

На правах рукописи

Синяк Екатерина Витальевна

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ВОЗБУДИТЕЛЯ
СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЫ ПШЕНИЦЫ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ
И ГЕНОФОНД УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЯ-ХОЗЯИНА

Специальность: 06.01.07 – защита растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Саратов – 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений Российской академии сельскохозяйственных наук

Научный руководитель: Волкова Галина Владимировна
доктор биологических наук

Официальные оппоненты: Маркелова Тамара Сергеевна
доктор сельскохозяйственных наук, старший научный
сотрудник, Государственное научное учреждение
Научно-исследовательский институт сельского
хозяйства Юго-Востока Россельхозакадемии,
заведующая лабораторией иммунитета растений

Смоляная Наталья Михайловна
кандидат биологических наук,
Кубанский государственный аграрный
университет, доцент кафедры фитопатологии,
энтомологии и защиты растений

Ведущая организация: Государственное научное учреждение Всероссийский
научно-исследовательский институт зерновых культур
им. И.Г. Калининко Россельхозакадемии, г. Зерноград

Защита диссертации состоится 25 декабря 2013 г. в 15.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 220.061.05 при Федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский
государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., д. 1.

E-mail: dissovet01@sgau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский
ГАУ»

Автореферат разослан 25 ноября 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пронько Нина Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Пшеница подвержена воздействию большого комплекса фитопатогенов, среди которых стеблевая ржавчина (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f.sp. *tritici* Eriks. et Henn.) занимает особое место. По данным исследователей потери урожая в условиях сильной эпифитотии могут достигать 50-70 % и более (Степанов, 1975; Смирнова, 1984; Pretorius, 2000; Wanyera, 2006).

В XX веке отмечались серьезные эпифитотии стеблевой ржавчины во многих странах, однако к концу 1970-х годов вредоносность заболевания значительно снизилась во всем мире. Это было связано с выращиванием толерантных и устойчивых сортов пшеницы (в том числе с устойчивостью, обусловленной геном Sr31) и с уничтожением барбариса (промежуточного хозяина) в Северной Америке и Евразии (в том числе и в бывшем СССР).

В настоящее время серьезную опасность зернопроизводящим странам представляет раса стеблевой ржавчины Ug99, которая распространилась в большинстве районов выращивания пшеницы в Кении, Эфиопии, Судане, Йемене, Иране (Nazari, 2009a; 2009b). На полях, где не использовались фунгициды, потери урожая достигали 100 %.

Наибольшую опасность раса Ug99 будет представлять на юге России, в предгорьях Северного Кавказа, так как именно в этом регионе с большей вероятностью могут сложиться климатические условия, способствующие развитию эпифитотии, имеется промежуточный хозяин – барбарис и повсеместно распространены дикорастущие злаки, на которых грибок способен выживать. При благоприятных условиях возможно развитие эпифитотии со значительными потерями урожая (вплоть до 100 % на отдельных территориях). На Северном Кавказе районами постоянного развития патогена являются Георгиевский, Кировский, Предгорный в Ставропольском крае, Усть-Джегутинский в Карачаево-Черкессии, Наурский в Чеченской республике, Горный и Баксанский в Кабардино-Балкарии (Анпилогова, Волкова, 2000; Волкова, Синяк, Балапанов, 2010). Поэтому стратегически важен мониторинг распространения и развития болезни, ее вирулентности, а также устойчивости растения-хозяина, особенно в южных районах страны.

Степень разработанности темы. Проведенный анализ литературы свидетельствует о достаточной изученности распространения и вредоносности стеблевой ржавчины

(Коновалова, 1975; Boshoff, 2002), генетической структуры популяции гриба (Смирнова, 1968; Sing, 2007), генофонда устойчивости растения-хозяина (Рсалиев, 2008; Javediqbal, 2010). До 1995 года работы по изучению взаимодействия патосистемы «пшеница – возбудитель стеблевой ржавчины» велись во ВНИИ биологической защиты растений (г. Краснодар) (Кузнецова, 1975; Анпилогова, 1991, 1995). С 2006 года исследования по данной проблематике были возобновлены по причине увеличения частоты встречаемости патогена на юге России, а также появления информации о новой вредоносной расе Ug99 (Wanyera, 2006). В настоящее время происходит активная эволюция в пределах расы Ug99 и ее потомков, что несет дополнительную опасность для производителей пшеницы (Jin, 2008a; 2008b). Учитывая высокую жизнеспособность и мобильность спор, распространение этой расы на территории Юго-Восточной Азии, а затем Северной Америки, Центральной Азии – вопрос времени (CIMMYT, 2009). По прогнозам, инфекция будет продолжать распространяться, и вполне вероятно ее появление в Казахстане, Узбекистане, Турции, Украине, России. Поэтому необходимо изучение вирулентности *P. graminis*, генетического разнообразия растения-хозяина, особенно на юге России. Это и определило направление данных исследований.

Цель исследований. Изучение генетической структуры популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе и генофонда устойчивости растения-хозяина.

Задачи исследований:

- изучить распространение и развитие возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе;
- выявить генотипический и фенотипический состав популяции *P. graminis* f.sp. *tritici* в Северо-Кавказском регионе и провести его ретроспективный анализ;
- определить отбор фенотипов и генов вирулентности возбудителя стеблевой ржавчины сортами озимой пшеницы в фазу всходов;
- изучить изменчивость вирулентности популяции возбудителя стеблевой ржавчины на сортах озимой пшеницы с разными типами устойчивости;

- оценить устойчивость районированных и перспективных сортов озимой пшеницы к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины в условиях поля и камеры искусственного климата;
- отобрать источники устойчивости к северокавказской популяции возбудителя *P. graminis* среди коллекционных образцов ВИР им. Н.И. Вавилова;
- изучить эффективность известных Sr-генов к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины в фазу колошения растений.

Научная новизна. Проведено электронное картирование распространения и развития возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе (2009-2012 гг.). Выявлен генотипический и фенотипический состав популяции *P. graminis* в Северо-Кавказском регионе и дан его ретроспективный анализ. Определены типы устойчивости 66 районированных и перспективных сортов озимой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины. Выявлено 152 новых источника устойчивости к патогену среди коллекционных образцов пшеницы, её редких видов и *Ae. tauschii*. Определена эффективность 39 известных генов устойчивости пшеницы к северокавказской популяции гриба в разные фазы развития растений.

Теоретическая значимость работы. Выявлены генетические механизмы взаимоотношений в патосистеме «*T. aestivum* L. – *P. graminis* f.sp. *tritici*».

Практическая значимость работы. Сельскохозяйственному производству предложены результаты фитосанитарного мониторинга (в виде электронных карт) распространения и развития стеблевой ржавчины на Северном Кавказе для разработки прогноза развития заболевания, рационального сорторазмещения, защитных мероприятий; 18 сортов с расоспецифической и возрастной устойчивостью, 9 - с замедленным развитием болезни. Практической селекции предложены 152 устойчивых сортообразца пшеницы, её редких видов и эгилопса; три источника неспецифической устойчивости; пять носителей эффективных Sr-генов.

Методология и методы исследований. Теоретической и методологической основой диссертации являлись научные труды отечественных и зарубежных ученых. Исследования выполнены с использованием общепринятых полевых, вегетационных, лабораторных и статистических методов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- особенности распространения, развития и генетической структуры *P. graminis* на Северном Кавказе;
- типы устойчивости к возбудителю стеблевой ржавчины районированных и перспективных сортов озимой пшеницы. Новые источники устойчивости;
- Sr-гены, обеспечивающие защиту растения-хозяина к северокавказской популяции *P. graminis*.

Степень достоверности и апробация результатов. Эксперименты проведены в соответствии с общепринятыми методиками. Достоверность выводов подтверждена статистической обработкой данных.

Результаты исследований доложены на I, II и III Всероссийских научно-практических конференциях молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2006, 2007, 2008); IV, V и VI Всероссийских научных конференциях молодых ученых и студентов «Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах» (Анапа, 2007, 2008, 2009); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы иммунитета и защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей» (Одесса, 2007); V Международной конференции «Биологическая защита растений, перспективы и роль в фитосанитарном оздоровлении агроценозов и получении экологически безопасной сельхозпродукции» (Краснодар, 2008); II Всероссийской конференции «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам» (Пушкин, 2008); IX Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (Москва, 2009); V съезде Вавиловского общества генетиков и селекционеров (Москва, 2009); Technical Workshop, Borlaug Global Rust Initiative (Cd. Obregon, Mexico, 2009; New Delhi, India, 2013); 12 International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference (Turkey, Antalia, 2009); Научно-практической конференции грантодержателей РФФИ и администрации Краснодарского края (Анапа, 2009); Всероссийской научно-производственной конференции «Современные иммунологические исследования, их роль в создании новых сортов и интенсификации растениеводства» (Большие Вяземы, 2009); VIII Международной конференции по пшенице (Санкт-Петербург, 2010); Международной научной конференции «Генетика и

биотехнология на рубеже тысячелетий» (Минск, 2010); 3-й Вавиловской международной конференции «Идеи Н.И. Вавилова в современном мире» (Санкт-Петербург, 2012); 3-й Всероссийской и международной конференции «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам» (Санкт-Петербург, 2012), 7-й Международной научно-практической конференции «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических средств защиты растений» (Краснодар, 2012); Международном симпозиуме «Микроорганизмы и биосфера» (Бишкек, Кыргызстан, 2013); 15-ой Российской агропромышленной выставке «Золотая осень 2013» (Москва, 2013).

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, в том числе 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 каталог, 1 методическое указание.

Объем и структура диссертации. Материалы диссертации изложены на 188 страницах машинописного текста и включают 25 рисунков, 21 таблицу, 4 приложения. Список литературы включает 218 источников, из них 116 работ иностранных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 посвящена аналитическому обзору литературы по биологии развития, вредоносности и специализации возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы (Степанов, 1972; Read, 1997 и др.), распространению и развитию болезни, генетической структуре популяции возбудителя (Смирнова, 1984; Roelfs, 1985 и др.), устойчивости сортов пшеницы к *P. graminis* и приемам защиты культуры от патогена (Макаров, 2003 и др.). Обзор литературы позволил выявить не изученные вопросы в распространении, генетической структуре, типах устойчивости растения-хозяина к *P. graminis*, иммуногенетических приемах защиты от патогена в зоне Северного Кавказа и определить направление исследований.

В главе 2 описаны место, условия, материалы и методы проведения исследований. Эксперименты проводили с 2007 по 2012 гг. на опытных полях, в условиях теплицы и камер искусственного климата во Всероссийском НИИ биологической защиты растений Россельхозакадемии (г. Краснодар), в лаборатории иммунитета зерновых культур к грибным болезням. Опыты закладывали в полевых условиях на искусственном инфекционном фоне.

Объектами исследований являлись: стеблевая ржавчина (возбудитель *P. graminis*); 39 моногенных линий и сортов-дифференциаторов; 66 сортов озимой пшеницы селекции КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко, ВНИИЗК им. И.Г. Калининко; 615 коллекционных образцов ВНИИР им. Н. И. Вавилова.

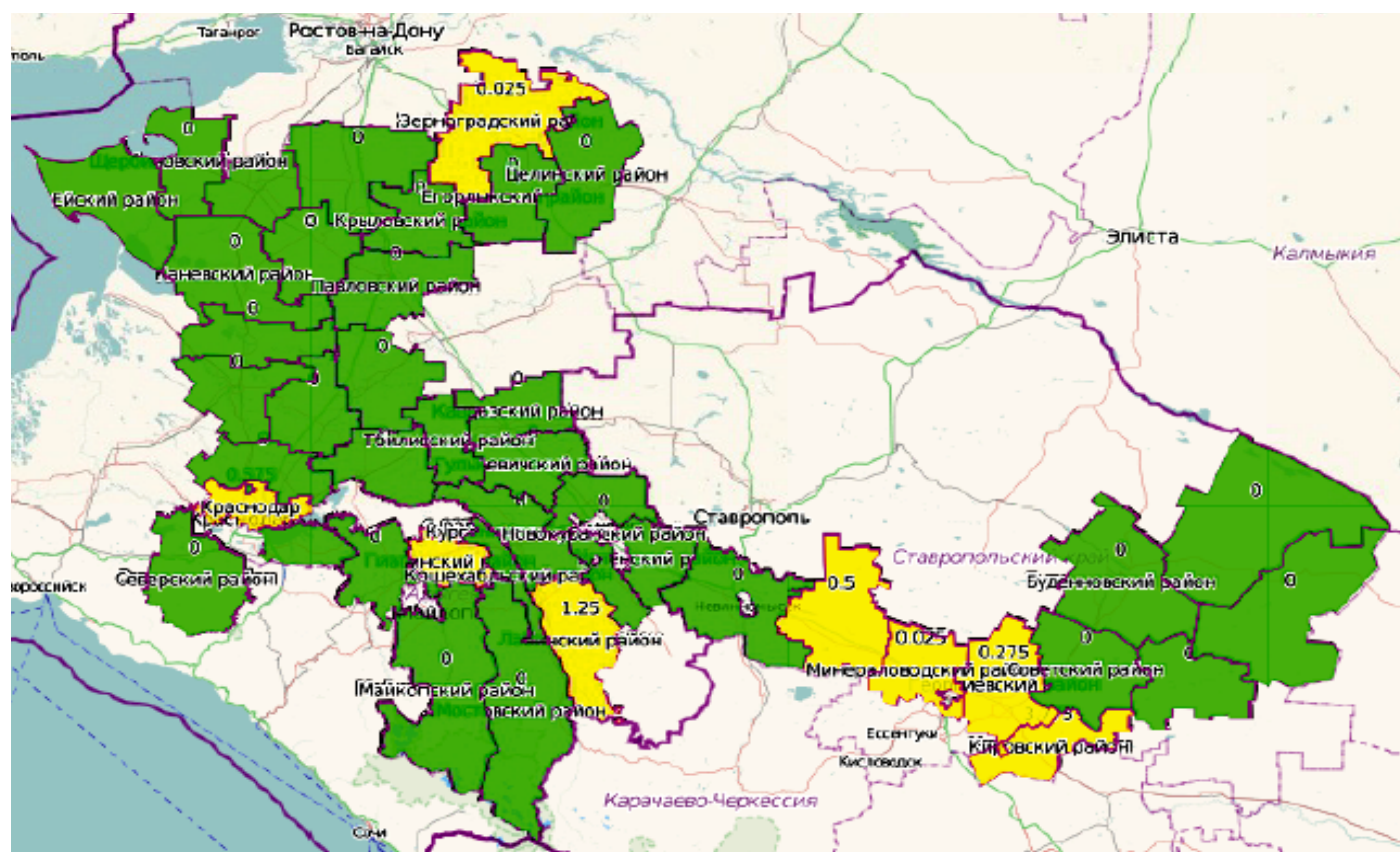
Распространение и развитие болезни определяли по рекомендациям С.С. Санина (2002). Электронное картирование фитосанитарной информации проводили с использованием информационной системы «GeoLook» (2012). Изучение структуры популяции возбудителя стеблевой ржавчины проводили в теплице в весенне-осенний период при благоприятных для развития патогена условиях – температуре 20-25 °С, интенсивности освещения 12-16 тыс. лк при фотопериоде 16 часов. Растения выращивали на гидропонике с применением питательного раствора Кнопа (Смирнова, Алексеева, 1988). Оценку реакции растений в баллах проводили по шкале Стэкмана и Левина (1956) на 39 линиях и сортах-дифференциаторах с известными Sr-генами. В качестве критериев оценки устойчивости сортов служили: тип реакции в баллах (Стекман, Левин, 1956), интенсивность поражения растений в процентах (Петерсон и др., 1948), площадь под кривой развития болезни в условных единицах, снижение массы 1000 зерен (Бабаянц и др., 1988). Оценку коллекционных образцов и линий-носителей известных генов устойчивости проводили по степени поражения листовой поверхности растения в процентах (Петерсон и др., 1948) в период максимального развития болезни в фазу молочно-восковой спелости зерна. При определении неспецифической устойчивости сортов пшеницы к патогену в условиях камеры искусственного климата растения инокулировали в башне осаждения спор (Bell et al., 1952). Основными критериями оценки являлись тип реакции, продолжительность латентного периода, доля проявившихся пустул (Макаров и др., 1998). Различия между популяциями по генам вирулентности оценивали с помощью расстояния Роджерса (Rogers, 1972). Статистическую обработку данных проводили по методу Доспехова (1988). Экономическую эффективность рассчитывали по методике Колтуновой (1998).

В главе 3 представлены результаты распространения и развития возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе.

Распространение и развитие *Puccinia graminis* в различных агроклиматических зонах Северо-Кавказского региона. В 2009, 2011 и 2012 гг. стеблевую ржавчину (с

развитием до 5 %) фиксировали в южной предгорной агроклиматической зоне Северного Кавказа, в предгорных районах Ставропольского края (Кочубеевский, Предгорный, Минераловодский, Кировский) и в центральной зоне (пригороды г. Краснодара). В 2010 г. патоген был отмечен в трех агроклиматических зонах – южной предгорной, центральной и северной, с распространением до 10 %, развитием – до 5 %, что свидетельствует о расширении его ареала. Отдельные сорта на госсортоучастках были поражены с типом реакции 3,4 балла и степенью развития свыше 10 % (Аксинит, Золушка, Крупинка и др.).

Проведено электронное картирование распространения и развития *P. graminis* в различных районах Северного Кавказа для разработки прогноза развития заболевания, рационального сорторазмещения, защитных мероприятий (рисунок 1).



■ - заболевание не зафиксировано ■ - развитие заболевания до 5 %

Рисунок 1 – Районы развития возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе (среднее за 2009-2012 гг.)

В главе 4 описана структура популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе по признаку вирулентности.

Генотипический и фенотипический состав популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы и его ретроспективный анализ. Выделено и проанализировано 350 монопустульных изолятов гриба. Установлен высокий процент вирулентных изолятов к большинству линий. Высокую эффективность все годы сохраняют гены Sr9e, Sr30 и Sr31 (7,7 % от числа изученных). С частотой до 5 % выявлены изоляты, вирулентные к генам Sr: 8a, 11, 13, 21, 24, 25, 27, 32, 33, 35, WLD (28,2 %); с частотой от 5 до 10 % - к носителям генов Sr: 20, 29, 37 (7,7 %); с частотой от 10 до 25 % - к носителям Sr: 5, 9b, 26, Dp2 (10,2 %) и свыше 25 % - к носителям Sr: 1, 6, 7a, 8b, 9a, 9d, 9f, 9g, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 36 (46,2 %).

В результате статистического анализа установлено, что различия между частотами генов вирулентности в 2008-2011 гг. были средними (индекс Роджерса для популяции в целом по региону составил от 0,32 до 0,44). Максимальные различия выявлены между 2008-2010 гг. ($R=0,43$) и 2010-2011 гг. ($R=0,44$). Помимо частой сортосмены, большое влияние могли оказать и погодные условия.

Проведен ретроспективный анализ изменения внутрипопуляционной структуры гриба за последние 18 лет (Анпилогова и др., 1995). Установлено снижение частоты изолятов с генами pp: 5, 6, 9e, 9d, 9g, 29, 30, 36; увеличение частоты – с pp: 22, 26. Но отмечено и сходство по проценту встречаемости изолятов с такими генами вирулентности как pp: 7a, 8a, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 24, 25, 27, 31, 32, 33, 35, 37.

В структуре популяции гриба за годы исследований отмечено различное число фенотипов – авирулентных, вирулентных к одной - девятнадцати линиям (сортам) – носителям известных генов устойчивости. Доминирующее положение в популяции патогена занимали изоляты, вирулентные к пяти - девяти (V_5-V_9) линиям пшеницы с известными генами Sr (46,8 %).

Таким образом, изучение генетической структуры популяции *P. graminis* на территории Северного Кавказа свидетельствует о ее высокой гетерогенности, связанной с активными процессами формообразования гриба. Доминирующее положение в популяции гриба занимают фенотипы со средним числом генов вирулентности. Практический интерес представляют гены устойчивости,

комплементарные генам вирулентности, которые не выявлены или встречаются в популяции гриба с частотой до 5 %.

Отбор фенотипов и генов вирулентности *P. graminis* на всходах сортов озимой пшеницы. В условиях теплицы изучена реакция всходов 25 перспективных сортов пшеницы на 32 различающихся по вирулентности фенотипа *P. graminis*. Сорта в зависимости от генотипа проявили восприимчивость к различному числу фенотипов: от нуля (сорта Айвина, Аврора, Афина, Дока, Верта, Иришка, Кавказ, Коллега, Лига 1, Паллада, Первица) до 30 (Агат Донской) (рисунок 2).

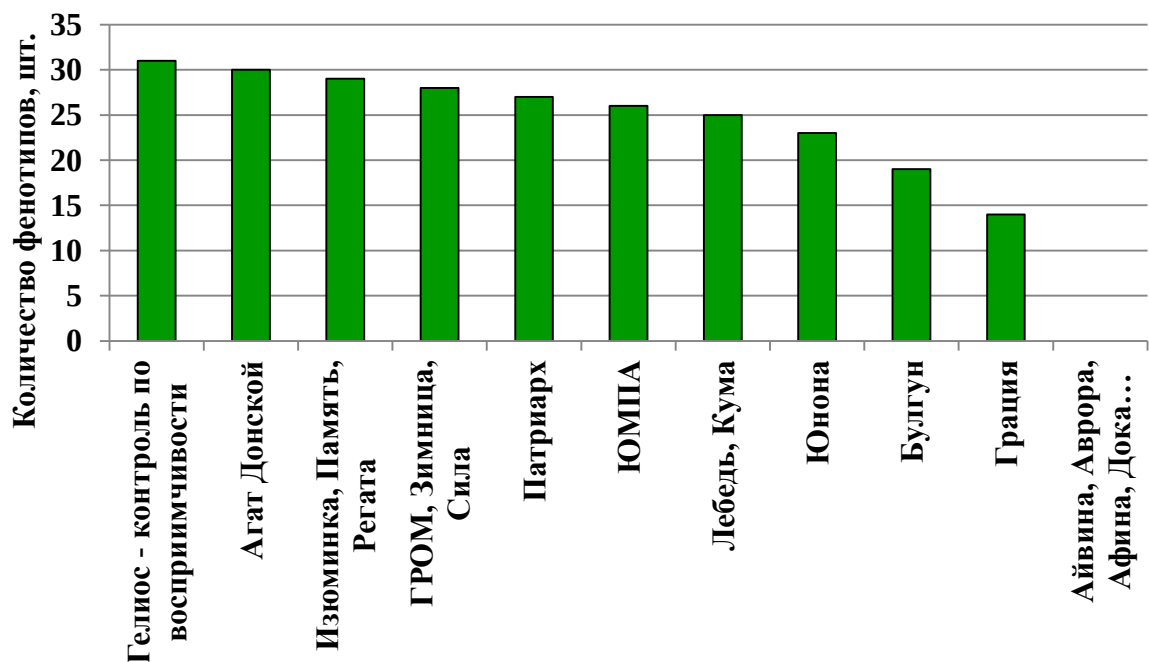


Рисунок 2 – Количество фенотипов возбудителя стеблевой ржавчины, вирулентных к сортам озимой пшеницы (фаза всходов, 2010 г.)

Изучаемые сорта проявили высокую способность отбирать и многие гены вирулентности (до 30 из 32 изученных). В зависимости от генотипа сорта отбору в большей степени подвержены гены *rr*: 1, 5, 7a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9g, 9f, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 32, 36, 37, *Dr2*; в меньшей – 6, 8a, 21, 33.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии у большинства изученных сортов различных уровней расоспецифической устойчивости.

Изменчивость вирулентности популяции возбудителя стеблевой ржавчины на сортах озимой пшеницы с разными типами устойчивости. Изучено влияние генотипов восьми сортов озимой пшеницы отечественной и зарубежной селекции на изменчивость структуры популяции *P. graminis*. Сорта, защищённые

расоспецифическим типом устойчивости к патогену – Верта, Золотко, Коллега, Первица, Brule – способствовали значительным изменениям в генофонде вирулентности популяции возбудителя стеблевой ржавчины (рисунок 3). Средняя вирулентность снижалась с 34,0 % (исходная популяция) до 4,2 % (на сорте Первица). Индекс R составил от 0,54 до 0,70.

Сорта с неспецифической устойчивостью к возбудителю стеблевой ржавчины пшеницы, напротив, поддерживали среднюю вирулентность популяции патогена на уровне исходной. Индекс R составил от 0,54 до 0,59.

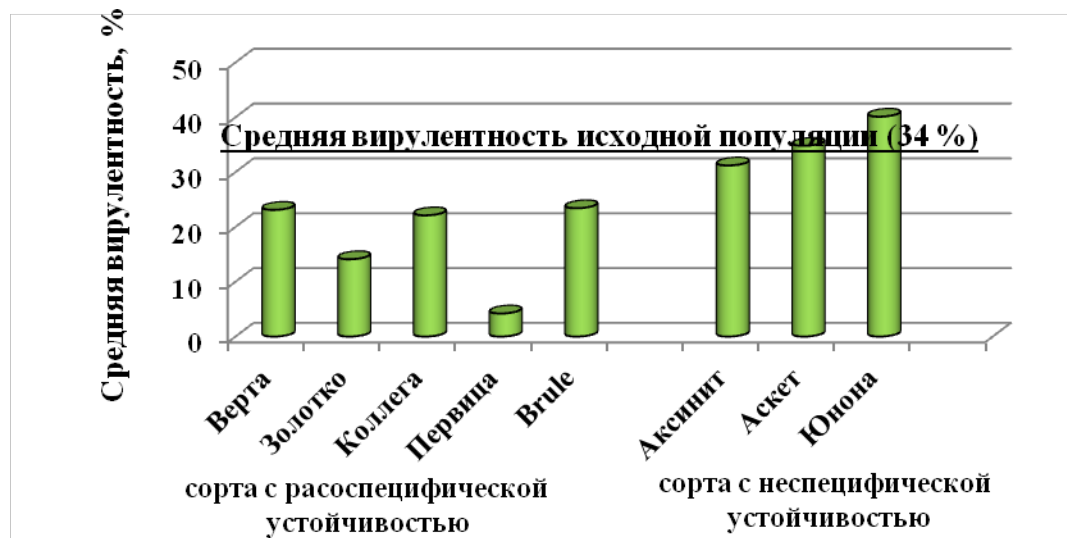


Рисунок 3 – Влияние генотипов сортов пшеницы с различными типами устойчивости на изменчивость вирулентности популяции *P.graminis* (камера искусственного климата, 2010-2011 гг.)

Таким образом, значительные изменения вирулентности популяции *P.graminis* вызывают сорта с расоспецифической устойчивостью (Верта, Золотко, Коллега, Первица, Brule).

В главе 5 представлены результаты изучения устойчивости растения-хозяина к возбудителю стеблевой ржавчины.

Устойчивость районированных и перспективных сортов озимой пшеницы к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины в фазу колошения. На искусственном инфекционном фоне проведена иммунологическая оценка 66 районированных и перспективных сортов озимой пшеницы к северокавказской популяции *P.graminis* (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты иммунологической оценки сортов озимой мягкой и твердой пшеницы на устойчивость к возбудителю стеблевой ржавчины пшеницы (ржавчинный питомник ВНИИБЗР, среднее за 2007–2012 гг.)

Группа	Сорт	Тип реакции, балл	ПКРБ, условные единицы	Снижение массы 1000 зерен, %	Тип устойчивости
1	Афина, Аксинит, Айвина, Батько, Булгун, Верта, Восторг, Виза, Золотко*, Иришка, Коллега, Краснодарская 99, Нота, Паллада, Первица, Ростислав, Терра*, Фортуна	0; 1, 1 (2)	от 0 до 125,7	от 0 до 9,9	расоспецифическая и возрастная
2	Вояж, Дея, Девиз, Зарница, Красота, Курант*, Лига 1, Сила, Юбилейная 100, Юнона	2,3 и 2(3)	от 104,2 до 497,8	от 2,9 до 12,2	замедленный тип развития болезни
3	Агат Донской, Аскет, Амазонка*, Гарант, Гелиос*, Гордеиформе 6*, Гранит, ГРОМ, Грация, Дон 105, Дон 107, Донской простор, Дельта, Дон 93, Есаул, Зерноградка 11, Зимница, Зимородок, Изюминка, Континент, Кума, Ласка*, Лебедь, Лира, Марафон, Москвич, Память, Пал-Пич, Патриарх, Победа 50, Ростовчанка 5, Регата, Спартак, Танаис, Таня, Уния*, Фишт, ЮМПА	3,4	от 384,4 до 1288,8	от 5,7 до 25,5	восприимчивость
	Сорт Stava – контроль по восприимчивости	3,4	1415,0	29,0	высокая восприимчивость
*твёрдая озимая пшеница (<i>T.durum</i>)					

Установлено, что восемнадцать сортов (27,2 %) показали расоспецифическую и возрастную устойчивость, десять сортов (15,2 %) обладали замедленным развитием болезни и тридцать восемь сортов (57,6 %) были восприимчивыми к патогену.

Неспецифическая устойчивость перспективных сортов озимой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины. В условиях камер искусственного климата проведена оценка восьми сортов озимой пшеницы на наличие неспецифической устойчивости по следующим показателям: латентный период, доля проявившихся пустул, тип реакции с последующим расчётом индекса устойчивости (таблица 2).

Для сортов Верта, Золотко (*T. durum*), Коллега, Первица, Brule индекс устойчивости (ϕ) составил от 0,03 до 0,09, что свидетельствует о наличии у них расоспецифического типа устойчивости к *P. graminis*. Сорта Аскет, Аксинит, Юнона обладают неспецифической устойчивостью - $\phi = 0,10; 0,32; 0,50$ соответственно.

Таблица 2 – Патогенные характеристики северокавказской популяции *P.graminis* на сортах озимой пшеницы в фазу выхода растений в трубку (камера искусственного климата, 2009-2010 гг.)

Сорт	ЛП (латентный период), сут	ДПП (доля проявившихся пустул), %	ТР (тип реакции), балл	Индекс устойчивости, ф*
Юнона	11	1,89	2,3	0,50
Аксинит	11	1,80	2,3	0,32
Аскет	11	1,94	2,3	0,10
Коллега	10	1,07	1(2)	0,05
Верта	10	1,66	1(2)	0,09
Золотко (<i>T.durum</i>)	10	1,39	1(2)	0,09
Brule	10	1,35	1,2	0,03
Первица	10	0,90	1(2)	0,09
Stava – контроль по восприимчивости	9	3,87	3,4	1,0
*относительно контроля по восприимчивости (сорт Stava) с индексом, принятым за 1,0				

Результаты оценки сортов пшеницы в условиях камеры искусственного климата оказались идентичными полевым данным.

Источники устойчивости к популяции возбудителя *P. graminis* среди коллекционных образцов пшеницы, её редких видов и эгилопса тауши. Изучено на устойчивость к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины 615 сортообразцов из коллекции ВНИИР им. Н.И. Вавилова (таблица 3). В результате трех лет испытаний сформирована коллекция из 152 устойчивых образцов пшеницы и ее редких видов, из них 28 образцов озимой мягкой пшеницы и 11 – яровой мягкой пшеницы, 101 образец редких видов пшеницы, 12 – *Ae. tauschii*. Максимальная частота устойчивых образцов обнаружена в группе диплоидов секции *Monococcum* и тетраплоидов *T. araraticum* – до 100 %. В группе тетраплоидов секции *Timopheevii* и *Dicoccoides* данный показатель колебался от 16 до 67 %. В группе гексаплоидных видов секции *Triticum* – от 6 до 25 %. В пределах одной группы встречаются виды пшеницы с различной частотой образцов, устойчивых к патогену, что свидетельствует об отсутствии влияния плоидности на проявление чувствительности или устойчивости растения к возбудителю болезни. Устойчивость образцов к патогену связана, в первую очередь, с их географическим происхождением. Среди диких видов высокую устойчивость к северокавказской популяции *P. graminis* показали коллекционные

образцы из Армении, Грузии, Ирана, Ирака, Сирии, Турции – стран закавказского генцентра происхождения пшеницы.

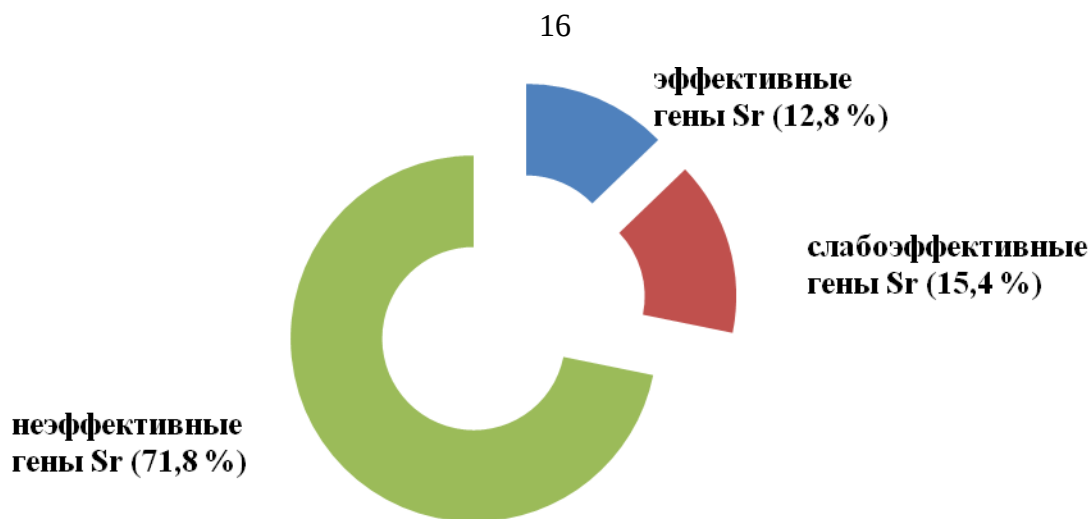
Таблица 3 – Характеристика видов пшеницы и эгилопса тауши по устойчивости к возбудителю стеблевой ржавчины (искусственный фон, 2007-2012 гг.)

Испытываемые образцы	Уровень пloidности	Количество образцов, шт.	
		высеянных	устойчивых
T. aestivum L. (2n=42)			
озимая	Гексаплоид	195	28
яровая	Гексаплоид	44	11
Редкие виды:			
T.dicoccum (Schrank) Sch. (2n=28)	Тетраплоид	112	18
T. timopheevii Zhuk. (2n=28)	Тетраплоид	39	26
T. spelta L. (2n=42)	Гексаплоид	32	2
T. urartu Thum ex Gan. (2n=14)	Диплоид	33	9
T. persicum (Boiss.) Aitch. & Hemsley (2n=28)	Тетраплоид	6	4
T.araraticum Jakubz. (2n=28)	Тетраплоид	26	26
T. macha Decapr. et Menabde. (2n=42)	Гексаплоид	13	1
T.monococcum L. (2n=14)	Диплоид	10	10
T. sphaerococcum Percival. (2n=42)	Гексаплоид	52	5
Ae. tauschii Coss. (2n=14)	Диплоид	53	12
Всего:		615	152

Выявленные источники устойчивости представляют практический интерес для селекции как генетически разнородный исходный материал к возбудителю стеблевой ржавчины.

Эффективность генов устойчивости (Sr) к возбудителю стеблевой ржавчины во взрослом состоянии растений. Проведена оценка 39 линий и сортов-дифференциаторов к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы (рисунок 4).

Полученные данные свидетельствуют, что на юге России подавляющее большинство известных генов устойчивости не эффективны против возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы. Если сравнить современные результаты с данными за 1995 год (Анпилогова и др., 1995), то гены устойчивости Sr: 5, 9e, 31 и 35 не потеряли своей эффективности, а гены Sr: 11, 21, 24, 25, 26, 27, 32 и 33 уже не способны, как ранее, обеспечивать защиту растения-хозяина от *P. graminis*.



- эффективные гены (тип реакции на заражение 1, 1(2) балла, степень поражения 1-15 %) Sr: 5, 9a, 9e, 31, 35;
- слабоэффективные гены (типы 2, 2(3), 3 балла, степень поражения 15-30 %) Sr: 11, 12, 13, 27, 33, 37;
- неэффективные гены (типы 2, 3 балла, степень поражения выше 30 %; типы 3, 4 балла, степень поражения выше 5 %) Sr: 1, 6, 7a, 8a, 8b, 9b, 9d, 9g, 9f, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 32, 36, Dp2, WLD

Рисунок 4 – Эффективность известных генов устойчивости (Sr) к возбудителю стеблевой ржавчины пшеницы (2007-2012 гг.)

Таким образом, для селекции пшеницы на устойчивость к возбудителю стеблевой ржавчины пшеницы на юге России рекомендуются носители генов Sr5, Sr9a, Sr9e, Sr31 и Sr35. Гены Sr9e и Sr31 способны противостоять болезни на протяжении всего периода вегетации растений.

В главе 6 рассмотрена экономическая эффективность применения сортов озимой пшеницы с различными типами устойчивости против *P. graminis*.

Чистый доход на сорте с замедленным типом развития болезни (Девиз) составил 28 285 руб., а на сорте с возрастной устойчивостью (Виза) – 24 085 руб. (таблица 4). Уровень рентабельности, показывающий правильность, целесообразность производства с хозяйственной точки зрения, в варианте с сортом Девиз был равен 297,2 %, с сортом Виза – 253,1 %.

Использование сортов пшеницы с замедленным развитием стеблевой ржавчины и устойчивых эффективно для фитосанитарной стабилизации ценоза культуры, что было подтверждено расчётом биологической, хозяйственной, экономической эффективности с максимальными показателями для сортов типа «slow rusting».

Таблица 4 - Экономическая эффективность применения сортов озимой пшеницы с различными типами устойчивости против *P. graminis* (инфекционный участок ВНИИБЗР, среднее за 2010-2012 гг.)

Показатели	Сорта озимой пшеницы с различным типом устойчивости к <i>P. graminis</i>		
	возрастная устойчивость (Виза)	замедленное развитие болезни (Девиз)	восприимчивость (Зимородок)
Урожайность, т/га	4,8	5,4	3,6
Прибавка урожая, т/га	1,2	1,8	-
Прямые затраты на производство зерна, руб./га	9515	9515	9515
Себестоимость 1 т зерна, руб.	1982	1762	2643
Цена реализации 1 т продукции (зерна), руб.	7000	7000	7000
Стоимость основной продукции (зерна) с 1 га, руб.	33600	37800	25200
Условный чистый доход с 1 га, руб.	24085	28285	15685
Уровень рентабельности, %	253,1	297,2	164,8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён фитосанитарный мониторинг с построением электронных карт распространения и развития возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе (2009-2012 гг.). Патоген ежегодно фиксировали в предгорных районах Ставропольского края (Кочубеевском, Предгорном, Минераловодском, Кировском), а в годы, благоприятные для его развития, и в других агроклиматических зонах Северного Кавказа, с распространением до 10 % и развитием до 5 %.

Изучена генетическая структура северокавказской популяции *P. graminis*, характеризующаяся высокой гетерогенностью. Не выявлены гены вирулентности *pp*: 9e, 30, 31; с частотой до 5 % отмечены *pp*-гены: 8a, 11, 13, 21, 24, 25, 27, 32, 33, 35, WLD; до 10 % - *pp*-гены: 20, 29, 37; до 25 % - *pp*-гены: 5, 9b, 26, Dp2; свыше 25 % - *pp*-гены: 1, 6, 7a, 8b, 9a, 9d, 9f, 9g, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 36.

В структуре популяции гриба отмечено различное число фенотипов, вирулентных к одной - девятнадцати линиям (сортам) - носителям известных генов устойчивости. Доминирующее положение в популяции патогена занимали изоляты, вирулентные к пяти - девяти (*V*₅-*V*₉) линиям пшеницы с известными генами *Sr* (46,8 %).

Изучена реакция 25 перспективных сортов озимой пшеницы в фазу всходов на заражение 32 фенотипами возбудителя стеблевой ржавчины, различающихся по вирулентности. Сорта проявили восприимчивость к различному числу фенотипов: от 0

(сорта Айвина, Афина и др.) до 30 (сорт Агат Донской). В большей степени положительному отбору были подвержены гены *rr*: 1, 5, 7a, 8b, 9a, 9d, 9g, 9f, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 32, 36, 37; в меньшей – *rr*: 6, 8a, 21, 33.

Установлено влияние восьми перспективных сортов пшеницы на изменчивость генетической структуры популяции возбудителя стеблевой ржавчины. Значительные изменения вызывали сорта с расоспецифической устойчивостью к патогену (Верта, Золотко, Коллега, Первица, Brule), при этом средняя вирулентность снижалась в 1,5 – 8 раз (индекс R - от 0,54 до 0,70). Сорта с неспецифической устойчивостью к патогену (Аксинит, Аскет, Юнона) поддерживали вирулентность популяции на уровне средних значений (34 %) (индекс R - от 0,54 до 0,59).

Изучены иммунологические особенности относительно северокавказской популяции *P. graminis* 66 районированных и перспективных сортов озимой пшеницы в фазу молочно-восковой спелости зерна на фоне искусственного заражения. Восемнадцать сортов (27,2 %) показали расоспецифическую и возрастную устойчивость, десять сортов (15,2 %) обладали замедленным типом развития болезни и тридцать восемь сортов (57,6 %) были восприимчивыми к патогену. Использование сортов пшеницы с замедленным развитием стеблевой ржавчины и устойчивых сортов эффективно для фитосанитарной стабилизации ценоза культуры, что было подтверждено расчётом биологической, хозяйственной, экономической эффективности.

В условиях камер искусственного климата определены типы устойчивости к *P. graminis* у восьми перспективных сортов пшеницы. Установлено, что сорта Верта, Золотко, Коллега, Первица, Brule обладают расоспецифической устойчивостью к патогену; сорта Аксинит, Аскет, Юнона – неспецифической.

Выявлено 152 сортообразца, устойчивых к северокавказской популяции патогена. Они представляют практическую ценность для селекции как генетически разнородные источники устойчивости к данному заболеванию.

Изучена экспрессивность 39 генов устойчивости растения-хозяина к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы. Установлено, что подавляющее большинство генов неэффективны против северокавказской популяции *P. graminis* и только пять генов *Sr*: 5, 9a, 9e, 31, 35 проявляют устойчивость к патогену во взрослом состоянии растений.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ И СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ

Производственной практике предложены:

- электронные карты распространения и развития возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в различных агроклиматических зонах Северного Кавказа для разработки прогноза развития заболевания, рационального сорторазмещения, защитных мероприятий;
- в зонах постоянного развития *P. graminis* (предгорные районы Ставропольского края) – 18 сортов пшеницы, обладающих расоспецифической и возрастной устойчивостью, с учётом их постоянной ротации во времени и пространстве (Афина, Аксинит и др.); 10 сортов с замедленным развитием болезни (Вояж, Дея и др.).

Селекционной практике юга России предложены 152 новых источника устойчивости; 18 сортов – источников расоспецифической и возрастной устойчивости к *P. graminis* (Афина, Аксинит и др.), 10 сортов – источников замедленного развития болезни (Вояж, Дея и др.); пять высокоэффективных генов устойчивости к патогену.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендуемых ВАК РФ

1. Синяк, Е.В. Источники устойчивости пшеницы и эгилопса к стеблевой ржавчине (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et. Henn.) / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова, О.П. Митрофанова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2011. № 67 (03). <http://ej.kubagro.ru/2011/03/pdf/23.pdf> (авт. вклад 70 %).
2. Синяк, Е.В. Стеблевая ржавчина - опасное заболевание пшеницы / Г.В. Волкова, Е.В. Синяк // Защита и карантин растений. 2011. № 11. С. 14 (авт. вклад 70 %).
3. Синяк, Е.В. Эффективность прозаро против ржавчинных болезней пшеницы / Г.В. Волкова, Ю.В. Шумилов, Е.В. Синяк // Защита и карантин растений. 2012. № 7. С. 20 (авт. вклад 30 %).
4. Синяк, Е.В. Характеристика популяции *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* по вирулентности в Северо-Кавказском регионе России / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова, В.Д. Надыкта // Доклады РАСХН. 2013. № 6. С. 27-30 (авт. вклад 70 %).

5. Синяк, Е.В. Стеблевая ржавчина (возбудитель *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* Erikss. et Henn.) – опасное заболевание пшеницы на Северном Кавказе / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова // Материалы 8-й региональной научно-практической конф. молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». Краснодар. 2006. С. 127 – 129 (авт. вклад 70 %).

6. Синяк, Е.В. Устойчивость сортов озимой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины на Северном Кавказе / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова // Материалы 1-й Всероссийской научно-практической конф. молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». Краснодар. 2007. С. 106-107 (авт. вклад 70 %).

7. Синяк, Е.В. Структура популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы по признаку вирулентности в 2006 г. на Северном Кавказе / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова // Тезисы докладов международной научно-практической конф. «Актуальные проблемы иммунитета и защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей». Одесса. 2007. С. 14 (авт. вклад 70 %).

8. Синяк, Е.В. Методы защиты пшеницы против возбудителя стеблевой ржавчины / Е.В. Синяк // Труды 4-й всероссийской научной конф. молодых ученых и студентов «Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах». Анапа. 2007. С. 97 – 98 (авт. вклад 70 %).

9. Синяк, Е.В. Реакция сортов пшеницы на заражение северокавказской популяцией возбудителя стеблевой ржавчины в разные фазы развития растения-хозяина / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова // Труды V Международной НПК. Краснодар. 2008. С. 599-601 (авт. вклад 70 %).

10. Синяк, Е.В. Вирулентность северокавказской популяции *P. graminis* и эффективность генов устойчивости / Е.В. Синяк, Г.В. Волкова // Сборник материалов II Всероссийской конф. «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам». Санкт-Петербург. 2008. С. 50-52 (авт. вклад 70 %).

11. Синяк, Е.В. Распространение, вредоносность и меры борьбы с возбудителем стеблевой ржавчины пшеницы / Е.В. Синяк // Труды V Всероссийской научной конф. молодых ученых и студентов. Анапа. 2008. С. 91-92 (авт. вклад 100 %).

12. Population structure of pathogens causing epiphytotics in Southern Russia / G. Volkova, V. Nadykta, E. Sinyak [et al.] // 2009 Technical Workshop, Borlaug Global Rust Initiative. Sonora, Mexico. 2009. P. 6 (авт. вклад 60 %).

13. Сияняк, Е.В. Генетическая структура популяции возбудителя стеблевой ржавчины на Северном Кавказе в 2008 году / Е.В. Сияняк, Г.В. Волкова // Материалы V съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Москва. 2009. С. 217 (авт. вклад 70 %).

14. Сияняк, Е.В. Изучение отбора фенотипов и генов вирулентности возбудителя стеблевой ржавчины на сортах озимой пшеницы / Е.В. Сияняк // Труды VI Всероссийской научной конф. молодых учёных и студентов. Анапа. 2009. С. 70-71 (авт. вклад 100 %).

15. Sinyak, E. Distribution of the stem rust pathogen (*Puccinia graminis*) and effectiveness of wheat resistance genes in North Caucasus / G. Volkova, E. Sinyak // 12 International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference. Antalya-Turkey. 2009. P. 91 (авт. вклад 70 %).

16. Изучение закономерностей изменчивости популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы и генетического разнообразия растения-хозяина для обоснования приёмов управления внутрипопуляционными процессами патогена на юге России / Г.В. Волкова, Е.В. Сияняк, Л.К. Анпилогова [и др.] // Материалы Научно-практической конф. грантодержателей РФФИ и администрации Краснодарского края. Анапа. 2009. С. 30-31 (авт. вклад 60 %).

17. Сияняк, Е.В. Изучение закономерностей изменчивости популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы и генетического разнообразия растения-хозяина / Е.В. Сияняк, Г.В. Волкова // Материалы Всероссийской научно-производственной конф. «Современные иммунологические исследования, их роль в создании новых сортов и интенсификации растениеводства». Большие Вязёмы, Московская область. 2009. С. 147-152 (авт. вклад 70 %).

18. Wheat Genetic Resources Assessment and Application in the selection for Disease Resistance and in Crop Production / G. Volkova, L. Anpilogova, E. Sinyak [et al.] //

Abstracts of 8th International wheat Conference (IWC). St. Petersburg. 2010. P. 136-137 (авт. вклад 30 %).

19. Синяк, Е.В. Стеблевая ржавчина пшеницы на Северном Кавказе: распространенность, внутрипопуляционная структура и изменчивость по вирулентности / Г.В. Волкова, Е.В. Синяк, И.М. Балапанов // Наука Кубани. Краснодар. 2010. № 2. С. 38 – 41 (авт. вклад 70 %).

20. Синяк, Е.В. Эффективные гены устойчивости пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины пшеницы на юге России / Г.В. Волкова, Е.В. Синяк // Наука Кубани. Краснодар. 2011. № 2. С. 34 – 36 (авт. вклад 70 %).

21. Генетическая структура и изменчивость популяций возбудителей ржавчины пшеницы на Северном Кавказе / Г.В. Волкова, Л.К. Анпилогова, Е.В. Синяк [и др.] // Материалы Международной научной конф. «Генетика и биотехнология на рубеже тысячелетий». Минск, 2010. С. 116 (авт. вклад 30 %).

22. Эффективные гены устойчивости взрослых растений пшеницы к бурой, жёлтой, стеблевой ржавчине и их использование в селекции на юге России / Г.В. Волкова, О.Ф. Ваганова, Е.В. Синяк [и др.] // Материалы 7-ой Международной научно-практической конф. «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических средств защиты растений». Краснодар. 2012. С. 320-322 (авт. вклад 30 %).

23. Генетическая структура возбудителей жёлтой, бурой, стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе / Г.В. Волкова, Ю.В. Шумилов, Е.В. Синяк [и др.] // Материалы 3-й Всероссийской и международной конф. «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам». Санкт-Петербург. 2012. С. 127-129 (авт. вклад 30 %).

24. Скрининг коллекции генетических ресурсов пшеницы ВИР на устойчивость к возбудителям ржавчинных болезней / Г.В. Волкова, О.Ф. Ваганова, Е.В. Синяк [и др.] // Материалы 3-й Вавиловской международной конф. «Идеи Н.И. Вавилова в современном мире». Санкт-Петербург. 2012. С. 84 (авт. вклад 30 %).

25. Каталог источников устойчивости мировой коллекции ВИР к возбудителям бурой, желтой, стеблевой видов ржавчины, пиренофороза и септориоза для технологии

разработки сортимента сортов и гибридов пшеницы с групповой устойчивостью к вредным организмам, а также сортов озимой пшеницы, обладающих пониженным (на 30-50%) уровнем накопления тяжелых металлов, для использования на загрязненных территориях / Г.В. Волкова, Л.К. Анпилогова, Е.В. Синяк [и др.] // Каталог мировой коллекции ВИР. Санкт-Петербург. 2012. Вып. 807. 32 с. (авт. вклад 15 %).

26. Вирулентность ржавчины пшеницы на юге России / Г.В. Волкова, О.Ф. Ваганова, Е.В. Синяк [и др.] // Материалы международного симпозиума «Микроорганизмы и биосфера». Бишкек, Кыргызстан. 2013. С. 103-104 (авт. вклад 30 %).

27. Wheat rust virulence in southern Russia / G. Volkova, V. Nadykta, E. Sinyak [et al.] // The Borlaug Global Rust Initiative 2013 Technical Workshop. New Delhi, India. 2013. P. 95. (авт. вклад 30 %).

28. Методические указания по изучению устойчивости сортов пшеницы к комплексу патогенов / Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Синяк Е.В. [и др.]. Краснодар. 2013. 43 с. (авт. вклад 20 %).