23,2	52,0	17,0	52,7	20,7	
600	72,1	31,8	42,0	15,5	28,0	7,0	47,4	18,1	
700	44,9	17,3	59,3	27,8	20,0	6,0	41,4	17,0	
800	60,7	18,4	45,6	14,1	34,0	10,0	39,8	12,5	
Среднее по фактору А	—	—	—	—	—	—	45,3	17,1	
Среднее по фактору С	58,5	23,7	48,6	20,1	33,5	13,3	—	—	
НСП ₀₅	А	—						5,6	3,2
	В	—						5,5	3,0
	С	—						5,0	—
	А×С	—						—	5,6
	В×С	—						9,7	5,6
	А×В×С	—						16,9	9,7

Примечание: * – Р – поражение, Pb – развитие болезни

Содержание пигментов в листьях ячменя в зависимости
от густоты стеблестоя, 2021-2023 гг.

Количество высеянных семян, шт./м ² (фактор В)	Флаговый лист			Подфлаговый лист		
	хлоро- филл <i>a</i> , мг/г	хлоро- филл <i>b</i> , мг/г	% хло- рофилла в ССК	хлоро- филл <i>a</i> , мг/г	хлоро- филл <i>b</i> , мг/г	% хло- рофилла в ССК
Памяти Родины (фактор А)						
500 (контроль)	8,18	4,25	74,96	8,48	4,60	76,52
600	8,30	4,73	77,84	9,17	4,78	73,21
700	8,09	4,27	75,13	9,06	4,64	73,49
800	7,49	3,84	74,20	7,87	3,83	70,66
Среднее по фактору А	8,01	4,27	75,53	8,64	4,46	73,47
Новичок						
500 (контроль)	8,69	4,82	78,35	9,50	5,29	79,21
600	9,69	5,17	77,26	10,11	5,85	80,61
700	9,52	5,25	78,27	10,93	6,13	79,18
800	8,56	5,00	81,36	10,82	6,15	79,76
Среднее по фактору А	9,11	5,06	78,81	10,34	5,86	79,69
Родник Прикамья						
500 (контроль)	8,68	4,66	77,60	9,52	5,32	79,48
600	9,02	5,04	79,72	10,56	6,22	82,32
700	9,46	4,72	75,17	10,27	5,61	77,16
800	8,98	5,07	80,27	12,16	6,30	76,50
Среднее по фактору А	9,03	4,87	78,19	10,63	5,86	78,87
Среднее по фактору В						
500 (контроль)	8,52	4,57	76,97	9,17	5,07	78,40
600	9,00	4,98	78,28	9,95	5,61	78,72
700	9,02	4,74	76,19	10,09	5,46	76,61
800	8,34	4,63	78,61	10,28	5,43	75,64
НСР ₀₅	А	0,70	0,36	2,48	0,84	0,45
	В	—	—	—	—	2,46

Примечание: н.р.* – нет различий

Приложение Ц

Вклад факторов и их взаимодействия в формирование хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов ячменя при загущении посева, %

Признак	Образец (фактор А)	Густота стеблестоя (фактор В)	Взаимодействие факторов А'В	Неучтенные факторы
Урожайность	30,0*	26,3*	31,8*	11,9
Количество всходов	8,6*	73,4*	4,2	13,8
Количество растений, сохранившихся к уборке	19,3*	58,5*	7,0	15,2
Общая кустистость	37,8*	11,2*	34,2*	16,8
Продуктивная кустистость	34,7*	12,3*	35,4*	17,6
Продуктивный стеблестой	24,6*	29,4*	19,2*	26,8
Высота растений	39,0*	17,2	31,9*	11,2
Длина колоса	40,5*	19,5*	28,6*	11,4
Плотность колоса	62,5*	5,7*	15,2	16,6
Количество колосков	39,6*	23,0*	28,9*	8,5
Количество зерен	38,8*	23,8*	30,0*	7,5
Масса зерна с главного колоса	39,3*	22,5	31,3*	6,9
Масса зерна с растения	37,2*	15,9*	38,1*	8,8
Масса 1000 зерен	66,7*	10,9	21,9*	0,5

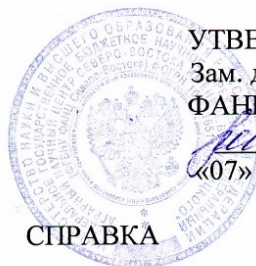
Примечание: * – значения статистически значимы при $P \geq 0,95$

Влияние густоты стеблестоя на полевую всхожесть и сохранность растений
к уборке коллекционных образцов ячменя, 2022-2024 гг.

Образец (фактор А)	Количество всходов				Сохранность растений к уборке			
	шт./м²		%		шт./м²		%	
	количество высеванных семян, шт./м² (фактор В)							
	500	700	500	700	500	700	500	700
Ворсинский 2	451	648	90	93	444	619	89	88
Алей	440	643	88	92	432	615	86	88
Л-243/15	420	629	84	90	416	584	83	83
Л-102/17	462	642	92	92	454	598	91	85
Салаир	453	663	91	95	432	659	86	94
Radegast	448	577	90	82	446	551	89	79
П-23/08	432	660	86	94	422	623	84	89
Л-223/15	438	663	88	95	406	620	81	89
Л-236/10	444	674	89	96	422	659	84	94
АС Alberte	383	560	77	80	324	444	65	63
Л-209/11	442	641	88	92	418	614	84	88
Clearwater	455	585	91	84	436	508	87	73
Jenuta	402	589	80	84	350	589	70	84
CDC Gainer	358	605	72	86	312	544	62	78
Соборный	456	611	91	87	396	593	79	85
Фобос	384	562	77	80	308	418	62	60
Л-103/16	461	651	92	93	456	564	91	81
Л-168/16	491	685	98	98	486	642	97	92
Lawina	430	617	86	88	370	502	74	72
Сигнал	405	669	81	96	398	649	80	93
Форвард	480	635	96	91	466	590	93	84
Бионик	425	645	85	92	424	603	85	86
Витрум	453	642	91	92	452	623	90	89
Зазерский 85	460	685	92	98	438	655	88	94
Памяти Дудина	453	661	91	94	452	629	90	90
Дина	489	671	98	96	469	635	94	91
Triumph	427	646	85	92	450	564	90	81
Tallon	460	656	92	94	428	590	86	84
Среднее	439	636*	88	91	418	589*	84	84
НСР ₀₅	А-57 В-14		—		А-77 В-19		—	

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

Справка о внедрении результатов



УТВЕРЖДАЮ:
Зам. директора ФГБНУ
ФАНЦ Северо-Востока
Баталова Г.А.
«07» октября 2026 г.

СПРАВКА

О внедрении результатов диссертационной работы Панихиной Любови Владимировны «Исходный материал для селекции стрессоустойчивых сортов ячменя в Волго-Вятском регионе»

Настоящей справкой подтверждается, что результаты научных исследований Панихиной Л.В., полученные в результате реализации плана научно-исследовательских работ (государственная регистрация № 1021060407724-6 и 123011900033-3), приняты к внедрению и используются в селекционном процессе в лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя Федерального государственного бюджетного научного учреждения ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока).

1. Содержание внедренных результатов.

В практику научно-исследовательской работы селекционного центра внедрен новый исходный материал ярового ячменя, характеризующийся высокой устойчивостью к множественным стрессам, что имеет ключевое значение для создания сортов, адаптированных к регионспецифичным стрессовым факторам (включая периодическую засуху, избыточное переувлажнение и повышенную кислотность почв Волго-Вятского региона).

Теоретическую и методическую основу внедрения составляют предложенные и апробированные автором методы оценки засухоустойчивости и искусственного регулирования стеблестоя, позволяющие стандартизировать условия эксперимента и воспроизводить контролируемый стресс-фактор с заданной интенсивностью. На основе выявленных закономерностей изменчивости морфофизиологических показателей, а также оценки вклада генотипа и среды в развитие признаков, установлены объективные критерии оценки стрессоустойчивости. Выделенные толерантные генотипы ярового ячменя служат ценным генетическим ресурсом для создания новых конкурентоспособных сортов.

2. Форма, масштабы и этапы внедрения в селекционный процесс.

Результаты научно-исследовательской работы используются при создании новых коммерческих сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона. В частности:

- разработанная методика комплексной оценки засухоустойчивости на постоянной основе применяется в практике лаборатории при скрининге коллекционных генотипов;

- исследованные в рамках диссертационной работы генотипы ярового ячменя включены в схемы скрещиваний с 2023 года. В 2026 году созданные гибридные популяции и перспективные линии проходят комплексную оценку и изучение на различных этапах селекционного процесса:

- в гибридных питомниках изучается 12 гибридных популяций, в том числе 4 гибридные популяции в поколении F_1 и 8 гибридных популяций в поколении F_2 ;

- в селекционном питомнике проходит изучение 13 перспективных линий ярового ячменя.

3. Практическая ценность и эффективность внедрения.

Использование результатов исследований позволило:

- существенно повысить точность и объективность отбора целевых генотипов по морфофизиологическим признакам в стрессовых условиях;

- расширить генетическое разнообразие исходного материала, вовлекаемого в селекционный процесс;

- оптимизировать ранние этапы селекционного процесса за счет стандартизации условий скрининга.

Результаты внедрения подтверждаются внутренними журналами ведения селекционного процесса за 2022-2026 гг., а также публикациями в рецензируемых научных журналах и материалах всероссийских и международных конференций.

Настоящая справка выдана для представления в Диссертационный совет по специальности 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений, созданный на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Председатель комиссии:
Ученый секретарь ФГБНУ
ФАНЦ Северо-Востока

О.М. Пахомова

Члены комиссии:
Зав. отделом озимой ржи,
доктор с.-х. наук

Е.И. Уткина

Вед. научный сотрудник
лаб. биотехнологических методов
селекции сельскохозяйственных растений,
доктор биол. наук

О.Н. Шуплецова