

На правах рукописи

НАДЖОДОВ БОБУРДЖОН БАХОДУРОВИЧ

**СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ
ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В
УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ
РОССИИ**

Специальность:

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва, 2026 г.

Работа выполнена на кафедре генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель:

Баженова Светлана Сергеевна,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры генетики, селекции и семеноводства
ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА имени К.А.
Тимирязева»

Официальные оппоненты:

Лапочкина Инна Федоровна,
доктор биологических наук, главный
научный сотрудник лаборатории генетики и
пребридинга, ФГБНУ Федеральный
исследовательский центр «Немчиновка»

Шепелев Сергей Сергеевич,
кандидат сельскохозяйственных наук,
заведующий лабораторией генетики
зерновых культур ФГБОУ ВО «Омский
государственный аграрный университет
имени П.А. Столыпина»

Ведущая организация:

ФГБУН Институт общей генетики им. Н.И.
Вавилова РАН.

Защита состоится «27» ноября 2026 года в 13 час. 00 мин на заседании диссертационного совета 35.2.030.08, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

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

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

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор сельскохозяйственных наук _____ Е.А. Вертикова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Актуальность исследований обусловлена необходимостью повышения эффективности селекции яровой мягкой пшеницы на основе комплексного изучения исходного материала по продуктивности, адаптивности, устойчивости к болезням, качеству зерна и молекулярно-генетическим маркерам хозяйственно ценных признаков. Особое значение данная проблема имеет для Центрального района Нечернозёмной зоны России, где реализация потенциала урожайности и качества зерна яровой пшеницы во многом ограничивается нестабильностью гидротермических условий, колебаниями температуры и влагообеспеченности в течение вегетационного периода, а также распространением грибных болезней. В этих условиях особую актуальность приобретает выявление сортов и линий, сочетающих высокую урожайность, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, ценные хлебопекарные качества и наличие генетических факторов, перспективных для использования в селекционном процессе. Достоверность полученных результатов подтверждается трёхлетними полевыми, лабораторными и молекулярно-генетическими исследованиями.

Степень разработки. Изучение исходного материала играет ключевую роль в селекции сельскохозяйственных растений. Вопросы селекционно-генетической оценки коллекций яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) остаются актуальными в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России, характеризующегося сложными агроклиматическими условиями (Неттевич, 1983; Антошина, 2000; Дёмина, 2009; Давыдова, 2011; Потоцкая, 2003, 2020; Игнатьева, 2020; Ворончихина, 2022). В последние годы в Центральном районе Нечернозёмной зоны России достигнут значительный прогресс в селекции яровой пшеницы, что подтверждается успехами таких ведущих научных учреждений, как ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», ФГБНУ «ВНИИФ», ФГБНУ «Рязанский НИИСХ», а также рядом российских агрокомпаний, работающих в данном регионе, которые вносят вклад в создание и улучшение урожая и качества яровой мягкой пшеницы (Игнатьева и др., 2020). В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации включено 362 сорта яровой мягкой пшеницы, часть из которых характеризуется потенциалом урожайности 8–10 т/га, высокой устойчивостью к основным заболеваниям и высокими хлебопекарными качествами зерна (Давыдова, 2020; Государственный реестр селекционных достижений, 2026).

Цель исследования – изучить сорта и линии яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по комплексу генотипических и фенотипических хозяйственно ценных признаков, и выделить новый исходный материал для вовлечения в селекционный процесс в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России.

Задачи исследования:

1. Оценить образцы яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по хозяйственно ценным признакам.

2. Определить наличие аллелей генов короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b* и *Rht8c* среди изученных образцов.
3. Провести молекулярно-генетическую идентификацию пшенично-ржаных транслокаций с участием 1RS и сопоставить их с полевой устойчивостью к грибным болезням.
4. Провести молекулярно-генетическую идентификацию аллелей генов фотопериодической чувствительности *Ppd-1*.
5. Провести молекулярно-генетическую идентификацию аллелей генов реакции на яровизацию *Vrn-1* и оценить их связь с продолжительностью межфазных периодов.
6. Провести молекулярно-генетический анализ высокомолекулярных глютеинов, кодируемых локусами *Glu-1*, и выявить аллели, ассоциированные с высоким качеством зерна.
7. Провести комплексную многокритериальную (индексную) оценку изученных образцов по совокупности хозяйственно ценных признаков и выделить генотипы с наиболее благоприятным их сочетанием.
8. На основе выявленных доноров генов хозяйственно ценных признаков получить новый материал для дальнейшего использования в селекции яровой мягкой пшеницы.

Научная новизна исследования. Впервые на основе изучения коллекции сортов и линий яровой мягкой пшеницы различного происхождения по комплексу фенотипических и генотипических данных в условиях Центрального района Нечерноземной зоны Российской Федерации выявлены перспективные образцы, сочетающие оптимальную продолжительность вегетационного периода, высокую продуктивность, устойчивость к основным грибным болезням и высокие хлебопекарные качества. Впервые выполнена молекулярно-генетическая идентификация исследуемых образцов мягкой яровой пшеницы по ключевым генам: короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*; реакции на яровизацию *Vrn-1*, фотопериодической чувствительности *Ppd-1*, а также по наличию пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS. Впервые у исследуемых образцов выполнена молекулярно-генетическая идентификация высокомолекулярных глютеинов (*Glu-1*). На основании проведённых исследований подобраны родительские пары и впервые создан новый селекционный материал - гибридное потомство более 50 комбинаций скрещиваний яровой мягкой пшеницы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты имеют важное теоретическое и прикладное значение для дальнейшего создания адаптивных, высокопродуктивных сортов яровой мягкой пшеницы, обладающих высоким качеством зерна для условий Центрального района Нечернозёмной зоны России. Идентифицированы аллели генов короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b*, *Rht8* и выделены их доноры среди изученных образцов. По генам *Vrn-1* (*Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*), ассоциированным со сроками колошения и продолжительностью вегетационного периода, определены доноры раннеспелости для селекции яровой мягкой пшеницы. Выявлены линии с редко встречающимся аллелем *Ppd-*

D1a, определяющим фотопериодическую нечувствительность. Идентифицированы доноры пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, ассоциированные с высокой устойчивостью к грибным болезням. По высокомолекулярным глютеинин-кодирующим локусам *Glu-1* выявлены ценные, в том числе редко встречающиеся, аллельные комбинации, ассоциированные с высоким хлебопекарным качеством зерна. На основе оценки фенотипических и генотипических данных получено более 50 гибридных комбинаций F₁, часть которых в настоящее время доведена до F₂ и передана для дальнейшего использования в селекционном процессе. Полученные данные, а также выявленные маркеры, генотипы и методические подходы могут быть непосредственно использованы в селекционной практике при создании новых сортов яровой мягкой пшеницы.

Методология и методы исследований. Теоретическая часть основана на систематическом анализе и обобщении отечественных и зарубежных литературных источников по теме исследования. Экспериментальная часть реализована с применением общепринятых и специализированных методов полевых, лабораторных и молекулярно-генетических исследований, что обеспечило получение репрезентативного массива данных. Достоверность результатов подтверждена корректной статистической обработкой с использованием методов дисперсионного и корреляционного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

1. сортобразцы яровой мягкой пшеницы, выделенные на основе комплексного анализа фенотипических и генотипических данных, сочетающие высокую продуктивность, высокое качество зерна и устойчивость к полеганию и основным грибным болезням в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России;
2. генотипы яровой мягкой пшеницы, представляющие ценность для селекции на устойчивость к полеганию и высокую продуктивность, выявленные на основе молекулярно-генетической идентификации аллелей генов короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b* и *Rht8c*;
3. сортобразцы - носители пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, представляющие интерес как источники комплексов генов устойчивости к грибным болезням;
4. аллели генов реакции на яровизацию *Vrn-1*, фотопериодической чувствительности *Ppd-1*, локусов *Glu-1*, представляющие интерес для селекции высокоадаптивных сортов яровой пшеницы с оптимальной продолжительностью вегетационного периода и высокими хлебопекарными качествами;
5. новый гибридный селекционный материал для отбора перспективных генотипов, полученный на основе комплексной оценки хозяйственно ценных признаков и маркер-опосредованной селекции, для создания новых сортов яровой мягкой пшеницы.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием общепринятых и апробированных методов полевых, лабораторных и молекулярно-генетических исследований, а также корректной статистической обработкой данных.

Результаты проведённых исследований были представлены более чем на 15 российских и международных научных конференциях, в том числе на конференциях «Пищевая биотехнология и продовольственная безопасность» (Тюмень, 2022), «Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы» (Минск, 2022), «Достижения и перспективы селекции и технологий возделывания сельскохозяйственных культур» (Москва, 2023), «Современные проблемы генетики, геномики и биотехнологии» (Ташкент, 2023), «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии» (Москва, 2023–2025), «Генофонд и селекция растений» (Новосибирск, 2024), «International Conference of Plant Biology and Biotechnology» (Almaty, 2024), «VIII съезде Вавиловского общества генетиков и селекционеров» (Саратов, 2024), «XVIII Курчатовской междисциплинарной молодёжной научной школе» (Москва, 2025), «PlantGen2025» (Новосибирск, 2025), «Курчатовском геномном форуме» (Москва, 2025), конференции «Генетика-2025» (Москва, 2025) и «5th International Plant Breeding Congress» (Antalya, Türkiye, 2025).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 24 печатные работы, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по научной специальности 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки), 2 статьи в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе данных, 1 статья в другом научном издании и 17 публикаций в материалах российских и международных научных конференций.

Личный вклад автора. Диссертационная работа выполнена при непосредственном участии автора на всех этапах исследования: анализ литературы, обоснование актуальности, постановка цели и задач; проведение полевых опытов, фенологических наблюдений, оценка устойчивости к полеганию и болезням, уборка и обработка материала; лабораторные исследования качества зерна и молекулярно-генетический анализ; статистическая обработка данных, интерпретация результатов и написание текста диссертации. Личный вклад автора составляет 85%, в опубликованных трудах не менее 80%.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 224 страницах, состоит из введения, включающего цель и задачи исследования, шести глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и 10 приложений. Текст содержит 23 таблицы и 16 рисунков. Список использованной литературы 275 источников, в том числе 134 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе представлен анализ отечественных и зарубежных источников, посвящённых селекционно-генетической оценке яровой мягкой пшеницы и её роли в сельскохозяйственном производстве. Рассмотрены основные направления селекции на продуктивность, качество зерна, устойчивость к абиотическим и биотическим факторам в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны

России. Освещены молекулярно-генетические аспекты MAS-селекции, гены короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*, гены реакции на яровизацию *Vrn-1* и фотопериодической чувствительности *Ppd-1*, пшенично-ржаные транслокации 1AL.1RS и 1BL.1RS, а также высокомолекулярные глюteniны *Glu-1*.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Растительный материал для исследования. Материалом исследования послужили 43 образца яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) различного эколого-географического происхождения из коллекции кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень сортов и линий яровой пшеницы, включённых в исследование

№	Сорта/линии	Происхождение/оригинатор
1	Злата (st)	ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»
2	Агата	
3	Саратовская74	ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»
4	Фаворит	
5	Л-57	ФГБНУ ФНЦ «Зернобобовых и крупяных культур»
6	Золушка	
7	Тулайковская 108	ФГБУН «Самарский ФИИЦ РАН», ФАНЦ «Северо-Востока»
8	Симбирцит	ФГБУН «СФИИЦ РАН», ФГУП «Колос»
9	Тюменская 29	ФГБУН «ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН»
10	Обская 2	ФГБНУ ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»
11	Тобольская	ФГБНУ «Алтайский научный центр Агробιοтехнологий»
12	Алтайская Жница	
13	Маргарита	ФГБУН «Самарский ФИИЦ РАН», АО «Приволжское»
14	Учитель	ФГБНУ «ФНЦ Биологических систем и агротехнологий РАН»
15	Гранова	ООО «АСТ Курск»
16	Гранни	«SAATBAU LINZ EGEN» (Австрия)
17	Тризо	DEUTSCHE SAATVEREDELUNG AG (DSV), Германия
18	Ирень	ФГБНУ «Уральский ФАНИЦ РАН»
19	Ласка	РУП НПЦ НАН «Беларуси по земледелию» (Беларусь)
20	Бомбона	Селекционно-семеноводческая фирма «Danko hodowla roslin» (Польша)
21	Арабелла	
22	Мандарина	
23	Канюк	«Secobra Recherches S.A.S» (Франция)
24-43	Линии №23, №35, №59, №65, №66, №67, №70, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №187, №215, №217, №220, №221, №223	CIMMYT

Методы исследований. Полевые опыты проводили в 2022-2024 гг. на Полевой опытной станции РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Площадь делянки составляла 1 м², повторность трёхкратная, размещение систематическое; агротехника общепринятая для Центрального района Нечернозёмной зоны России. Посев осуществлялся селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10 (Россия), норма высева 540 всхожих зерен на 1 м². Опыты закладывали по Методике полевого опыта (Доспехов, 1985). Учёты проводили по Методике госсортоиспытания (Методике государственного сортоиспытания, 1989). Устойчивость к полеганию оценивали по 5-балльной шкале. Устойчивость к грибным болезням (мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине) оценивали

на естественном инфекционном фоне по 9-балльной шкале ВИР. Группу спелости у изученных линий определяли по Международному классификатору СЭВ (Род *Triticum* L., 1984) и по классификатору, утверждённом Госсорткомиссией (Методике госсортоиспытания, 1989). Уборку проводили вручную, обмолот на сноповой молотилке МПТУ-500.

Методика определения физико-биохимических свойств зерна. Физические свойства зерна (масса 1000 зерен, натура, стекловидность) определяли по стандартным и селекционным методикам, содержание белка и клейковины – на спектрофотометре «Спектран ИТ».

Лабораторная оценка хлебопекарных качеств. Лабораторную выпечку хлеба проводили по модифицированной Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1988). Хлеб оценивали по ряду показателей в баллах. Общую хлебопекарную оценку получали как среднее арифметическое по всем баллам (Пыльнев и др., 2014).

Выделение геномной ДНК и молекулярно-генетический анализ. Геномную ДНК выделяли из молодых листьев СТАВ-методом (Doyle, 1991). Молекулярно-генетический анализ включал: идентификацию аллелей генов короткостебельности *Rht-B1* и *Rht-D1* методом KASP-анализа (Ellis et al., 2002; Rasheed et al., 2016); генотипирование локуса *Rht8* по длине фрагментов маркера Xgwm261 методом капиллярного электрофореза (Korzun et al., 1998; Worland et al., 1998); определение пшенично-ржаных транслокаций 1RS маркером SCM9 (Saal, Wricke, 1999; Weng et al., 2007); оценку аллельного состояния генов яровизации *Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1* (Yan et al., 2004; Fu et al., 2005; Rasheed et al., 2016); идентификацию генов фотопериодической чувствительности *Ppd-A1* и *Ppd-D1* методом KASP-анализа (Beales et al., 2007; Nishida et al., 2013; Rasheed et al., 2016). Аллельный состав высокомолекулярных субъединиц глютеина *Glu-1* определяли методом SDS-PAGE (Singh et al., 1991; Barnard et al., 2000). Часть образцов, не идентифицированных методом SDS-PAGE, анализировали с применением Nanopore-секвенирования (Polkhovskaya et al., 2024). Аллельные варианты оценивали по шкале Пейна (Payne, 1987), суммарный глютеиновый индекс рассчитывали как сумму баллов по локусам *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*.

Статистическую обработку данных проводили методами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с определением НСР₀₅ в программе Statistica 12; корреляционный анализ по коэффициенту Пирсона; визуализацию в среде R (ggplot2, dplyr). Для оценки общей селекционной ценности образцов применяли индексную оценку (Смирняев и др., 2013; Михкельман, 2018).

ГЛАВА 3. ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Условия вегетации в годы исследований существенно различались по уровню увлажнения и теплообеспеченности. В 2022 г. вегетационный период характеризовался умеренным увлажнением: сумма осадков составила 208,0 мм, сумма активных температур 1286,8 °С, ГТК 1,5. В 2023 г. отмечены максимальные значения суммы осадков и активных температур 292,9 мм и 1490,0 °С соответственно, однако распределение влаги было неравномерным: в

период «всходы-колошение» наблюдался дефицит влаги (ГТК – 0,7), в период «колошение-полная спелость» условия были избыточно увлажнёнными, ГТК 2,7 (таблица 2). В 2024 г. сумма осадков составила 264,3 мм, сумма активных температур 1467,7 °С, ГТК 1,8. Достаточное увлажнение и благоприятный температурный режим способствовали развитию листостебельных болезней, поэтому 2024 г. характеризовался высокой инфекционной нагрузкой. Контрастность погодных условий позволила оценить сорта и линии яровой мягкой пшеницы по продуктивности, адаптивности и устойчивости к болезням на различном метеорологическом фоне (таблица 2).

Таблица 2 – Условия увлажнения и теплообеспеченности яровой мягкой пшеницы в 2022-2024 гг.

Показатели увлажнения и теплообеспеченности	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Сумма осадков, мм			
Межфазный период от посева до всходов	14,6	35,5	24,3
Межфазный период всходы до колошения	106,2	41,7	115,1
Межфазный период от колошения до полная спелости	87,2	215,7	124,9
В целом за вегетацию	208	292,9	264,3
Сумма активных температур, °С			
Межфазный период от посева до всходов	90,6	92,4	45,5
Межфазный период от всходов до колошения	527	587,3	565,8
Межфазный период от колошения до полной спелости	669,2	810,3	856,4
В целом за вегетацию	1286,8	1490	1467,7
ГТК			
Межфазный период от посева до всходов	1,3	3,8	5,3
Межфазный период от всходов до колошения	2,0	0,7	2,0
Межфазный период от колошения до полной спелости	1,3	2,7	1,4
В целом за вегетацию	1,5	1,9	1,8

Оценка сортов и линий яровой мягкой пшеницы по урожайности зерна.

У сортов урожайность варьировала от 192,2 г/м² (Золушка) до 441,2 г/м² (Маргарита). Наиболее продуктивными в течение трех лет были сорта Саратовская 74, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, Фаворит, Гранни, Тризо, Ирень, Ласка, Арабелла, Мандарина и Канюк, тогда как сорт Золушка характеризовался наименьшей урожайностью. У линий СИММУТ урожайность варьировала от 238,5 г/м² (№65) до 339,2 г/м² (№223). В качестве источников высокой продуктивности для использования в селекционных программах рекомендуются сорта Маргарита, Мандарина, Обская 2, Арабелла и Тобольская, а среди линий СИММУТ – №223, №178 и №147 (таблица 3).

Продолжительность вегетационного периода. К раннеспелой группе был отнесён сорт Ирень, к среднеранней Злата (st) и Золушка. Наиболее многочисленной оказалась группа среднеспелых сортов, включавшая Саратовскую 74, Агату, Тулайковскую 108, Ласку, Симбирцит, Тюменскую 29, Обскую 2, Алтайскую Жницу, Маргариту, Учителя, Фаворит, Гранни, Бомбону, Л-57, Арабеллу, Гранову, Мандарину и Канюк. К среднепоздней группе отнесены сорта Тобольская и Тризо (таблица 3).

Позднеспелые и очень поздние формы среди сортов выявлены не были. Линии СИММУТ характеризовались варьированием по группам спелости – от среднеранних до очень поздних (таблица 4).

Таблица 3 – Урожайность сортов и линий яровой мягкой пшеницы (среднее за 2022-2024 гг.), г/м²

Сорта	Урожайность, г/м ²	Линии СИММУТ	Урожайность, г/м ²
Злата (st)	334,6	Злата (st)	334,6
Маргарита	441,2	Линия №223	339,2
Мандарина	382,3	Линия №178	319,5
Обская 2	375,2	Линия №147	303,5
Арабелла	362,6	Линия №23	303,2
Тобольская	362,3	Линия №217	289,4
Симбирцит	355,4	Линия №79	286,5
Ласка	352,3	Линия №70	285,7
Алтайская Жница	340,5	Линия №215	285,3
Гранни	327,1	Линия №59	283,0
Канюк	321,7	Линия №153	279,9
Ирень	316,5	Линия №66	277,8
Саратовская 74	315,6	Линия №35	268,7
Тюменская 29	314,8	Линия №187	266,2
Тризо	311,9	Линия №151	266,6
Тулайковская 108	304,0	Линия №150	260,4
Фаворит	301,8	Линия №220	257,1
Агата	291,9	Линия №221	255,4
Гранова	288,9	Линия №152	252,6
Бомбона	279,2	Линия №67	250,8
Учитель	283,5	Линия №65	238,5
Л-57	256,5	-	-
Золушка	192,2	-	-
НСР ₀₅	95,9	НСР ₀₅	188,5

Таблица 4 – Распределение сортов и линий яровой мягкой пшеницы по группам спелости в среднем за 2022-2024 гг.

Группа спелости	Сорта
Раннеспелые	Ирень
Среднеранние	Злата (st), Золушка
Среднеспелые	Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Ласка, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит, Гранни, Бомбона, Л-57, Арабелла, Гранова, Мандарина, Канюк
Среднепоздние	Тобольская, Тризо
Линии СИММУТ	
Среднеранние	Линии №220, №221
Среднеспелые	Линии №70, №147, №150, №187, №223
Среднепоздние	Линии №59, №67, №79, №151, №152, №215
Позднеспелые	Линии №35, №65, №66, №178, №217
Очень поздние	Линии №23, №153

К среднеранним отнесены линии №220 и №221; к среднеспелым – №70, №147, №150, №187 и №223; к среднепоздним – №59, №67, №79, №151, №152 и

№215; к позднеспелым – №35, №65, №66, №178 и №217; к очень поздним – №23 и №153. Раннеспелые формы среди линий выявлены не были (таблица 4).

Оценка устойчивости к грибным болезням. В таблице 5 представлены образцы, стабильно показывавшие балл устойчивости 7-9 баллов, что соответствует высокой устойчивости с поражением не более 10-20%. Комплексной устойчивостью ко всем трём заболеваниям характеризовались сорта Фаворит, Гранова и Канюк, а среди линий №23, №59 и др. (таблица 5).

По высоте растений и устойчивости к полеганию выделены два типа образцов. Группу короткостебельных сортов с максимальной устойчивостью к полеганию (5,0 балла) составили Гранни, Агата, Золушка, Гранова и Бомбона (высота $\leq 68,5$ см). Сорта Тризо, Ласка, Л-57, Канюк, Мандарина и Арабелла характеризовались несколько большей высотой (65,5-69,5 см) при устойчивости 4,7-4,8 балла (таблица 5). Среди линий СИММУТ высокую устойчивость к полеганию показали №65, №67 и №178, а линии №59, №70, №150, №153 и №187 отличались высотой 71,0-79,3 см при балле 4,8. Выделенные образцы сочетают короткостебельность с высокой устойчивостью к полеганию и представляют ценный исходный материал для селекции в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России (таблица 5).

Таблица 5 – Характеристика коллекции яровой пшеницы по устойчивости к основным грибным болезням и полеганию (среднее за 2022-2024 гг.)

Группа	Сорта и линии яровой мягкой пшеницы, устойчивые к		
	бурой ржавчине	стеблевой ржавчине	мучнистой росе
Сорта	Тулайковская 108, Фаворит, Канюк, Золушка, Гранни, Гранова	Тулайковская 108, Фаворит, Гранни, Гранова, Канюк, Золушка	Саратовская 74, Агата, Симбирцит, Тюменская 29, Маргарита, Фаворит, Бомбона, Ласка, Арабелла, Гранова, Мандарина, Канюк
Линии СИММУТ	Линии №23, №35, №59, №65, №66, №67, №70, №79, №147, №151, №152, №153, №178, №187, №215, №217, №221, №223	Линии №23, №35, №59, №65, №66, №67, №187, №215, №221, №223	Линии №23, №59, №65, №178, №187, №215, №221
Короткостебельные образцы с высокой устойчивостью к полеганию			
Группа	Название	Высота, см	Устойчивость к полеганию, балл
Сорта	Гранни, Агата, Золушка, Гранова, Бомбона	$\leq 68,5$	5,0
	Тризо, Ласка, Л-57, Канюк, Мандарина, Арабелла	65,5–69,5	4,7–4,8
Линии СИММУТ	Линии №65, №67, №178	74,5	4,8
	Линии №59, №70, №150, №153, №187	71,0–79,3	5,0

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КАЧЕСТВУ ЗЕРНА

Физические свойства зерна яровой пшеницы. Масса 1000 зерен. Высокими значениями характеризовались сорта Маргарита, Обская 2, Симбирцит и Канюк. Среди линий СИММУТ наибольшие значения данного показателя отмечены у линий №217, №35, №65 и №153 (таблица 6).

Таблица 6 – Физические свойства зерна сортов и линий яровой мягкой пшеницы (среднее за 2022-2024 гг.)

Название	Масса 1000 зёрен, г	Натура, г/л	Стекловидность, %	Название	Масса 1000 зёрен, г	Натура, г/л	Стекловидность, %
Злата (st)	41,8	799,3	55,9	Злата (st)	41,8	799,3	55,9
Саратовская 74	43,2	790,0	82,7	Линия №23	42,8	798,0	71,1
Агата	39,1	779,6	50,5	Линия №35	46,2	790,3	71,8
Тулайковская 108	42,3	788,2	64,4	Линия №59	40,3	751,7	80,0
Симбирцит	45,0	787,5	51,3	Линия №65	44,2	782,3	59,5
Тюменская 29	40,0	796,5	48,8	Линия №66	41,0	785,4	68,2
Обская 2	45,6	779,2	59,1	Линия №67	39,9	808,3	75,1
Тобольская	41,6	801,0	61,1	Линия №70	39,6	797,0	54,8
Алтайская Жница	43,4	789,2	60,3	Линия №79	40,9	788,6	59,7
Маргарита	46,2	791,1	39,5	Линия №147	40,6	769,8	64,8
Учитель	41,9	782,6	62,1	Линия №150	39,2	757,3	74,0
Фаворит	36,4	795,3	50,7	Линия №151	42,9	786,9	69,8
Гранни	42,8	788,8	37,7	Линия №152	41,5	801,9	61,6
Тризо	38,8	796,7	50,9	Линия №153	44,2	797,3	69,2
Ирень	38,7	791,2	70,2	Линия №178	38,8	775,9	77,8
Бомбона	38,4	788,0	53,7	Линия №187	42,0	799,7	40,2
Л-57	36,6	767,4	58,3	Линия №215	41,7	799,5	59,1
Ласка	39,7	778,6	45,8	Линия №217	48,1	775,2	67,6
Арабелла	39,4	779,6	46,9	Линия №220	37,5	777,9	65,4
Гранова	42,9	783,5	46,4	Линия №221	37,2	782,0	58,3
Мандарина	37,2	784,2	48,7	Линия №223	40,0	795,8	42,7
Золушка	33,2	816,0	38,5	-	-	-	-
Канюк	43,8	778,2	44,1	-	-	-	-
НСР ₀₅	1,8	19,2	37,6	НСР ₀₅	1,8	9,7	11,4

По натуре зерна. Большинство образцов пшеницы показали высокие значения. Максимальные значения выявлены у сортов Тобольская и Золушка, у линий – №67 и №152 (таблица 6).

Высокой стекловидностью ($\geq 65\%$) характеризовались сорта Ирень и Саратовская 74, линии – №59, №178, №67, №35, №23, №150, №151, №153 и №66 (таблица 6).

Наиболее перспективными по совокупности физических свойств зерна являются сорта Саратовская 74, Тулайковская 108, Маргарита, Обская 2, Тобольская, Симбирцит, Ирень и Канюк, линии №35, №67, №153 и №151, что позволяет рекомендовать их как ценный исходный материал для селекции в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России.

Биохимические свойства зерна пшеницы. Наибольшую ценность представляют сорта Ирень и Золушка, соответствующие уровню сильной по качеству пшеницы по содержанию белка и ценной – по содержанию клейковины. Среди линий СИММУТ выделились №59 и №151, стабильно формировавшие зерно, соответствующее сильной пшенице по обоим показателям. Группу сильная/ценная составили девять линий: №23, №65, №67, №70, №150, №153, №178, №220 и №221. Данные образцы рекомендуются как наиболее ценные доноры высокого качества зерна для селекционных программ в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России (таблица 7).

Таблица 7 – Распределение сортов и линий яровой мягкой пшеницы по группам качества зерна (среднее за 2022-2024 гг.)

	Название	Группа качества по	
		белку	клейковине
Сорта	Ирень, Золушка	сильная	ценная
	Л-57	сильная	филлер
	Злата (st), Тюменская 29, Бомбона, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Алтайская Жница, Тризо, Фаворит	ценная	филлер
	Симбирцит, Обская 2, Тобольская, Маргарита, Учитель, Гранни, Ласка, Арабелла, Гранова, Мандарина, Канюк	филлер	филлер
Линии СИММУТ	№59, №151	сильная	сильная
	№23, №65, №67, №70, №150, №153, №178, №220, №221	сильная	ценная
	№35, №147, №215, №223	сильная	филлер
	№66, №79, №152, №187	ценная	филлер
	№217	филлер	филлер

Хлебопекарные свойства зерна яровой пшеницы. К группе, соответствующей по общей хлебопекарной оценке уровню сильной пшеницы ($\geq 4,5$ балла), отнесены сорта Тулайковская 108, Алтайская Жница, Ирень, Злата, Тризо, Золушка и Канюк, линии СИММУТ – №67, №59, №23, №79, №178 и №221. К группе ценной по качеству (4,0-4,4 балла) отнесено большинство остальных сортов и линий. К группе филлеров ($< 4,0$ балла) отнесены сорта Маргарита, Учитель, Гранова и Гранни. Линия №65 не может быть использована в хлебопечении (таблица 8).

Таким образом, наиболее стабильными и высокими хлебопекарными качествами характеризовались сорта Ирень, Тулайковская 108, Алтайская Жница и Золушка, линии СИММУТ №67, №59, №23 и №178, которые рекомендуются как

перспективный исходный материал для селекции на хлебопекарные качества зерна в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России (таблица 8).

Таблица 8 – Распределение сортов и линий по показателям лабораторной выпечки (среднее за 2022-2024 гг.)

Группа	Название	Объёмный выход хлеба, см ³	Общая хлебопекарная оценка, балл
Уровень, соответствующий сильной по качеству пшенице			
Сорта	Тулайковская 108, Алтайская Жница, Ирень	582,5–584,2	4,6
	Злата (st), Тризо, Золушка, Канюк	506,7–566,7	4,5
Линии СИММУТ	№67	679,2	4,7
	№59	697,5	4,6
	№23, №79, №178, №221	546,7–622,5	4,5
Уровень, соответствующий ценной по качеству пшенице			
Сорта	Саратовская 74, Агата, Тюменская 29, Тобольская, Фаворит, Бомбона, Л-57, Ласка, Арабелла	509,2–584,2	4,3–4,4
	Обская 2, Симбирцит, Мандарина	492,5–517,5	4,1–4,3
Линии СИММУТ	№35, №66, №152, №153, №220, №223	514,2–611,7	4,4
	№150, №151, №187, №217	525,8–611,7	4,2–4,3
	№70, №147, №215	470,0–541,7	4,0
Уровень, соответствующий пшенице-филлеру и слабой по качеству			
Сорта	Маргарита, Учитель	471,7–472,5	3,9
	Гранова, Гранни	420,0–438,3	3,7–3,8
Линии СИММУТ	№65	365,0	3,3

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЕНОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Гены короткостебельности *Rht*. Молекулярно-генетическая идентификация по локусам *Rht-B1* и *Rht-D1* показала, что в изученной коллекции преобладают аллели дикого типа *Rht-B1a* и *Rht-D1a*, обуславливающие нормальную высоту растений (рис. 1). Аллель короткостебельности *Rht-B1b* выявлен у трёх образцов – сортов Гранни, Гранова и линии №153. Аллель *Rht-D1b* идентифицирован лишь у одного сорта Золушка. По локусу *Rht8* идентифицировано пять аллельных вариантов. Преобладают аллели *Rht8b* (174 п.н.) у 18 образцов и *Rht8a* (165 п.н.) у 16 образцов. Аллель короткостебельности *Rht8c* (192 п.н.) выявлен у трех линий №65, №147 и №178. Также обнаружены редкие аллельные варианты: *Rht8d* (201 п.н.) у образцов Канюк, Учитель, линия №151. В отличие от *Rht-B1b* и *Rht-D1b*, аллель *Rht8c* не связан с гиббереллиновой нечувствительностью, что делает несущие его линии особенно ценными донорами для селекции короткостебельных сортов без негативных плейотропных эффектов (рисунок 1).

Пшенично-ржаная транслокация 1RS. У большинства изученных образцов (34 шт.) пшенично-ржаная транслокация отсутствует. Пшенично-ржаная транслокация 1BL.1RS выявлена у 5 образцов – линий №35, №65, №67, №187 и №217, транслокация 1AL.1RS – только у сорта Канюк. Гетерогенное

состояние по локусу 1BL.1RS отмечено у трех образцов: Золушка и линий №23 и №59 (рисунок 1).

Гены фотопериодической чувствительности *Ppd*. По локусу *Ppd-A1* все 43 образца несут аллель фотопериодической чувствительности *Ppd-A1b*. По локусу *Ppd-D1* установлен полиморфизм: у 37 образцов доминирует чувствительный аллель *Ppd-D1b*, и три образца оказались гетерогенными (*Ppd-D1a* + *Ppd-D1b*) – Мандарина, Золушка, линия №67. Аллель фотопериодической нечувствительности *Ppd-D1a* обнаружен у трех образцов: линий №35, №65 и №187. Эти линии представляют особую ценность как источники адаптивности к различным фотопериодическим условиям при создании сортов с широким ареалом возделывания (рисунок 1).



Рисунок 1. Распределение аллелей генов короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1*, *Rht8*, пшенично-ржаных транслокаций 1RS, генов фотопериодической чувствительности *Ppd-A1* и *Ppd-D1*

Гены реакции на яровизацию *Vrn*. По локусу *Vrn-A1* преобладает доминантный яровой аллель *Vrn-A1b* – у 31 образца. Комбинация маркеров подтвердила наличие аллеля С (раннего цветения) у всех образцов с аллелем *Vrn-A1b*, поэтому далее в тексте под данным аллелем подразумевается именно эта комбинация. Рецессивный озимый аллель *vrn-A1a* выявлен у 7 образцов; аллель *vrn-A1b* – у двух линий (№35 и №65). У двух линий (№150 и №151) выявлено гетерогенное состояние. По локусу *Vrn-B1* (яровой аллель) присутствует у 22 образцов, озимый – у 4, гетерогенное состояние – у 9 образцов. У 8 линий СИММУТ наблюдалось отсутствие ПЦР-продукта, что может свидетельствовать об особенностях структуры данного локуса у синтетических линий. По локусу

Vrn-D1, напротив, преобладает рецессивный озимый аллель *vrn-D1* – у 28 образцов; доминантный яровой аллель *Vrn-D1* выявлен у 8 образцов, гетерогенное состояние – у 7 (таблица 9).

Таблица 9 – Распределение аллелей генов реакции на яровизацию *Vrn-1*

<i>Vrn-A1</i>	<i>Vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>
<i>vrn-A1a</i> (озимый)	<i>vrn-B1</i> (озимый)	<i>vrn-D1</i> (озимый)
Тобольская, Линии: №59, №67, №79, №153, №178, №187 и №215	Злата, Тобольская, Бомбона и Линия №23	Злата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель Фаворит, Гранни Тризо, Ирень, Бомбона Ласка, Арабелла Гранова, Мандарина, Канюк Линий №23, №59, №70, №152, №217, №220
<i>vrn-A1b</i> (озимый)		
Линий №35, №65		
<i>Vrn-A1</i> (яровой)	<i>Vrn-B1</i> (яровой)	
Злата, Саратовская 74, Агата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Маргарита, Учитель, Фаворит, Гранни, Тризо, Ирень Бомбона, Ласка, Л-57, Арабелла Гранова, Мандарина, Канюк, Золушка, Линия №23	Саратовская 74 Агата, Алтайская Жница, Ласка, Гранова, Мандарина, Л-57, №59, №65, №66, №67, №79, №147, №150, №151, №152, №153, №178, №187, №215, №217, №223	<i>Vrn-D1</i> (яровой) Линии: №35, №67, №79, №147, №187, №221, №223 Гетерогенные; Золушка Линий №66, №150, №151, №153, №178, №215
Гетерогенные: Линии №150, №151	Гетерогенные; Тулайковская 108, Симбирцит, Тризо, Ирень, Тюменская 29, Гранни, Арабелла Золушка, Линия №35	
	Отсутствие бэнда: Обская 2, Маргарита, Учитель, Фаворит, Линий №70, №220, №221	

Идентификация высокомолекулярных глютеинин-кодирующих локусов (HMW-GS).

Молекулярно-генетический анализ локусов *Glu-1* выявил значительное аллельное разнообразие по всем трём субгенам (*Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*). По локусу *Glu-A1* установлены три аллельных варианта: *Glu-A1a* (1), *Glu-A1b* (2*) и *Glu-A1c* (Null аллель). В изученной коллекции наиболее распространённым оказался аллель *Glu-A1b* (2*), ассоциированный с высоким качеством клейковины (таблица 10). По локусу *Glu-B1* выявлено пять аллельных вариантов: *Glu-B1a* (7+9), *Glu-B1b* (7+8), *Glu-B1f* (13+16), *Glu-B1i* (17+18) и *Glu-B1h* (14+15). По локусу *Glu-D1* у большинства образцов обнаружен наиболее ценный аллель *Glu-D1d* (5+10), ассоциированный с максимальным баллом по шкале Пейна. Максимальный балл 10 из 10 получили 11 образцов: сорта Злата, Агата, Л-57, Бомбона, Канюк и линии №23, №35, №59, №66, №67, №151. Оценку 8-9 баллов получили 17 образцов, включая сорта Ласка, Тобольская, Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит, Ирень, Золушка и ряд линий СИММУТ. Оценку 7 баллов получили 11 образцов, минимальный балл (5) получила только линия №65. Таким образом, в изученной коллекции преобладают генотипы с высоким потенциалом хлебопекарного качества зерна. Аллельный состав локусов *Glu-1* может использоваться как эффективный маркер

при отборе на качество зерна, однако для окончательной оценки его необходимо дополнять результатами лабораторной выпечки (таблица 10).

Таблица 10 – Распределение сортов и линий по аллельному составу локусов *Glu-1*, кодирующих высокомолекулярные субъединицы глютеина

Балл	Аллельная формула	Сорта и линии	n
10	<i>Glu-A1a, Glu-B1b, Glu-B1f, Glu-B1h, Glu-D1d</i>	Злата, Бомбона, Канюк; линии №23, №35, №59, Л-57, №66, №67, №151	10
9	<i>Glu-A1a, Glu-A1b, Glu-B1c, Glu-D1d</i>	Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Маргарита, Учитель, Фаворит Ласка, Тобольская; линии №147, №150, №152, №178, №217, №221	14
8	<i>Glu-A1a, Glu-A1b, Glu-A1c, Glu-B1b, Glu-B1i, Glu-D1a, Glu-D1d</i>	Агата, Ирень, Золушка; линии №70, №79, №153, №187	7
7	<i>Glu-A1a, Glu-A1b, Glu-B1c, Glu-D1a</i>	Саратовская 74, Тулайковская 108, Симбирцит, Гранни, Тризо, Арабелла, Гранова, Мандарина; линии №215, №220, №223	11
5	<i>Glu-A1c, Glu-B1c, Glu-D1a</i>	Линия №65	1

ГЛАВА 6. ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КОМПЛЕКСУ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

Влияние генов короткостебельности *Rht-B1* на высоту растений. Аллель *Rht-B1b* достоверно снижал высоту растений во все годы исследований ($p < 0,01$). Носители *Rht-B1b* сорта Гранни, Гранова и линия №153 характеризовались существенно меньшей высотой по сравнению с образцами дикого типа. Носитель аллеля *Rht-D1b*, Золушка, также характеризовался меньшей высотой растений, однако ввиду единственного образца статистический анализ не проводили (таблица 11).

Таблица 11 – Достоверное влияние аллеля гена короткостебельности *Rht-B1b* на высоту растений (среднее за 2022-2024 гг.)

Аллель	Высота растений, см	Снижение высоты, см	Снижение, %
<i>Rht-B1a</i>	72,1	–	–
<i>Rht-B1b</i>	54,3	17,8	24,7

Влияние пшенично-ржаных транслокаций 1RS на устойчивость к грибным болезням

Наиболее выраженный эффект транслокации 1RS отмечен в отношении стеблевой ржавчины: носители 1BL.1RS имели устойчивость 7-9 баллов, тогда как образцы без транслокации имели лишь 4-5 баллов. По бурой ржавчине различия также достоверны ($p = 0,013$). По мучнистой росе различия статистически были не значимы ($p = 0,645$) (таблица 12).

Таблица 12 – Достоверное влияние пшенично-ржаных транслокаций 1RS на устойчивость к грибным болезням (средний балл за 2022-2024 гг.)

Транслокация	Бурая ржавчина	Стеблевая ржавчина	Мучнистая роса
Отсутствует (n=34)	6,1	4,2	6,1
1BL.1RS (n=5)	8,2	8,6–9,0	6,7
Гетерогенные (n=3)	8,0	7,7	5,2
p-value	$p = 0,013$	$p < 0,001$	$p = 0,645$

Влияние аллельного состояния локуса *Vrn-A1* на продолжительность вегетационного периода

Установлено достоверное влияние локуса *Vrn-A1* на продолжительность вегетационного периода. Носители доминантного аллеля *Vrn-Alb* характеризовались более ранним колошением: период «всходы-колошение» был в среднем на 3,7 суток короче, общая продолжительность вегетации сокращалась на 1,9-2,7 суток по сравнению с носителями рецессивного аллеля *vrn-Ala*. Влияние локусов *Vrn-B1* и *Vrn-D1* на продолжительность вегетационного периода не выявлено. Аллель *Vrn-Alb*, ассоциированный с раннеспелостью, рекомендуется как эффективный маркер при создании скороспелых сортов для условий Центрального района Нечернозёмной зоны России (таблица 13).

Таблица 13 – Достоверное влияние аллельного состояния локуса *Vrn-A1* на продолжительность межфазных периодов и вегетации

Фаза	Год	<i>vrn-Ala</i> , сут	<i>Vrn-Alb</i> , сут	Разница, сут	p-value
Всходы–колошение	2023	46,0	44,1	–1,9	p < 0,05
Всходы–колошение	2024	49,0	46,5	–2,5	p < 0,01
Колошение–спелость	2022	44,1	41,4	–2,7	p < 0,01
Вегетационный период	2023	88,2	85,5	–2,7	p < 0,05
Вегетационный период	2024	101,0	99,1	–1,9	p < 0,01

Оценка хлебопекарного качества зерна при наличии пшенично-ржаных транслокаций 1RS

Сравнительный анализ высокомолекулярных глютенин-кодирующих локусов *Glu-1* у носителей пшенично-ржаных транслокаций 1RS показал, что пшенично-ржаная транслокация не снижает хлебопекарное качество зерна. Сорт Канюк (1AL.1RS) и линии №35, №67 (1BL.1RS) получили максимальный балл по шкале Пейна (10) благодаря благоприятным аллелям *Glu-D1d* (5+10) и *Glu-Alb* (2*). Линии №217 и №187 также характеризовались высоким потенциалом качества (9 и 8 баллов соответственно). Исключение составляет линия №65, получившая низкую оценку (5 баллов) вследствие неблагоприятного аллельного состава – Null по *Glu-A1* и аллеля 2+12 по *Glu-D1*, но не из-за наличия пшенично-ржаной транслокации 1RS (таблица 14).

Таблица 14 – Оценка носителей пшенично-ржаных транслокаций 1RS по аллельному составу локусов *Glu-1* (шкала Пейна)

Название	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	Балл по Пейну	Транслокация 1RS
Канюк	1	14+15	5+10	10	1AL
Линия №35	1	7+8	5+10	10	1BL
Линия №67	2*	13+16	5+10	10	1BL
Линия №217	2*	7+9	5+10	9	1BL
Линия №187	Null	7+8	5+10	8	1BL
Линия №65	Null	7+9	2+12	5	1BL

Комплексная индексная оценка сортов и линий яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам

Для обобщённой оценки селекционной ценности изученных образцов была проведена комплексная индексная оценка по совокупности 15 хозяйственно ценных признаков. Комплексный индекс рассчитывали на основе частных индексов по каждому признаку, отражающих отклонение образца от среднего

уровня коллекции. Чем выше значение комплексного индекса, тем более благоприятным является сочетание хозяйственно ценных признаков у данного генотипа. Среди сортов наибольшую селекционную ценность представляют Тулайковская 108, Ласка, Ирень, Фаворит, Канюк, Л-57, Агата и Саратовская 74. Среди линий СИММУТ максимальные значения индекса установлены у №23, №59, №67, №35, №215, №151 и №178 (таблица 15).

Таблица 15 – Образцы яровой пшеницы, выделившиеся по комплексной многокритериальной индексной оценке

Уровень	Сорта	Индекс	Линии СИММУТ	Индекс
Высокий ($\geq 1,5$)	Тулайковская 108	2,12	Линия №23	2,14
	Ласка	1,70	Линия №59	1,96
	Ирень	1,55	Линия №67	1,64
	Фаворит	1,51	-	-
Средний (0,8–1,5)	Канюк	1,38	Линия №35	0,97
	Л-57	1,04	Линия №215	0,65
	Агата	0,93	Линия №151	0,60
	Саратовская 74	0,92	Линия №178	0,53
	Гранова	0,87	-	-
Стандарт	Злата (st)	0,47		

Практическое применение полученных результатов. На основе комплексной фенотипической и молекулярно-генетической оценки выделены доноры хозяйственно ценных признаков и проведена гибридизация с использованием маркер-ориентированной селекции (MAS) по генам короткостебельности *Rht-B1b*, *Rht-D1b*, пшенично-ржаным транслокациям 1RS (1AL и 1BL), генам реакции на яровизацию *Vrn-Alb*, фотопериодической нечувствительности *Ppd-D1a* и локусам качества *Glu-1* (таблица 16).

Таблица 16 – Доноры хозяйственно ценных признаков, выделенные на основе молекулярно-генетической идентификации

Маркер / признак	Доноры
Короткостебельность <i>Rht-B1b</i>	Гранни, Гранова, линия №153
Короткостебельность <i>Rht-D1b</i>	Золушка
Короткостебельность <i>Rht8c</i>	Линии №65, №147, №178
Пшенично-ржаная транслокация 1BL.1RS	Линии №35, №67, №187, №217
Пшенично-ржаная транслокация 1AL.1RS	Канюк
Фотопериодическая нечувствительность <i>Ppd-D1a</i>	Линии №35, №65, №187
Раннеспелость (<i>Vrn-Alb</i> + <i>Har C</i>)	Злата, Ирень, Золушка
Высокое хлебопекарное качество (<i>Glu-1</i>)	Злата, Агата, Л-57, Бомбона, Канюк; линии №23, №35, №59, №66, №67
Высокое содержание белка и клейковины	Ирень, Золушка; линии №59, №151

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России проведена комплексная селекционно-генетическая оценка 43 образцов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения 23 сортов российской и европейской селекции и 20 линий СИММУТ. По результатам трёхлетних полевых испытаний выделены источники высокой продуктивности (Маргарита, Обская 2, Мандарина, Тобольская, Арабелла), скороспелости (Ирень, Злата, Золушка, линии №220 и №221), устойчивости к грибным болезням

и высокого качества зерна. Молекулярно-генетический анализ показал преобладание аллелей дикого типа *Rht-B1a* (93 %) и *Rht-D1a* (98 %), мономорфность локуса *Ppd-A1*, преобладание доминантных яровых аллелей *Vrn-A1* и *Vrn-B1* при рецессивном *vrn-D1*; идентифицированы носители пшенично ржаной транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS и ценные аллельные комбинации локусов *Glu-1*. Аллельное состояние *Vrn-A1* определяло продолжительность периода «всходы–колошение», пшенично ржаная транслокация 1BL.1RS устойчивость к бурой и стеблевой ржавчине. На основе выделенных доноров создан новый селекционный материал более 50 гибридных комбинаций, часть которых передана в Омский ГАУ и ФИЦ «Немчиновка».

Выводы:

1. По показателю зерновой продуктивности выделены сорта Маргарита, Обская 2, Тобольская, Мандарина, Арабелла, а также линии №23, №79, №178 и №223. Выявлено, что основными коррелятами высокой урожайности являются озернённость колоса и масса зерна с колоса. Наибольшей озернёностью характеризовались сорта Агата, Бомбона, Л-57, Ласка и Мандарина, а по массе зерна с колоса выделились сорта Обская 2, Маргарита, Гранни и Канюк, а также линия №178.

2. Установлено, что по продолжительности вегетационного периода сорта и линии яровой мягкой пшеницы распределялись на пять групп спелости – от раннеспелых до очень позднеспелых. в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России, относился сорт Ирень, к среднеранней – Злата и Золушка, а также линии №220 и №221.

3. В изученной коллекции преобладают аллели дикого типа *Rht-B1a* (93 %) и *Rht-D1a* (98 %). Выявлены доноры генов короткостебельности: *Rht-B1b* (Гранни, Гранова и линия №153); *Rht-D1b* (только у сорта Золушка). По гену *Rht8* идентифицированы 5 аллельных вариантов; аллель *Rht8c*, в отличие от *Rht-B1b* и *Rht-D1b*, не обуславливающий гиббереллиновой нечувствительности, обнаружен у 7% образцов (линии №65, №147 и №178).

4. Установлено, что по локусам *Vrn-A1* и *Vrn-B1* в изученной коллекции преобладают доминантные яровые аллели, тогда как по локусу *Vrn-D1* чаще встречается рецессивный озимый аллель. Полученные данные подтверждают, что аллельное состояние генов *Vrn-1* влияет на продолжительность межфазных периодов и общий вегетационный период. Носители аллелей *Vrn-A1b* (доминантный аллель) характеризуются более ранним развитием, тогда как наличие *vrn-A1a* (рецессивный аллель) ассоциировано с удлинением вегетационного периода.

5. Все образцы изученной коллекции по локусу фотопериодической чувствительности *Ppd-A1* несут чувствительный аллель *Ppd-A1b* (у всех 43 изученных образцов). По локусу *Ppd-D1* доминирует чувствительный аллель *Ppd-D1b* (86,0 %), аллель нечувствительности *Ppd-D1a* обнаружен лишь у 7 % (линии №35, №65 и №187).

6. Идентифицированы носители пшенично-ржаных транслокаций 1BL.1RS (линии №35, №65, №67, №187, №217) и 1AL.1RS (сорт Канюк). Установлено, что

пшенично-ржаные транслокации 1RS повышают устойчивость к грибным болезням и не снижают хлебопекарные качества зерна.

7. По локусам *Glu-1* выявлены ценные аллели *Glu-A1b* (2*), *Glu-B1b* (7+8) и *Glu-D1d* (5+10), ассоциированные с высокими хлебопекарными качествами. Максимальную оценку по шкале Пейна (10 баллов) получили сорта Бомбона, Л-57, Канюк, Злата, Агата и линии №23, №35, №59, №66, №67 и №151.

8. По результатам комплексной индексной оценки среди сортов наиболее высокими значениями характеризовались Тулайковская 108, Ласка, Ирень, Фаворит и Канюк. Среди линий яровой мягкой пшеницы селекции СИММУТ наиболее перспективными по комплексному индексу были линии №23, №59 и №67. Указанные генотипы могут рассматриваться как ценный исходный материал для дальнейшего использования в селекции яровой мягкой пшеницы.

9. На основе комплексной фенотипической и молекулярно-генетической оценки подобраны родительские пары и создан новый селекционный материал – более 50 гибридных комбинаций яровой мягкой пшеницы с участием доноров аллелей *Rht-B1b*, *Rht-D1b*, транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS, аллеля *Ppd-D1a* и благоприятных комбинаций локусов *Glu-1*. 12 шт. комбинаций доведены до поколения F₂ и переданы в ФГБОУ ВО «Омский ГАУ имени П. А. Столыпина», 18 шт. гибридов F₁ – в ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», что подтверждено актами внедрения.

Практические рекомендации для селекции:

1. По результатам общей индексной оценки, проведённой по 19 хозяйственно ценным признакам, выделены сорта и линии, сочетающие высокую урожайность с наибольшим числом хозяйственно ценных признаков. Среди сортов выделились Тулайковская 108, Ласка, Ирень, Фаворит, Канюк, Саратовская 74, Агата, Л-57, а также линии №23, №35, №59, №67, №151, №153, №178 и №223.

2. Комплексной устойчивостью характеризуются Фаворит, Ласка, Гранова, №23, №59, №65, №215. К мучнистой росе устойчивы Саратовская 74, Агата, Симбирцит, Тюменская 29, Маргарита, Бомбона, Арабелла, Мандарина, №65, №70, №178, №215. К бурой ржавчине устойчивы Тулайковская 108, Канюк, Золушка, №23, №35, №65, №67, №215, №221. К стеблевой ржавчине устойчивы Тулайковская 108, Фаворит, Гранова, Канюк, №23, №35, №59, №65, №67, №187 и №221. Все перечисленные сорта и линии можно использовать для создания устойчивых к грибным болезням сортов.

3. Для создания сортов с высоким содержанием белка и клейковины рекомендуется использовать сорта Золушка, Ирень, Л-57, а также линии №59, №67, №151, №153 и №221. Наиболее стабильными и ценными по хлебопекарным качествам среди изученных сортов являются Ирень, Алтайская Жница, Тризо, Тулайковская 108 и Золушка, а среди линий – линии №23, №35, №59, №150, №151, №152, №153 и №220.

4. Выявлены доноры ценных аллелей генов: *Rht-B1b* – рекомендуется использовать сорта Гранни, Гранова и линию №153; *Rht-D1b* – Золушка, *Rht8c* – линии №65, №147 и №178; 1BL.1RS – линии №35, №67, №187 и №217, 1AL.1RS – Канюк; (*Ppd-D1a*) рекомендуется использовать линии №35, №65 и №187; *Glu-*

Alb (2*), *Glu-B1b* (7+8), *Glu-B1f* (13+16), *Glu-B1i* (17+18), *Glu-D1d* (5+10) – Злата, Бомбона, Л-57, Канюк, линии №23, №35, №59, №66, №67 и №151.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Наджодов, Б.Б.** Оценка хлебопекарных качеств синтетических линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ в условиях ЦРНЗ / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, И.Н. Ворончихина, И.Н. Клименкова** // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – №118. – С. 217-224.
2. **Наджодов, Б.Б.** Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине в условиях Центрального Нечерноземья / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, М.Г. Дивашук** // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2025. – Т.20, №3. – С. 354-367.
3. **Наджодов, Б.Б.** Молекулярно-генетическая характеристика образцов яровой мягкой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка» / **Б.Б. Наджодов, Т.Д. Мохов, П.Ю. Крупин, М.А. Самарина, Н.В. Давыдова, М.Г. Дивашук** // Достижения науки и техники АПК. – 2025. – Т.39, №11. – С.12-19.
4. **Наджодов, Б.Б.** Влияние метеорологических условий на формирование хозяйственно-полезных признаков яровой пшеницы в условиях ЦРНЗ / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, В.В. Пыльнев, И.Н. Ворончихина** // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2023. – №6. – С. 47-64.

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

5. **Najodov, B.** Grain Yield Stability of Spring Bread Wheat Under Contrasting Moisture Conditions: A Six-Year AMMI Analysis in the Non-Chernozem Zone of Russia / **B. Najodov, D. Tajibayev, A. Chernook, P. Kroupin, V. Igonin, E. Vertikova, G. Karlov, M. Divashuk** // *Agronomy*. – 2026. – Vol. 16, No. 18. – Art. 1802.
6. **Наджодов, Б.Б.** Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец** // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2025. – Т.186, №2. – С. 218-227.

Статьи в других научных журналах и сборниках, материалах международных и всероссийских конференций:

7. **Наджодов Б.Б.** Характеристика хозяйственно ценных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, С.С. Баженова, В.В. Пыльнев** // *Зерновое хозяйство России*. – 2024. – Т. 16, № 6. – С. 34-41.
8. **Наджодов, Б.Б.** Использование маркерной и геномной селекции с привлечением озимых форм для повышения продуктивности мягкой яровой пшеницы / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, В.Н. Игонин, Г.И. Карлов, М.Г. Дивашук** // Сборник трудов Курчатовского геномного форума; 20-21 октября 2025 г. – Москва, 2026. – С. 196-197.

9. **Najodov, B.** Identification and characterization of spring wheat with 1RS.1BL and 1RS.1AL translocations conferring high resistance to powdery mildew, stem and leaf rust / **B. Najodov**, T. Mokhov, A. Chernook, M. Bazhenov, M. Divashuk // 5th International Plant Breeding Congress: abstracts; Antalya, Türkiye, 1-5 December 2025. – 2025. – P. 103.
10. **Najodov, B.** Crosstalk between Green Revolution, vernalization, and nitrogen metabolism genes in the expression of agronomic traits and grain quality in spring wheat / **B. Najodov**, T. Mokhov, A. Chernook, M. Bazhenov, M. Divashuk // 5th International Plant Breeding Congress: abstracts; Antalya, Türkiye, 1-5 December 2025. P. 107.
11. **Наджодов, Б.Б.** Корреляция сроков развития яровой мягкой пшеницы в контролируемой среде и поле как инструмент отбора на раннеспелость / **Б.Б. Наджодов**, Т.Д. Мохов, А.Г. Черноок, А.А. Кочешкова, М.С. Баженов, М.Г. Дивашук // Генетика, геномика, биоинформатика и биотехнология растений (PlantGen2025): тезисы докладов 8-й Международной научной конференции; Новосибирск, 2-5 июля 2025 г. – С. 149.
12. **Najodov, B.B.** Characterization of resistance to leaf-stem rust and powdery mildew in spring soft wheat / **B.B. Najodov** // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии: сборник статей; Москва, 2025. – С. 485-488.
13. **Наджодов, Б.Б.** Молекулярно-генетическая характеристика пшенично-ржаных транслокаций 1AL.1RS и 1BL.1RS и генов короткостебельности *Rht1* и *Rht2* у яровой мягкой пшеницы селекции «Немчиновка» / **Б.Б. Наджодов**, Т.Д. Мохов, А.Г. Черноок, А.А. Кочешкова, П.Ю. Крупин, Н.В. Давыдова, М.Г. Дивашук // XVIII Курчатовская междисциплинарная молодёжная научная школа: сборник аннотаций; Москва, 27-30 мая 2025 г. НИЦ «Курчатовский институт», 2025. – С. 32.
14. **Наджодов, Б.Б.** Идентификация пшенично-ржаных транслокаций 1RS.1BL/1RS.1AL у образцов яровой мягкой пшеницы и их устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам / **Б.Б. Наджодов**, Т.Д. Мохов, А.Г. Черноок, С.С. Баженова, В.С. Рубец, М.Г. Дивашук // XXV Международная конференция молодых учёных «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии»: сборник конференции. Москва, 17-21 ноября 2025 г. – С. 202-204.
15. **Наджодов, Б.Б.** Выявление генов полезных признаков яровой мягкой пшеницы для селекции в Центральном районе с использованием метода MAS / **Б.Б. Наджодов**, Т.Д. Мохов, А.Г. Черноок, В.С. Рубец, В.Н. Игонин, М.Г. Дивашук // ГЕНЕТИКА 2025: сборник тезисов научно-практическая конференция; Москва 5-7 ноября 2025 г. – С. 472-474.
16. **Najodov, B.B.** Two lethal killers: the devastating impact of *Puccinia recondita* and *Puccinia graminis* on wheat grain weight / **B.B. Najodov**, M. Divashuk, M. Rahmatov // Scientific-Practical Symposium «The Role of Plant Genetic Resources in Global Climate Change and Food Security»; 7-9 November 2024. – P. 245-249.
17. **Наджодов, Б.Б.** Изучение хозяйственно полезных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой пшеницы СИММУТ в условиях ЦРНЗ / **Б.Б.**

- Наджодов, В.В.** Пыльнев, В.С. Рубец, Ф.Ю. Насырова // Генофонд и селекция растений: материалы 7-й Международной конференции, посвящённой 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова; Новосибирск, 10-12 апреля 2024 г. – С. 230-234.
18. **Наджодов, Б.Б.** Влияние метеорологических условий на формирование хозяйственно-ценных признаков яровой пшеницы в условиях ЦРНЗ / **Б.Б. Наджодов, В.В. Пыльнев, В.С. Рубец, И.Н. Ворончихина** // VIII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, сборник тезисов; Саратов, 14 - 19 июня 2024 г. – С. 294.
19. **Наджодов, Б.Б.** Сравнительный анализ фенологических фаз яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях спидбридинга (speed breeding) и полевых испытаниях / **Б.Б. Наджодов, Г.А. Варданян, А.Г. Маренкова, А.А. Деревянко, В.Н. Игонин, В.С. Рубец, В.В. Пыльнев, А.Г. Черноок, А.А. Кочешкова, М.Г. Дивашук** // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии XXIV: материалы XXIV конференции молодых учёных; Москва, 23–27 сентября 2024 г. – С. 37-39.
20. **Najodov, V.S.** Rubets, V.V. Pylnev, I.V. Gruzdev // Modern Problems of Genetics, Genomics, and Biotechnology: Republican Scientific Conference; Tashkent, Uzbekistan, 18 May 2023. – P. 110-112.
21. **Наджодов, Б.Б.** Комплексная оценка генетических коллекций яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях ЦРНЗ / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, В.В. Пыльнев** // Экологические особенности биологического разнообразия: материалы X Международной конференции; Душанбе, Таджикистан, 3-4 октября 2023 г. – С. 132-133.
22. **Наджодов, Б.Б.** Урожайность и элементы структуры урожая яровой пшеницы различного эколого-географического происхождения в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России / **Б.Б. Наджодов, В.В. Пыльнев, И.Н. Ворончихина** // Достижения и перспективы селекции и технологий возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Международной научной конференции, посвящённой 140-летию со дня рождения В.Е. Писарева; Москва, 29-30 марта 2023 г. – С. 208-215.
23. **Наджодов, Б.Б.** Аллельное состояние высокомолекулярных глютеинов в связи с качествами зерна яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец, В.В. Пыльнев, И.В. Груздев** // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии XXIII: материалы 23-й Всероссийской молодёжной научной конференции; Москва, 14–16 ноября 2023 г. – С. 31-33.
24. **Наджодов, Б.Б.** Характеристика линий мягкой яровой пшеницы селекции СИММУТ по вегетационному периоду в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России / **Б.Б. Наджодов, В.С. Рубец** // Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы: сборник статей V Международной научно-практической конференции; Минск, 21-25 ноября 2022 г. – С. 59.