

*На правах рукописи*

**Коренюк  
Екатерина Андреевна**

**Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы  
с устойчивостью к бурой ржавчине  
в условиях Омского Прииртышья**

**06.01.05 – селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата сельскохозяйственных наук**

**Барнаул 2015**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» в 2009-2011 гг.

Научный  
руководитель:

кандидат биологических наук, с.н.с.,

**Мешкова Людмила Викторовна**

Официальные  
оппоненты:

**Шаманин Владимир Петрович,**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Омский  
государственный аграрный университет имени П.А.  
Столыпина

**Пискарев Вячеслав Васильевич,**

кандидат сельскохозяйственных наук, ученый  
секретарь, Федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение Сибирский  
научно-исследовательский институт  
растениеводства и селекции

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение Научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства Северо-Востока  
имени Н.В. Рудницкого

Защита состоится 17 декабря 2015 г.

Адрес: 656049, г. Барнаул, Алтайский край, просп. Красноармейский, 98.  
Тел./факс: (3852) 62-80-46; e-mail: agau@asau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного аграрного университета и на сайте [www.asau.ru](http://www.asau.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Чернышева  
Наталья Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Пшеница (*Triticum spp.*) – наиболее распространённая на земном шаре продовольственная культура. Благодаря разностороннему использованию высокопитательного зерна она обеспечивает 20% энергии в рационе человечества [В.Д. Баранов, 1994]. Наиболее значительное место в роде *Triticum* занимает мягкая пшеница – *Triticum aestivum*, доля которой в мировом производстве зерна составляет более 90% [А.В. Андрущенко, 2003]. В России яровая мягкая пшеница занимает 2/3 посевных площадей. В Западно-Сибирском регионе – более 6 млн. га, в том числе в Омской области 1,6 млн. га, что составляет 76% от общей площади посева зерновых [В.Г. Холмов, 2006]. Росту урожайности коммерческих сортов препятствуют болезни, от которых Россия ежегодно теряет от 8 до 20 млн. тонн зерна [С.С. Санин, 2004]. По данным П.П. Лукьяненко [П.П. Лукьяненко, 1967], В.А.Чулкиной [В.А. Чулкина, 1998], Ю.Б. Коновалова [Ю.Б. Коновалов, 1999] потери урожая только при поражении посевов бурой ржавчиной могут составлять 30%, а в эпифитотийные годы, согласно К.М. Степанову и А.М. Лубнину – 50-70% [К.М. Степанов, 1956, А.Н. Лубнин, 2006,].

В Западной Сибири среди аэрогенных инфекций мягкой пшеницы также наиболее вредоносной и повсеместно распространённой болезнью является бурая ржавчина [Б.Г. Рейтер, 1992], снижающая урожайность восприимчивых сортов в среднем на 0,5 т/га [В.П. Шаманин, 2012]. Потери от данного патогена в Омской области составляют около 400 тыс. т. зерна, в целом по Западной Сибири – 1,5-2 млн. т [В. П. Шаманин, 2010]. Сильные вспышки отмечаются один раз в 3-4 года, вызывая потери урожая до 40-60% [Б.И. Тепляков, 2003]. Самым экологичным и эффективным методом в борьбе с болезнями, на который ещё в 1935 году указывал Н.И. Вавилов [Н.И. Вавилов, 1967], а позднее в 1939 году В.Г. Траншель [В.Г. Траншель, 1939], является внедрение в производство генетически устойчивых сортов, созданных на основе природного иммунитета. Для предотвращения распространения болезни, возделываемые сорта должны различаться по генам устойчивости. Большинство резистентных сортов, выращиваемых в Омской области, были созданы с использованием гена устойчивости Lr9 [Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, И.А. Белан, 2008], и в настоящее время занимают 22% от посевных площадей. В 2007 году впервые было зафиксировано их поражение. [Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, 2008]. Сорта с пирамидой генов Lr19+26 составляют 5% в структуре посевов [И.А. Белан, Л.П. Россеева, Л.А. Першина]. Таким образом, около 73% возделываемых сортов поражаются бурой ржавчиной, поэтому поиск доноров с иными генами устойчивости актуален и в наши дни.

**Степень разработанности темы исследований.** Большой вклад в развитие теории иммунитета растений к инфекционным заболеваниям внесли работы Н.И. Вавилова. Он первым сформулировал научные принципы поиска иммунных форм в природе в центрах происхождения видов растений. Его работы продолжил П.М. Жуковский, сформулировав теорию сопряжённой эволюции. Генетическим

подтверждением теории сопряжённой эволюции стала работа американского учёного Г. Флора, показавшего тесное взаимодействие растения-хозяина и специализированного паразита на уровне генных продуктов.

Изучение расового состава бурой ржавчины пшеницы в Омской области впервые осуществили А.А. Шитикова и Л.Ф. Русаков в 20-х годах 20 столетия. Возобновлены подобные исследования в конце 60-х годов Б.Г. Рейтером. В настоящее время работы по изучению патогена ведутся в лаборатории иммунитета растений под руководством канд. биол. наук Л.В. Мешковой. В других ведущих учреждениях России данной проблемой занимаются: Л.А. Михайлова, Е.И. Гульятеева (Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург); Е.Д. Коваленко, А.И. Жемчужина (Всероссийский НИИ фитопатологии, Москва); Г.В. Волкова (КНИИБЗР, Краснодар); Т.С. Маркелова (НИИ сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов); Ю.А. Христов, Л.П. Сочалова (СибНИИРС, Новосибирск) и др.

**Цель исследований:** создание исходного материала для селекции устойчивых сортов пшеницы с учётом изучения популяции бурой ржавчины в различных агроклиматических зонах.

**Задачи исследований:**

1. Изучить структуру популяции бурой ржавчины пшеницы по расовому, генотипическому и патотипическому составам.

2. Провести оценку исходных форм и гибридов яровой мягкой пшеницы на устойчивость к возбудителю бурой ржавчины на стадии проростков и взрослого растения.

3. Изучить генетический контроль устойчивости родительских форм с помощью фитопатологического теста (тест-клонов).

4. Определить комбинационную способность исходных сортов и линий и выявить доноры по основным хозяйственно-ценным признакам в топкроссной схеме скрещиваний.

5. Выделить линии, сочетающие устойчивость к бурой ржавчине с рядом ценных признаков урожайности, для дальнейшей селекционной проработки в лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы.

**Научная новизна работы.**

– установлено влияние агроклиматических условий на расовый состав патогена: показано снижение расового разнообразия патогена с севера на юг;

– изучена генетическая система контроля устойчивости родительских форм к тест-клонам бурой ржавчины;

– определена комбинационная способность сортов и линий по элементам урожайности, выявлены доноры хозяйственно-ценных признаков;

– создан новый генетически разнообразный материал, сочетающий устойчивость к патогену на стадии проростков и взрослого растения с высокими показателями хозяйственно-ценных признаков.

**Теоретическая значимость работы.** Определена частота встречаемости патотипов бурой ржавчины пшеницы в спорообразцах патогена; показано влияние агроклиматических условий пункта сбора и генотипа растения-хозяина

на состав спорообразцов патогена. На основе сходства спорообразцов патогена Омской и Челябинской областей и отсутствия такового с монопустульными изолятами Красноярского края подтверждена возможность заноса инфекции из европейской части РФ в Западную Сибирь.

**Практическая значимость работы.** Созданы линии яровой мягкой пшеницы, сочетающие устойчивость к листовым заболеваниям с высокими показателями хозяйственно-ценных признаков. В настоящее время они проходят испытание в СП-3 лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы. Выделен донор устойчивости к бурой ржавчине – Лютесценс 4140.

**Личное участие соискателя в получении результатов исследований, изложенных в диссертации.** Соискателем получены оригинальные данные по структуре природных популяций бурой ржавчины пшеницы трёх агроклиматических зон Омской области и сопредельных регионов; получен ценный генетически разнообразный гибридный материал; проведена лабораторная и полевая оценка устойчивости родительских форм и гибридов; изучен генетический контроль устойчивости полученных гибридов; определена комбинационная способность исходных родительских форм, осуществлена статистическая обработка экспериментальных данных.

#### **Методология и методы исследований.**

Научная методология основывается на системном подходе к проблеме создания устойчивых к бурой ржавчине сортов пшеницы, включая выявление эффективных генов резистентности сортов-доноров, обладающих высокими показателями хозяйственно-ценных признаков, и изучение структуры популяции патогена по расовому, генотипическому и патотипическому составам. В исследованиях использовались методы: эмпирические – эксперимент, наблюдение, измерение, сравнение, описание и др.; теоретические – формализация, аксиоматизация, абстрагирование и др.; общенаучные – анализ, синтез, обобщение, классификация, систематизация и др. Полевые и лабораторные опыты закладывались по общепринятым методикам.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Структура популяции бурой ржавчины пшеницы трёх агроклиматических зон Омской области и сопредельных регионов; сходство/ различие спорообразцов Омской и Челябинской областей и Красноярского края.
2. Доноры устойчивости к возбудителю бурой ржавчины
3. Доноры по основным хозяйственно-ценным признакам.
4. Селекционная ценность созданных и прорабатываемых в селекционных питомниках линий, устойчивых к грибным патогенам.

**Достоверность результатов исследований** обеспечена трёхлетними испытаниями в полевых и лабораторных условиях. Опыты проводились по утверждённым методикам, ежегодно принимались методической комиссией ФГБНУ «СибНИИСХ» с отличными оценками. Заключение подтверждено созданным ценным селекционным материалом, внедрённым в производство, математическими расчётами стандартными статистическими методами.

**Апробация работы.** Основные материалы диссертации доложены на заседаниях научно-методических советов СибНИИСХ (2009-2011 гг.); на международных научно-практических конференциях: г. Волгоград, 13-15 мая 2009 г., г. Горки Республика Беларусь, 25-27 мая, 2011 г., п. Тимирязевский, 28-30 июня 2011 г., Большие Вяземы Московской области 17-21 июля 2012 г., Омск, 2-4 августа 2012 г.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 7 работ, из них 3 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 165 страницах печатного текста. Состоит из введения, 6 глав, выводов, рекомендаций НИИ по селекции на устойчивость и по донорам хозяйственно-ценных признаков, 19 приложений. Содержит 47 таблиц, 19 рисунков. Библиографический список включает 286 источников, в том числе 92 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Обзор литературы

В главе представлен обзор литературы по биологии развития (В.Г. Траншель, 1939, К.Е. Мурашкинский, 1946, К.М. Степанов, 1975, Т.И. Ишкова, 2004), вредоносности (П.П. Лукьяненко, 1973, Ю. Б. Коновалов, 1999, С.С. Санин, 2004) и распространению ржавчинных грибов на посевах пшеницы (А. Е. Чумаков, 1969, Б.Г. Рейтер, 1984, В.А. Чулкина, 1998). Освещены исследования по генетике взаимоотношений патогена и растения-хозяина (П.М. Жуковский, 1959, Н.И. Вавилов, 1964, В.М. Берлянд-Кожевников, 1978, J.E. Vanderplank, 1968, Н.Н. Flor, 1971, И.Г. Одинцова, 1986, Л.А. Михайлова, 2006). Отражено изучение расового состава патогена (J.A. Kolmer, D.L. Long, 1989, Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, 2002, А.И. Жемчужина, Е.Д. Коваленко, 2012,). Обозначена проблема поиска доноров генов устойчивости (P.L. Dyck, D.J. Samborski, R.A. McIntosh, 1988, Е.И. Гультияева, 2012). Дан анализ эффективности известных генов устойчивости, с учётом эволюции структуры популяции патогена в различных регионах страны (Л.А. Михайлова, 1994, Т.С. Маркелова, 2003, В.В. Сюков, 2003, Г.В. Волкова, 2008, Е.Д. Коваленко, Н.С. Жемчужина, 2012, Л.В. Мешкова, 2012, Ю.А. Христов, Л.П. Сочалова, 2012).

### Материал, условия и методика проведения исследований

Исследования проводились в 2009-2011 гг. в полевых и лабораторных условиях. Опытное поле лаборатории иммунитета растений ФГБНУ «СибНИИСХ» расположено в южной лесостепи Омской области; почва данного участка – луговочернозём (Н.А. Воронкова, 2009).

Объектом исследования служили сорта и перспективные линии яровой мягкой пшеницы, гибридные популяции  $F_1$  и  $F_2$ , полученные в топкроссной схеме скрещиваний (6×3). В качестве материнских форм взяты, включённые в ГР РФ, сорта: Омская 32, Омская 33, Страда Сибири, Светланака, Омская 35 и Дуэт, в качестве отцовских форм – Тулеевская, линии Lr38 и Лютесценс 4140.

Годы исследований незначительно различались по температурному режиму, но были контрастными по количеству выпавших осадков: 2011 г. соответствовал норме, 2010 г. был засушливым, 2009 г. избыточно влажным. Температуры мая в среднем не превышали 15°C, июня, июля и августа – 20°C, сентября – 15°C. Количество осадков с мая по сентябрь в 2009 г. составляло 323,0 мм; в 2010 г. – 119,4 мм; в 2011 г. – 209,8 мм при норме 224,9 мм. Благоприятные гидротермические условия сложились в 2009 г. и в 2011 г.

Полевые опыты закладывали согласно схеме  $P_{\text{♀}}-F_1-F_2-P_{\text{♂}}$ . Посев исходных родительских форм и гибридных популяций осуществляли ручной сажалкой конструкции ОКБ СибНИИСХ. Родительские формы и гибриды первого поколения высевали по 1 рядку, гибриды второго поколения – по 6 рядков, норма высева 10 зёрен на погонный метр. Повторность четырёхкратная, площадь питания растений 10 см x 20 см. В период вегетации проводили фенологические наблюдения, отмечали фазы всходов и колошения. Устойчивость к бурой ржавчине оценивали по шкале Петерсона (R. F. Peterson, 1948).

Перспективные гибридные комбинации изучали в селекционных питомниках лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы. В 2010 г. посев проводили в гибридном питомнике (ГП) сеялкой ССФК-7 (площадь 3 м<sup>2</sup>); в 2011 г. – в селекционном питомнике первого года (СП-1) сеялкой СПР-2. Отборы проводили по устойчивости к листовым патогенам и по продуктивности. В 2012 г. лучшие линии были высеяны в селекционном питомнике второго года (СП-2) (площадь деланки 5 м<sup>2</sup>). Уборку осуществляли комбайном «Неге»-125.

Анализ структуры урожайности был проведён по признакам: высота растения, общая и продуктивная кустистость, число зёрен главного колоса и растения, масса зерна главного колоса и растения, масса 1000 зёрен. Статистически данные обработали с использованием табличного процессора Microsoft Excel: дисперсионный анализ и коэффициенты корреляции на основе методики Б.А. Доспехова (1968), анализ комбинационной способности по методическим рекомендациям Р.И. Рутца (1977).

Для исследования использовали спорообразцы Омской популяции бурой ржавчины трёх агроклиматических зон (подтайга, южная лесостепь и степь), а также спорообразцы, полученные из Восточной Сибири (Красноярск) и Южного Урала (Челябинск).

Расовый и генотипический состава патогена изучали по методике Л.А. Михайловой и К.В. Квитко (2003). Тип реакции растения на внедрение патогена определяли по шкале E.V. Mains и H.S. Jackson (1926) в модификации C.O. Ghonston и V.E. Browder (1966). Фенотипическое разнообразие выявляли с помощью тест-наборов моногенных линий D.L. Long и J.A. Kolmer: набор №1 составляют изогенные линии Lr1, Lr2a, Lr2c и Lr3; набор №2 – Lr9, Lr16, Lr24, Lr26; набор №3 – Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30; набор №4 – LrB, Lr10, Lr14a, Lr18. Реакция изолятов гриба на каждом из наборов изогенных линий, кодируемая низким (L) или высоким (H) инфекционным типом, имеет буквенное обозначение. Комбинация из 4 соответствующих букв представляет формулу расы (D.L. Long,

Ж.А. Kolmer, 1989). Патотипы патогена установили на основании данных по вирулентности, используя формулу Г. Дж. Грина.

Для статистического подтверждения различия споробразцов использовали коэффициент сходства Л.А. Животовского (1979).

Идентификацию генов устойчивости родительских форм и гибридов проводили по методике И.Г. Одинцовой (1986) с помощью тест-клонов, выделенных при мониторинге споробразцов бурой ржавчины (патотип № 1 проявлял устойчивость к гену Lr 9 (R/9), патотип № 2 – восприимчивость (S/9)).

Соответствие между наблюдаемыми и теоретически ожидаемыми частотами устойчивости устанавливали по критерию  $\chi^2$  (Б. А. Доспехов, 1968, Р. А. Фишер, 1958).

Расчёт площади под кривой развития болезни (ПКРБ) рассчитывали по методу Джонсона и Вилкоксона (R. D. Wilcoxon, 1974).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Структура популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы.** Современные сорта кроме высоких показателей продуктивности должны обладать устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, в частности, к болезням. Для разработки стратегии выведения устойчивого сорта необходимо знать особенности развития патогена, состав и вирулентность популяции возбудителя данного и сопредельных регионов, а также наличие/отсутствие генов устойчивости в уже возделываемых сортах.

**Вирулентность популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы.** С 2009 г. по 2011 г. на стандартном наборе сортов - дифференциаторов были проанализированы монопустульные изоляты, выделенные из уренициальных споробразцов бурой ржавчины пшеницы трёх агроклиматических зон (подтайга, лесостепь и степь) с 15 сортов, включённых в ГР РФ и допущенных к использованию в Омской области. Было идентифицировано шесть физиологических рас гриба: 6, 12, 57, 61, 77 и 144. Ежегодно присутствовала 77 раса, доминировавшая в большинстве споробразцов (рис. 1).

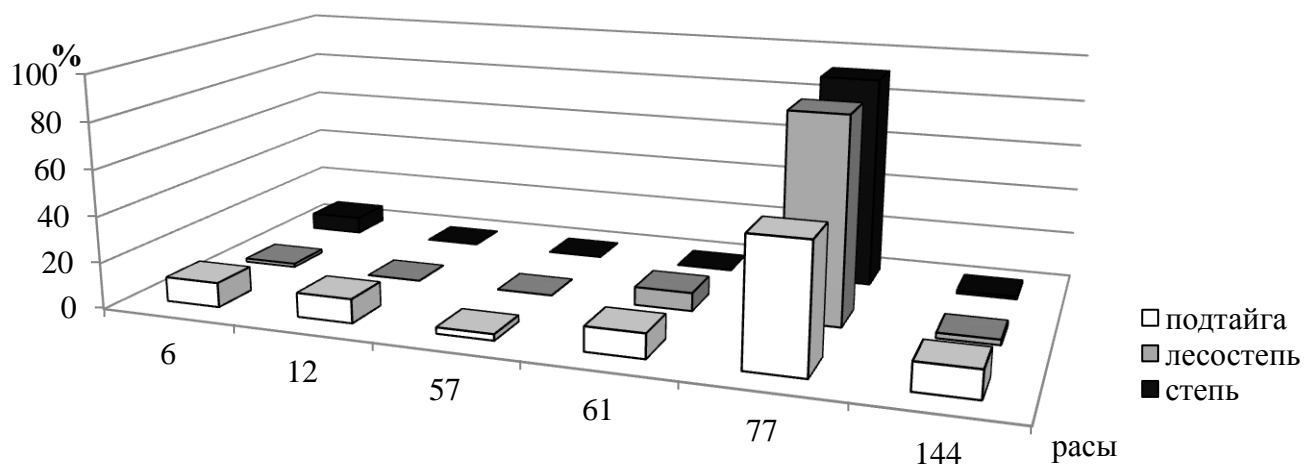


Рисунок 1 – Расовый состав бурой ржавчины пшеницы агроклиматических зон Омской области: подтайга, лесостепь, степь в среднем за 2009-2011 гг., %.



Частота встречаемости, самой вирулентной 77 расы, зависела от складывающихся гидротермических условий агроклиматической зоны и сорта растения-хозяина и варьировала в диапазоне от 52,7% до 99,2%. Данные дисперсионного анализа подтвердили, что состав рас зависит от зоны возделывания сорта (доля влияния года = 2,55%, зоны = 6,59%). Наибольшее расовое разнообразие во все годы исследований отмечено в зоне подтайги; наиболее однородный расовый состав гриба – в степной зоне, где ежегодно присутствовало не более двух рас.

Результаты анализа расового состава патогена показали снижение расового разнообразия патогена с севера на юг – от зоны подтайги к степи, несмотря на большее количество изученных монопустульных изолятов в зонах степи и лесостепи, где выращивается наибольший сортимент сортов яровой пшеницы различных групп спелости.

Согласно теории сопряжённой эволюции, изменение расового и генотипического состава патогена также может быть вызвано изменением генотипа сорта растения-хозяина. Возделывание сортов, различающихся по генам устойчивости, приводит к мобилизации в популяции патогена новых рас. Исходя из родословных сортов Памяти Азиева (Саратовская 29/ Лютесценс 99-80-1) и Омская 32 (Лютесценс 162-84-1/Крис (США)), в их генотипах нет генов устойчивости. При этом, на них преимущественно развивается наиболее вирулентная 77 раса (90,8-94,7 %). Родословные сортов Алтайская 92 (Новосибирская 67/(Безостая 1/Саратовская 29)) и Тарская 10 (Лютесценс 10-87-8-1/Лютесценс 166-87-5) предполагают наличие генов устойчивости. В составе спорообразца с сорта Алтайская 92 доля 77 расы составляла 19,3-28,6 %, преобладали 6 и 144 расы. В спорообразце с сорта Тарская 10 доля 77 расы составляла 9,6-15,2 %, преобладали 12 и 61 расы, а также присутствовала 57 раса, не встречающаяся в спорообразцах с других сортов. Различия в родословных и соответствующей частоте встречаемости на сортах различных рас патогена, в одних и тех же условиях, указывают на возможность присутствия в сортах генов устойчивости различного механизма действия. Таким образом, гидротермические условия зоны и генотип растения-хозяина обуславливали большее разнообразие и влияли на расовый состав патогена.

На сорте Тарская 10 в сравнении с сортом Памяти Азиева развитие заболевания задерживается, что подтверждается скоростью нарастания заболевания, выраженной площадью под кривой развития болезни (ПКРБ). Это позволяет растению более продолжительное время сохранять листовую поверхность, что приводит к более длительному периоду воздействия патогена и отбору менее вирулентных рас. Так, из выявленных, 77 раса самая вирулентная, в исследуемом материале она поражала весь стандартный набор сортов-дифференциаторов, в то время как 57 и 61 расы только некоторые из них.

То есть, сорт Тарская 10 отличался более низкой интенсивностью нарастания поражения бурой ржавчиной, чем сорт Памяти Азиева. Таким образом, создание сортов, на которых задерживается развитие заболевания, способствует предотвращению эпифитотий.

Согласно международной классификации по ключу Long D. L. и Kolmer J. A. (1989) выявлено 17 фенотипических рас. Ежегодно преобладали две: TJTT и TGTT. В зависимости от зоны доля расы TJTT составляла от 19,53% в лесостепи до 42,18% в степи; расы TGTT – от 20,19% в подтайге до 27,44% в лесостепи. Высокая встречаемость двух рас в среднем по области (TJTT – 26,82%, TGTT – 24,89%) говорит об относительном единообразии по генам устойчивости сортов, возделываемых в регионе. Количественная представленность фенотипов в популяции распределялась подобно физиологическим расам, от максимального количества в зоне подтайги (14 шт.), до минимального в степи (8 шт.).

Анализ вирулентности спорообразцов в зональном разрезе выявил 39 патотипов патогена, 10 из них: 9,19/S; 9,26/S; 19,26/S; 9,19,24/S; 9,19,26/S; 9,24,26/; 19,24,26/S; 9,19,24,26/S; 9,19,23,24,26/S; 9,19,24,26,29/S встречались ежегодно во всех зонах. Широкое распространение одних и тех же патотипов подтверждает однообразие генетической основы возделываемых в области сортов.

Анализ генофонда спорообразцов по зонам на моногенных линиях показал, что линии с генами Lr28, 41 и 47 проявляли иммунитет ко всем изолятам, высокую и среднюю эффективность имели линии с генами резистентности Lr9, Lr19 и Lr26: их устойчивость составляла от 71,63% до 97,96% (рис. 2). Устойчивость линий с геном Lr24 была несколько ниже: от 28,85 до 51,63%, в зависимости от агроклиматической зоны.

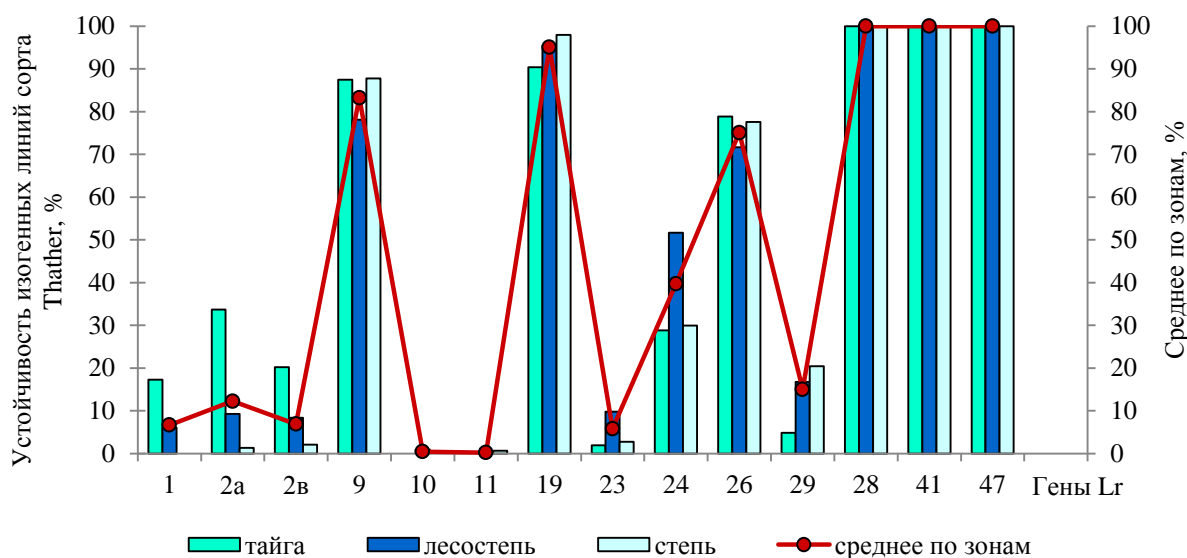


Рисунок 2 – Эффективность Lr-генов устойчивости к изолятам бурой ржавчины в зависимости от агроклиматической зоны.

Таким образом, сорта, несущие гены устойчивости Lr9, 19, 24, 26, 28, 41 и 47 следует включать в скрещивания для выведения иммунных форм, с учётом особенностей структуры популяций патогена, агроклиматических зон и их мозаичного размещения.

Планирование селекции на иммунитет невозможно без учёта

сходства/различия популяций патогена различных агроклиматических зон. Нами установлено высокое сходство спорообразцов возбудителя бурой ржавчины во все годы исследований – зон лесостепи и степи (от 70,91 до 100 %); в 2010 и 2009 годах – зон подтайги и лесостепи (от 63,64 до 97,50 %), подтайги и степи (от 74,49 до 98,50 %). Отмечено значительное отличие спорообразцов зоны подтайги в 2011 г. как от лесостепи, так и от степи.

**Вирулентность популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы Омской области и сопредельных регионов.** Бурая ржавчина – аэрогенный патоген, поэтому на состав популяции патогена Западной Сибири может оказывать влияние занос уредениоспор возбудителя воздушными потоками из других регионов страны. Чтобы проверить данное положение мы изучили спорообразцы из Восточной Сибири (Красноярск) и Южного Урала (Челябинск).

Результаты исследования показали значительное отличие расового состава спорообразцов Восточной Сибири от Западной Сибири и Южного Урала, что может говорить об изолированности и отсутствии влияния этой популяции на популяцию бурой ржавчины Омской области. В спорообразцах Омской и Челябинской областей присутствовала 6 раса, в 2010 и 2011 гг. – 61 раса, не встречающиеся в Красноярске. Доля повсеместно распространённой 77 расы в популяциях Омска и Челябинска в 2009 и 2011 гг. превышала долю этой расы в Красноярске в 3-7 раз.

Таким образом, между популяциями Южного Урала и Западной Сибири в большинстве лет исследования отмечалось сходство: в среднем за три года оно составило 59,95 % (табл. 1). Коэффициенты сходства Омска и Красноярска, так же, как Челябинска и Красноярска – 20,93%.

Таблица 1 – Коэффициенты сходства популяций бурой ржавчины пшеницы, %

Пункт сбора	Коэффициенты сходства популяций, %			
	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2009-2011гг
Омск/Челябинск	62,20	27,24	80,74	59,95
Омск/Красноярск	20,34	29,41	13,04	20,93
Челябинск/Красноярск	20,34	9,52	13,04	20,93

Данные по расовому составу, а также коэффициентам сходства показали, что в спорообразцах патогена из Челябинска и Омска присутствуют расы отличные от рас популяции Красноярска. Однако популяции Омска и Челябинска также не идентичны по расовому составу и соотношению рас по годам: состав инокулюма, собранного в разных регионах с одних и тех же сортов, показал, что отличия по генам авирулентности зависят не только от сорта, но и от места сбора. В инокулюме с сортов Новосибирская 15 и Памяти Азиева, собранных в Омске, преобладали генотипы с генами авирулентности: 9, 19, 28, 41 и 47 (93,3-100%); в спорообразцах из Челябинска – кроме указанных (9, 19, 28, 41 и 47) (94,6-100%), также велика доля авирулентных генов: 1, 2а и 15 (80,9-90,5%).

Анализ данных генотипического состава популяций по регионам показал,

что в Омской, Челябинской областях и Красноярском крае эффективны гены устойчивости: Lr9, 19, 26, 28, 41 и 47. Кроме того в Челябинской области эффективны гены – Lr2a и 15, в Красноярске – Lr11.

Таким образом, исходя из коэффициентов сходства популяций патогена и наличия эффективных генов устойчивости, следует обращать особое внимание на региональное и зональное размещение резистентных сортов пшеницы с целью длительного сохранения их иммунитета.

**Устойчивость гибридов к тест-клонам.** В результате мониторинга вирулентности спорообразцов бурой ржавчины пшеницы было подтверждено наличие в популяции Омской области патотипов вирулентных к гену Lr9. Это позволило отобрать тест-клоны патогена R/9 и S/9 (различающихся по поражению линии с геном Lr9) для дальнейшего их использования при идентификации генов резистентности исходных родительских форм.

Оценка родительских форм к патотипу R/9 показала, что устойчивость проявили материнская форма Дуэт и тестеры: Лютесценс 4140, Lr38, Тулеевская; частичную устойчивость (MR) – Страда Сибири. К патотипу S/9 все сорта были восприимчивы, за исключением сорта Страда Сибири и линии Лютесценс 4140, показавших частичную устойчивость (MR).

В гибридных популяциях: Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 35/Лютесценс 4140 и Светланка/Лютесценс 4140 расщепление 3R:1S показало, что между родительскими формами имеются различия минимум по 1 гену устойчивости (табл. 2). В гибридных популяциях, полученных от скрещивания сорта Страда Сибири с тестерами Lr38 и Лютесценс 4140, а также в комбинации Омская 33/Лютесценс 4140, наблюдалось расщепление 13R:3S, что свидетельствует о контроле устойчивости двумя генами. В гибридных популяциях: Дуэт/Тулеевская и Дуэт/Lr38 выявлена резистентность к патотипу R/9. Расщепление 3R:1S отмечено у Дуэт/Лютесценс 4140, что свидетельствует о различии в контроле устойчивости родителей, обусловленном не только геном Lr9.

Таблица 2 – Расщепление в гибридных популяциях по устойчивости к патотипам бурой ржавчины R/9, S/9

Гибридные популяции	R/9				S/9			
	R	S	R:S	$\chi^2$	R	S	R:S	$\chi^2$
Омская 32/Л 4140	47	17	<b>3:1</b>	<b>0,08</b>	0	64	<b>S</b>	-
Омская 33/Л 4140	89	17	<b>13:3</b>	<b>0,51</b>	20	86	<b>3:13</b>	<b>0,001</b>
Омская 35/Л 4140	43	18	<b>3:1</b>	<b>0,66</b>	0	61	<b>S</b>	-
Светланка/Л 4140	48	20	<b>3:1</b>	<b>0,71</b>	0	68	<b>S</b>	-
Страда Сибири/Lr 38	61	9	<b>13:3</b>	<b>1,60</b>	13	58	<b>3:13</b>	<b>0,02</b>
Страда Сибири/Л 4140	54	12	<b>13:3</b>	<b>0,01</b>	14	47	<b>3:13</b>	<b>0,71</b>
Дуэт/Тулеевская	62	0	<b>R</b>	-	0	62	<b>S</b>	-
Дуэт/Lr38	67	0	<b>R</b>	-	0	67	<b>S</b>	-
Дуэт/Л 4140	52	14	<b>3:1</b>	<b>0,51</b>	17	49	<b>1:3</b>	<b>0,02</b>

Достоверно при  $\chi^2 < 3,84$

К патотипу S/9 восприимчивость отмечена в гибридных популяциях: Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 35/Лютесценс 4140, Светланка/Лютесценс 4140, Дуэт/Тулеевская и Дуэт/Lr38. Расщепление 3R:13S наблюдалось в комбинациях Омская 33/Лютесценс 4140, Страда Сибири/Lr38, Страда Сибири/Лютесценс 4140. В гибридной популяции Дуэт/Лютесценс 4140 расщепление соответствовало 1R:3S – родительские формы различались по 1 рецессивному гену, ответственному за устойчивость.

Таким образом, анализ родительских форм и их гибридных популяций с использованием тест-клонов R/9 и S/9 показал: в сортах Дуэт, Тулеевская и линии Лютесценс 4140 ген Lr9 присутствует; в линии Лютесценс 4140 также имеется другой ген устойчивости. Отличные гены содержит сорт Страда Сибири.

**Полевая устойчивость к бурой ржавчине.** В течение вегетационного периода оценка полевой устойчивости к бурой ржавчине проводилась трижды, с интервалом в две недели, начиная с момента появления первых пустул. Высокую устойчивость к бурой ржавчине во все годы исследований имел тестер Лютесценс 4140, поражение которого не превышало 10% (рис. 3).

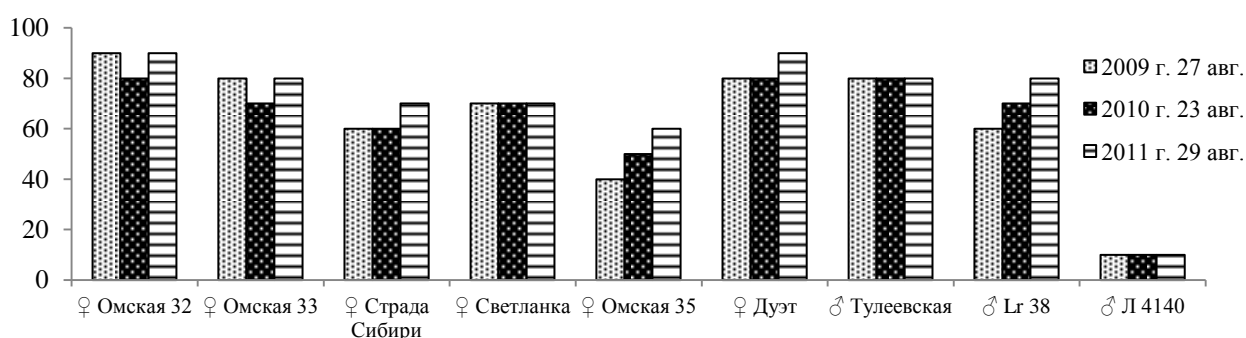


Рисунок 3 – Полевая оценка устойчивости родительских форм к бурой ржавчине пшеницы, 2009-2011 гг., %.

Анализ резистентности гибридных форм показал, что в годы исследований наибольшей устойчивостью (поражение не больше 30%) характеризовались гибриды, полученные при скрещивании материнских форм с тестером Л4140: Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 33/Лютесценс 4140, Страда Сибири/Лютесценс 4140, Светланка/Лютесценс 4140, Омская 35/Лютесценс 4140. Среднюю степень устойчивости (поражение не более 50%) имели гибриды: Страда Сибири/Lr38, Омская 35/Тулеевская, Омская 35/Lr38.

По результатам трёхлетней полевой оценки устойчивости к природной популяции патогена рекомендуется для создания резистентных сортов включать в скрещивания линию Л 4140.

**Селекционно-генетическая оценка гибридных популяций по хозяйственно-ценным признакам.** Период всходы-колошение за годы

исследований составлял от 42 до 53 суток. Наименьшую продолжительность данного периода имел сорт Омская 32, наибольшую – Омская 35. Гибридные популяции, в среднем, соответствовали среднеспелой группе. Анализ вариантов комбинационной способности свидетельствует о доминировании генов с аддитивным типом действия. Наибольший вклад в изменчивость признака вносили ОКС материнских форм: от 44,7 % до 86,7 % у  $F_1$  и от 58,4 % до 59,3 % у  $F_2$ . Данные по эффектам ОКС показали, что при создании среднеранних сортов в качестве доноров на сокращение периода всхожести следует использовать сорта: Омская 32, Страда Сибири, Тулеевская и линию Лютесценс 4140.

Определение комбинационной способности показало, что основной вклад в генотипическую изменчивость изученных признаков внесли гены с аддитивным типом действия. Результаты анализа вариантов по высоте растения показали, что на долю ОКС материнских и отцовских форм приходилась наибольшая часть изменчивости (от 55,4 % до 90,3 % в  $F_1$  и от 74,9 % до 90,8 % в  $F_2$ ). Однако, роль СКС была также существенной: наибольший вклад СКС внесли в 2009 г. – 43,6 %; в 2010 г. – 17,6 % ( $F_1$ ) и 24,6 % ( $F_2$ ); в 2011 г. – 9,6 % ( $F_1$ ) и 9,0 % ( $F_2$ ).

По признаку общая кустистость на долю вариантов ОКС приходилось в первом поколении гибридов от 84,3 % до 90,9 %, во втором – от 91,1 % до 94,9 %; варианты СКС составляли 8,5 % - 17,8 % и 4,6 % - 8,4 %, по поколениям соответственно. Преобладающий вклад в изменчивость признака вносили материнские формы, за исключением гибридов  $F_1$  в 2010 г., когда влияние материнских и отцовских форм было примерно одинаково.

По признаку продуктивная кустистость на долю вариантов ОКС приходилось в первом поколении от 76,7 % до 89,3 %, во втором – от 90,4 % до 95,2 %; варианты СКС составляли 9,6 % - 22,9 % и 4,4 % - 8,9 %, по поколениям соответственно. Наибольший вклад в изменчивости признака принадлежал материнским формам. Однако, в 2010 г. у гибридов  $F_1$  вклад материнских и отцовских форм был практически равнозначен.

Признак число зёрен главного колоса, как в  $F_1$ , так и в  $F_2$  контролировался преимущественно аддитивными эффектами генов – их вклад составлял от 83,5 % до 95,2 %. Наибольший вклад в изменчивости признака принадлежал материнским формам: от 68,8 % до 93,6 %. Однако в  $F_1$  существенный вклад внесли эффекты СКС: от 10,3 % до 16,2 %.

По признаку масса зерна главного колоса наибольший вклад в изменчивости принадлежал материнским формам (от 72,0 % до 93,9 %). В 2009 г. и в 2011 г. отмечалось существенное неаддитивное действие генов (16,9 % и 11,1 % по годам соответственно).

По признаку число зёрен растения на долю вариантов ОКС приходилось в первом поколении от 68,3 % до 93,1 %, во втором – от 90,7 % до 96,0 %. Однако, в 2010 г. у  $F_1$  существенный вклад внесли тестеры (26,7 %) и СКС (27,4 %). Существенна была роль тестеров и у  $F_2$  (в 2010 г. – 21,3 %, в 2011 г. – 22,4 %).

Признак масса зерна растения, как в F<sub>1</sub>, так и в F<sub>2</sub> контролировался преимущественно аддитивными эффектами генов – их вклад составлял от 94,9 % до 98,5 %. Преобладающий вклад в изменчивость признака вносили материнские формы. Однако, в 2010 г. у F<sub>1</sub>, а также в 2011 г. у F<sub>2</sub> был существенен вклад тестеров (39,4 % и 21,7 %, соответственно).

По признаку масса 1000 зёрен на долю ОКС материнских и отцовских форм приходилась наибольшая часть изменчивости (от 83,6 % до 93,7 %).

Анализ эффектов ОКС изученных признаков показал, что отрицательные значения по высоте растений имели сорта и линии: Страда Сибири, Омская 35, Дуэт, Тулеевская и Лютесценс 4140 (таблица 3). Положительные значения эффектов ОКС отмечены: по общей и продуктивной кустистости, а также по числу и массе зёрен главного колоса и растения – Страда Сибири, Омская 35 и Дуэт; по массе 1000 зёрен – Страда Сибири, Омская 35, Дуэт, Lr38 и Лютесценс 4140.

Таблица 3 – Эффекты ОКС сортов и линий пшеницы

Сорта, линии	ВР	ОК	ПК	ЧЗГК	мЗГК	ЧЗР	мЗР	м1000з
Омская 32	2,31	-0,49	-0,47	-0,98	-0,07	-15,1	-1,06	-2,95
Омская 33	4,55	0,01	0,06	-0,25	-0,02	-1,08	-0,07	-0,32
Страда Сибири	-1,43	-0,06	0,10	1,91	0,08	6,91	0,58	1,89
Светланка	1,45	-0,5	-0,58	-3,17	-0,16	-24,94	-0,94	-1,4
Омская 35	-4,44	0,51	0,39	1,46	0,09	15,83	0,75	1,83
Дуэт	-2,43	0,54	0,50	1,02	0,07	18,39	0,74	0,95
<i>Ст. ош.</i>	<i>0,29</i>	<i>0,06</i>	<i>0,04</i>	<i>0,26</i>	<i>0,02</i>	<i>1,85</i>	<i>0,07</i>	<i>0,22</i>
Тулеевская	-0,71	0,07	0,04	-0,51	-0,01	2,15	-0,1	-0,91
Lr 38	2	-0,05	-0,02	0,31	0,01	-3,56	-0,04	0,45
Лютесценс 4140	-1,29	-0,01	-0,03	0,2	0,01	1,41	0,13	0,46
<i>Ст. ош.</i>	<i>0,4</i>	<i>0,08</i>	<i>0,06</i>	<i>0,37</i>	<i>0,03</i>	<i>2,62</i>	<i>0,1</i>	<i>0,31</i>

**Связь между количественными признаками.** Для установления тесноты связей рассчитывали коэффициенты корреляции у родительских форм и гибридных популяций по основным хозяйственно-ценным признакам. Тесные связи отмечены у родительских форм Омская 32, Омская 33, Светланка и Лютесценс 4140 между: общей и продуктивной кустистостью, числом и массой зёрен главного колоса, числом и массой зерна растения. В гибридных популяциях первого и второго поколений сохранялась теснота связей, выявленная у родительских форм.

**Изучение линий, отобранных в гибридных популяциях топкроссной схемы скрещиваний, в селекционных питомниках.** По результатам оценки гибридов на устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине в фазы колошения (5 июля) и восковой спелости (24 августа) в гибридном питомнике было выделено 9 гибридных комбинаций: Дуэт/Л4140, Дуэт/Lr38, Дуэт/Тулеевская, Светланка/Л4140, Страда Сибири/Л4140, Страда Сибири/Lr38, Омская 35/Л4140, Омская 33/Л4140, Омская 32/Л4140. Дальнейшее изучение линий в селекционном питомнике первого года выявило, что наибольшее число линий, сочетающих устойчивость к

патогенам с продуктивностью растения, получено в гибридных популяциях с участием тестера Л4140: Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 33/Лютесценс 4140, Светланка/Лютесценс 4140. Данные линии были переданы в селекционный питомник второго года изучения, где они показали высокую устойчивость к бурой ржавчине (табл. 4).

Таблица 4 – Оценка линий в селекционном питомнике второго года изучения, 2012 г.

Сорта, гибриды	Продолжительность, сут.		Поражение		Урожайность, г/м <sup>2</sup>
	всходы - колошение	всходы – восковая спелость	бурой ржавчиной, %	мучнистой росой, балл	
St CP – Памяти Азиева	34	70	100	4	283,3
St СП – Омская 35	38	73	60	3,5	378,3
Омская 32/Л4140	34	70	10	2	280,0
Омская 33/Л4140	38	73	10	5	333,3
Светланка/Л4140	36	71	30	6	356,7

Урожайность отобранных линий была на уровне и выше стандартов. В настоящее время линии Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 33/Лютесценс 4140 и Светланка/Лютесценс 4140 изучаются в селекционном питомнике третьего года.

## ВЫВОДЫ

1. В популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы из трёх агроклиматических зон Омской области в 2009-2011 гг. в большинстве спорообразцов доминировала 77 физиологическая раса гриба, преобладали две фенотипические расы (ТJТТ и ТGТТ) и патотип Р9Р19Р26.

2. На состав возбудителя влияли гидротермические условия зоны возделывания сорта: расовое, патотипическое и фенотипическое разнообразие патогена снижалось с севера на юг – от зоны подтайги к степи, независимо от количества изученных монопустульных изолятов.

3. Спорообразцы возбудителя бурой ржавчины агроклиматических зон лесостепи и степи во все годы исследований, зон подтайги и лесостепи в 2009 и 2010 гг. обладали высоким сходством по расовому, фенотипическому и генотипическому составам; спорообразцы зоны подтайги значительно отличались от зон лесостепи и степи в 2011 г.

4. Влияние генотипа растения-хозяина на состав спорообразцов патогена обусловлено различиями в родословных и наличием/отсутствием у сортов расоспецифических генов устойчивости и генов с длительной устойчивостью.

5. Полную устойчивость к выделенным изолятам проявили гены: Lr28, Lr41, Lr47; частичную – гены Lr9, Lr19, Lr26.

6. Между популяциями бурой ржавчины пшеницы Южного Урала и Западной Сибири существует высокое сходство, что подтверждает занос инфекции в Омскую область из юго-западных регионов. Значительное



отличие состава спорообразцов Восточной Сибири говорит об изолированности данной популяции.

7. В Омской, Челябинской областях и Красноярском крае эффективными генами устойчивости являются Lr9, 19, 26, 28, 41, 47; а также: Lr24 в Омской области; Lr1, 2a, 15 и 24 - в Челябинской области; Lr 11 и 23 - в Красноярске.

8. Использование тест-клонов R/9 и S/9 позволило подтвердить присутствие гена Lr9 в сортах Дуэт и Тулеевская; установить наличие гена Lr9 у линии Лютесценс 4140, а также других генов устойчивости у Страды Сибири и Лютесценс 4140.

9. Устойчивостью к бурой ржавчине обладает линия Лютесценс 4140.

10. Преобладание вариантов ОКС в генетическом контроле изученных признаков свидетельствует о доминировании генов с аддитивным типом действия и целесообразности проведения отбора с F<sub>2</sub>.

11. Линии: Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 33/Лютесценс 4140, Светланка/Лютесценс 4140 сочетают высокую урожайность с устойчивостью к болезням.

#### **РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКИ**

1. Включать в скрещивания сорта с эффективными генами устойчивости к местной популяции патогена: Lr28, Lr41 и Lr47.

2. В качестве доноров в селекционные программы следует включать сорта и линии:

– для создания сортов, устойчивых к бурой ржавчине – Лютесценс 4140;

– на сокращение периода всходы-колошение – Омская 32, Страда Сибири, Тулеевская, Лютесценс 4140;

– на снижение высоты растений: Страда Сибири, Омская 35, Дуэт и линия Лютесценс 4140;

– на увеличение общей и продуктивной кустистости, а также числа и массы зёрен главного колоса и растения: Страда Сибири, Омская 35 и Дуэт;

– на увеличение массы 1000 зёрен: Страда Сибири, Омская 35, Дуэт, Lr38 и Лютесценс 4140.

3. Практическую ценность для дальнейшей селекции имеют линии, сочетающие урожайность с устойчивостью к бурой ржавчине: Омская 32/Лютесценс 4140, Омская 33/Лютесценс 4140, Светланка/Лютесценс 4140.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

##### **Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах ВАК РФ**

1. Мешкова Л.В. Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины, вирулентного к сортам пшеницы с геном Lr9 в Омской области / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, Е.А. Коренюк, И.А. Белан // Микология и фитопатология. – 2012. – Т.46, вып. 6. – С. 397-401.

2. Коренюк Е.А. Комбинационная способность сортов и перспективных линий яровой мягкой пшеницы по признакам продуктивности в условиях южной лесостепи Омской области / Е.А. Коренюк, Л.В. Мешкова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 5. – С.6-8.

3. Коренюк Е.А. Устойчивость родительских форм и гибридов к бурой ржавчине в полевых условиях / Е.А. Коренюк, Л.В. Мешкова // Вестник защиты растений. – 2014. – №1. – С.70-71.

#### **Публикации в других изданиях**

1. Коренюк Е.А. Вирулентность возбудителя бурой ржавчины пшеницы Омской области / Е.А. Коренюк// Наука и молодежь: Новые идеи и решения Материалы III Международной научно-практической конференции молодых исследователей, посвящённой 65-летию образования Волгоградской ГСХА Волгоград, 13-15 мая 2009 г. В 2-х частях. Часть I. – Волгоград ИПК ФГОУ ВПО ВГСХА «Нива», 2009. – С. 199-202.

2. Коренюк Е.А. Идентификация гена(ов), контролирующего устойчивость к бурой ржавчине *Russinia secondita* у перспективной линии яровой мягкой пшеницы Лютесценс 4140 / Е.А. Коренюк // Молодежь и инновации: Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных (г. Горки, 25-27 мая, 2011 г.). В 2-х частях. Часть I. Республика Беларусь, Горки 2011. – С.180-183.

3. Мешкова Л.В. Мониторинг вирулентности бурой ржавчины пшеницы и использование его результатов в селекции устойчивых сортов Омского Прииртышья / Л.В. Мешкова, Е.А. Коренюк, Л.П. Россеева // «Экология, генетика, селекция на службе человечества». Материалы Международной научной конференции / ГНУ Ульяновский НИИСХ Россельхозакадемии (п.Тимирязевский, – 28-30 июня 2011 г.). - С.191-192.

4. Мешкова Л.В. Вирулентность возбудителя бурой ржавчины пшеницы в регионах Сибири и Южного Урала / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, А.В. Сидоров, Е.Р. Шредер, Е.А. Коренюк // Иммуногенетическая защита сельскохозяйственных культур от болезней: теория и практика. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию со дня рождения Н. И. Вавилова (Большие Вяземы Московской области 17-21 июля 2012 г.). - С. 237-241.