

На правах рукописи



АМУНОВА
Оксана Сергеевна

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ
МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ ЭДАФИЧЕСКИМ
ФАКТОРАМ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РЕГИОНА

Специальность 06.05.01. – Селекция и семеноводство сельскохозяйственных
растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург
2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»

Научный руководитель: доктор биологических наук
Лисицын Евгений Михайлович,
заведующий отделом эдафической устойчивости растений ФГБНУ "НИИСХ Северо-Востока"

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук,
член-корреспондент РАН
Шевченко Сергей Николаевич,
директор ФГБНУ "Самарский НИИСХ"

кандидат сельскохозяйственных наук
Зуев Евгений Валерьевич,
ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов пшеницы ФГБНУ "Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова" (ВИР)

Ведущая организация ФГБОУ ВО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия"

Защита состоится "11" октября 2017г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 006.041.02 при ФГБНУ "Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова" (ВИР) по адресу: Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ "Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова" (ВИР) www.vir.nw.ru в разделе "Диссертации".

Автореферат разослан "___" _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



д.б.н. Е.В. Рогозина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время остро стоит проблема обеспечения регионов России зерном пшеницы за счет местных ресурсов, поэтому для производства определяющими стали не только максимальные возможности сорта, но и экологическая устойчивость новых сортов, включающая устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам (Давыдова, 2011). Поскольку каждый регион характеризуется определенным комплексом природных условий, селекционные программы должны быть ориентированы на максимальное использование благоприятных факторов внешней среды и устойчивости к тем экологическим стрессорам, которые в наибольшей степени ограничивают величину и качество урожая в данной почвенно-климатической зоне (Жученко, 2008). В условиях Волго-Вятского региона основными абиотическими стрессорами считаются повышенная кислотность почвы в сочетании с присутствием подвижных ионов трехвалентного алюминия (Баталова, 2013) и ранневесенняя засуха, негативное влияние которой сказывается, в первую очередь, на развитии корневой системы, вызывая задержку и аномалии роста, а иногда и гибель растений (Давыдова, 2011). Алюминий препятствует активному поглощению фосфора, конкурирует с кальцием, ингибирует деление и удлинение клеток поглощающих органов. При этом уменьшается размер корневой системы, снижается ее способность поглощать влагу и питательные вещества. Недостаток питательных веществ прямо и косвенно влияет на фотосинтез (Баталова, 2013).

Одним из путей решения проблемы использования кислых почв является эдафическая селекция. Критическим параметром успешного создания устойчивых к стрессовым факторам сортов является изначальное генетическое разнообразие исходного материала по изучаемому показателю (Лисицын, Амунова, 2014). Несмотря на то, что отбор на устойчивость к любому фактору, приводит, как правило, к снижению потенциальной урожайности в нестрессовых условиях, создание сортов с сочетанием данных признаков возможно (Баталова, 2013). Вероятность успеха в создании нового сорта отбором из обширных гибридных популяций определяется удачным подбором реципиента и донора желательного признака (Лисицын, Амунова, 2014).

Цель и задачи исследований. Целью настоящей работы было обоснование применения физиологических показателей и индексов развития растений в селекции мягкой яровой пшеницы на устойчивость к эдафическому стрессу.

В связи с этим в задачи исследований входило:

1. Изучить сорта и линии мягкой яровой пшеницы различного эколого-географического происхождения из числа новых поступлений в мировую коллекцию ВИР по устойчивости проростков к воздействию ионов алюминия и водного дефицита.
2. Оценить влияние ионов трехвалентного алюминия и водного дефицита на развитие элементов продуктивности растений мягкой яровой пшеницы.
3. Провести анализ влияния ионов алюминия на работу генетических систем адаптивности, пластичности и микрораспределения продуктов фотосинтеза в колосе пшеницы.

4. Сравнить структурную организацию фотосинтетического аппарата контрастных по уровню потенциальной алюмоустойчивости сортов пшеницы в нормальных условиях произрастания и под действием эдафического стресса.
5. Исследовать взаимосвязь развития фотосинтетического аппарата мягкой яровой пшеницы с устойчивостью к действию эдафического стресса в зоне корней.

Научная новизна работы. Впервые на примере мягкой яровой пшеницы показано, что лабораторная экспресс-оценка алюмоустойчивости по характеру развития первичной корневой системы значимо коррелирует с уровнем развития элементов продуктивности колоса при выращивании в полевых условиях мягкого алюмокислого стресса (рН 4,3, содержание подвижного алюминия до 35 мг/кг почвы).

Впервые показано, что генотипы мягкой яровой пшеницы значительно различаются между собой по характеру реакции на эдафический стресс корневых систем и фотосинтетического аппарата листьев.

Практическая значимость и реализация результатов исследований. Модифицирована экспрессная лабораторная методика оценки уровня устойчивости проростков пшеницы к действию ионов алюминия и водному дефициту, позволяющая более обосновано подбирать пары для скрещивания с целью повышения степени эдафической устойчивости растений. В результате комплексной (лабораторной и полевой) оценки уровня алюмо- и засухоустойчивости сортов и линий рабочей коллекции мягкой яровой пшеницы выделены генотипы, сочетающие устойчивость на ранних этапах развития с устойчивостью работы фотосинтетического аппарата листьев в условиях стресса. Выявленные генотипы в настоящее время используются в селекционной работе по выведению алюмо- и засухоустойчивых сортообразцов.

Методология и методы исследования. Теория и методология исследований основана на анализе научных трудов отечественных и зарубежных исследователей по изучаемой проблеме. В работе применялись аналитический, экспериментальный (лабораторные опыты и полевые исследования), статистический (математический анализ полученных результатов исследований) методы исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. При низком уровне эдафического стресса (рН 4,3; содержание подвижного алюминия 35 мг/кг почвы) степень устойчивости первичной корневой системы мягкой яровой пшеницы тесно коррелирует с развитием элементов продуктивности колоса;
2. Содержание фотосинтетических пигментов во флаговом листе мягкой яровой пшеницы коррелирует с развитием элементов продуктивности;
3. Среди сортов и линий мягкой яровой пшеницы наблюдается значительная генетическая гетерогенность по сочетанию уровня устойчивости к абиотическому стрессу корневых систем и фотосинтетического аппарата листьев.

Апробация работы и публикации результатов исследований. Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на расширенных заседаниях научно-методической комиссии по селекции и семеноводству ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» (2013...2016 гг.); на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы селекции и возделывания полевых культур» (Киров, ВГСХА, 2013); на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Методы и технологии в селекции растений» (Киров, НИИСХ Северо-Востока им. Рудницкого, 2014...2016 гг.); на Международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых «Знания молодых: наука, практика и инновации» (Киров, ВГСХА, 2014...2015 гг.); на VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностики живых систем» (Киров, ВятГГУ, 2015).

По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе 3 – в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и 1 – в журнале, входящем в библиографическую и реферативную базу данных SCOPUS.

Личный вклад автора заключается в проведении лабораторных и полевых опытов, статистической обработке, обобщении и интерпретации экспериментальных данных, формировании научных положений и выводов, написании научных публикаций и текста диссертации.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 157 страницах машинописного текста. Состоит из введения, 6 глав, заключения и практических рекомендаций. Содержит 27 таблиц, 17 рисунков и 8 приложений. Библиографический список включает 201 источник, в том числе 64 – на иностранных языках.

Выражаю глубокую признательность научному руководителю доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» Е.М. Лисицыну за ценные консультации и помощь в выполнении работы. Выражаю благодарность кандидату сельскохозяйственных наук Л.А. Коряковцевой, кандидату биологических наук Л.В. Волковой, коллективам отдела эдафической устойчивости растений, лаборатории селекции мягкой яровой пшеницы ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», лаборатории селекции и семеноводства овса Фаленской селекционной станции, оказавшим техническую помощь в выполнении программы исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В обзоре литературы показано состояние изученности проблемы устойчивости растений к алюмокислым почвам и водному дефициту в зоне корней. Обсуждены некоторые аспекты физиологии алюмо- и засухоустойчивости растений. Проанализированы достижения селекции на устойчивость к данным эдафическим факторам, сформулированы нерешенные проблемы и поставлены задачи исследования.

МАТЕРИАЛ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материал и методы исследований. Исходный материал был представлен 113 образцами мягкой яровой пшеницы различного эколого-географического происхождения из числа новых поступлений в мировую коллекцию ВИР. В лабораторных условиях дана оценка их уровню потенциальной алюмо- и засухоустойчивости с помощью методики лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур (Лисицын, 2003) и метода оценки засухоустойчивости полевых культур (Кожушко, 1988). Повторность опытов трехкратная. Параллельно оценивался интегральный параметр реакции растений на стрессовое воздействие – соотношение сухой массы корней и ростков (индекс RSR) (Agren, Franklin, 2003).

В 2014...2015 гг. на полях НИИСХ Северо-Востока и Фаленской селекционной станции проводили полевое изучение 19 контрастных по уровню алюмо- и засухоустойчивости сортов пшеницы. Стандарт – сорт Свеча (селекции НИИСХ Северо-Востока), отличающийся устойчивостью к факторам среды произрастания, внесенный с 2006 г. в Государственный Реестр селекционных достижений по 1 и 4 регионам (Государственный Реестр ..., 2016).

Почвы опытных участков отличались по кислотности и содержанию подвижных ионов алюминия (таблица 1).

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвенных участков НИИСХ Северо-Востока и Фаленской селекционной станции

pH _{KCl}	Нг, мг-экв / 100 г почвы	Al, мг/кг почвы	Обменная кислотность, мг-экв/100 г почвы	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, %
				(по Кирсанову), мг/кг		
Нейтральный участок, п. Фаленки (фон 1)						
6,33±0,08	2,89±0,54	0,18±0,03	0,025±0,003	179±23	176±24	2,05±0,08
Кислый участок, п. Фаленки (фон 2)						
3,81±0,02	2,87±0,54	211,00±4,00	2,520±0,060	172±5	159±3	2,02±0,09
Кислый участок, г. Киров (фон 3)						
4,30±0,03	1,47±0,28	5,40±0,12	1,420±0,032	166±11	175±13	2,02±0,06
Кислый участок, г. Киров (фон 4)						
4,30±0,06	5,20±0,62	34,20±1,08	0,190±0,010	324±24	211±18	2,46±0,09

Агротехника – общепринятая для зоны. Посев проводили по чистому пару в оптимальные сроки с нормой высева 3 млн. всхожих семян/га. Опыты заложены в трех повторностях.

Фенологические наблюдения, оценку и учет урожая проводили в соответствии с "Методическими указаниями..." (1999). Для оценки элементов структуры продуктивности отбирали по 10 растений каждого сорта с 3-х повторностей.

Изучали динамику накопления в листьях пигментов в фазы кушения, выхода в трубку, цветения. Оценка состояния фотосинтетического аппарата осуществляли после проведения фотометрического анализа вытяжек листьев на спектрофотометре UVmini-1240 производства SHIMADZU Corporation (Japan)

при длинах волн 470, 644,8, 661,6 нм. Выделение пигментов и расчет их содержания проводили по методике Н.К. Lichtenthaler, С. Bushmann (2001). В качестве экстрагента применяли 100% ацетон.

Анализ работы генетических систем адаптивности, аттракции и микро-распределения продуктов фотосинтеза в колосе пшеницы в стрессовых и нормальных условиях проводили согласно методике В.А. Драгавцева (1997).

Данные обрабатывали статистически с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007 и StatSoft Statistica 10 методами корреляционного, регрессионного, дисперсионного и кластерного анализов.

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались. Ранние этапы вегетационного периода 2014, 2015 гг. проходили при повышенной (по сравнению с многолетними данными) температуре воздуха. Однако в эти годы отмечено снижение среднемесячных температур июля (а в 2015 г. и августа) относительно климатической нормы. В мае 2014, 2015 гг. отмечалась сильная засуха (ГТК = 0,35 и 0,78 соответственно). Жаркая погода второй половины мая 2014 г. и недостаток влаги губительно отразились на развитии растений, наблюдалось их отмирание. Избыточное увлажнение в июне 2014 г. (ГТК = 3,5) способствовало появлению дополнительных стеблей, которые увеличили продолжительность вегетационного периода. Генеративный период развития растений пшеницы в 2015 г. проходил в условиях пониженных температур и избыточного увлажнения (ГТК = 3...3,7), что несколько затянуло наступление спелости.

ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПО УРОВНЮ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АЛЮМОУСТОЙЧИВОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ К РАННЕЙ ЗАСУХЕ

Генетическое разнообразие сортов и линий мягкой яровой пшеницы по уровню устойчивости к ионам алюминия. Согласно лабораторной оценке, в группу алюмоустойчивых вошли 28 генотипов: отечественные – Алтайская 110, Горноуральская, Дуэт Черноземья, Закамская, Кинельская 61, Легенда, Линия 2, Лютесценс 13, Лютесценс 30, Магистральная 1, Мария 1, Памяти Вавенкова, Рикс, Серебристая, СКЭНТ 3, Тулайковская 105, Тюменская 28, Тюменская 80, ФПЧ-Ррд-w, Эстивум V313; зарубежные – Срібнянка и Харьковская 30 (Украина), ПХРСВ-03 (США), Attis (Германия), India 247 (Индия), PS 134 и PS 89 (КНР), к-65089 (Алжир). Наибольшее число генотипов – 72 – характеризовались умеренной устойчивостью к повышенному содержанию ионов алюминия в среде; 13 – сформировали группу умеренно-чувствительных к ионам алюминия сортообразцов; неустойчивых генотипов среди изученного материала не обнаружено.

Средний показатель длины корня, в целом по выборке, в контроле (дистиллированной воде) был равен 8,6 см, коэффициент вариации признака составил 11,2%. Наиболее мощную корневую систему – 11,1 см – сформировали проростки пшеницы сорта Саяногорская. Наименьшие показатели длины корней – 6,4 см – отмечены у сортов Срібнянка и Attis. Средний показатель дли-

ны корня в опыте (в водном растворе соли алюминия, концентрацией 1,5 мМ Al) равен 5,1 см. Максимальный показатель длины корня в опыте имел сорт ПХРСВ-03 (6,9 см). Минимальный показатель данного признака – 3,9 см – отмечен у сортов Александрина, Лубнинка, АС Taber. Коэффициент вариации длины корня в опыте составил 12,9%.

Как показали данные исследования, сорта с высоким уровнем алюмоустойчивости, как и сорта, умеренно чувствительные к данному типу эдафического стресса, могут происходить как из географически отдаленных селекционных учреждений, так и из одной местности. Например, сорта из Омской, Самарской, Тюменской, Новосибирской областей России, Казахстана и Украины покрывают весь диапазон изменчивости показателя индекса длины корней (ИДК) в исследованной совокупности (соответственно от 47,9 до 66,2; от 46,2 до 67,4; от 48,9 до 68,6; от 45,0 до 81,6; от 47,9 до 65,3 и от 44,8 до 76,6%). Таким образом, прямой связи между географическим местом создания сорта и уровнем его потенциальной алюмоустойчивости в нашем исследовании выявить не удалось. Даже сорта, выведенные в Кировской области, где кислые дерново-подзолистые почвы занимают около 78% пахотных земель, не обязательно будут иметь высокий уровень устойчивости к стрессу: ИДК сортов Вятчанка, Баженка и Свеча составляют соответственно 59,3; 54,2; 52,9%.

Перераспределение ресурсов между корнями и ростками (индекс root-soot ratio, RSR), показывает интегрированный ответ растения на условия среды. Относительное соотношение массы корневой системы и надземных органов (опыт/контроль) у испытанных сортов пшеницы изменялось в широких пределах. Минимальное соотношение – у сорта Памяти Вавенкова – 59,1%; наибольшее значение соотношения индексов RSR – 104,0% – у сорта Актюбе 27. Практически на уровне контроля (не отличаясь от него статистически значимо) сохранили процесс перераспределения пластических веществ 18 сортов: отечественные – Елизавета, Закамская, Линия 3672h, Линия 3691h, Лютесценс 13, Магистральная 1, Омская 39, Полюшко, Сибирская 16, Симбирцит, Тимер, Тулайковская 105 и Эстивум С17; зарубежные – Актюбе 3 и Актюбинка (Казахстан), ПХРСВ-03 (США), Харьковская 30 (Украина), Jasna (Польша). Остальные сорта под воздействием ионов алюминия статистически значимо снизили отношение RSR к контролю.

Расчет коэффициента парной корреляции между показателями ИДК и относительным изменением соотношения корень/росток (RSR) показал статистически значимую связь между ними ($r = 0,63$).

Сорта Закамская, Лютесценс 13, Магистральная 1, Тулайковская 105, ПХРСВ-03, Харьковская 30 сочетают алюмоустойчивость по параметру ИДК с высоким показателем индекса RSR в условиях алюмокислого стресса.

Интегральная оценка уровня устойчивости к алюминию мягкой яровой пшеницы. Для интегральной оценки устойчивости к алюминию нами был принят во внимание характер развития целого растения в отсутствии и при наличии стрессового воздействия, а для кластерного анализа были использованы показатели длины корня и накопления сухой массы корнями и ростками расте-

ний. В результате анализа весь набор изученных сортов и линий разделился на 5 кластеров: в первый кластер вошло 8, во второй – 46, в третий – 26, в четвертый – 19, в пятый – 14 сортообразцов различного эколого-географического происхождения.

Сорта, имеющие в родословной одного и того же родителя, попадали в разные кластеры. Только две пары родственных сортов практически не отличались друг от друга (принадлежали одному кластеру): это сорта Свеча и Боевчанка (3 кластер, общий родитель – сорт Bastian) и сорта Кинельская нива и Кинельская отрада (2 кластер), родственные через сорт Тулайковская 1. Поскольку сорта второго кластера показали больший уровень интегральной алюмоустойчивости, можно предположить, что сорт Тулайковская 1 несет в себе гены, повышающие алюмоустойчивость.

Генетическое разнообразие сортов и линий мягкой яровой пшеницы по уровню устойчивости к ранней засухе. Изученные нами 113 сортов и линий мягкой яровой пшеницы по проценту прорастания семян были отнесены к двум группам устойчивости к ранней засухе – высокоустойчивые и устойчивые. Первая группа сформирована большинством (93%) генотипов.

Использование критерия относительного накопления проростками сухой массы, как более информативного показателя, позволило распределить изученные генотипы на пять групп. Сорт Новосибирская 20 обладает высокой устойчивостью к ранней засухе. Сортообразцы Алтайская 100, Баганская 95, Линия 3691h, Эстивум 155, к-65089 вошли в группу устойчивых к ранней засухе. Большие группы сформированы среднеустойчивыми (63,7%) и слабоустойчивыми (29,2%) к ранней засухе сортами пшеницы. Выделились два неустойчивых сорта – PS 62 и Лавруша.

Средний показатель накопления проростком сухой массы в опыте (концентрированный раствор сахарозы) составил 4,7 мг, тогда как в контроле (дистиллированная вода) он был значительно выше – 10,7 мг. Коэффициент вариации признака в стрессовых условиях составил 26,5%, в нормальных – 14,1%.

Генотипы с высоким уровнем потенциальной засухоустойчивости (по степени накопления проростками сухой массы), как и генотипы, неустойчивые к данному стрессору, происходят из географически отдаленных регионов, различающихся по почвенно-климатическим условиям. С другой стороны, сорта, созданные в Новосибирской, Омской, Самарской, Иркутской областях, относятся к трем различным группам устойчивости к засухе (уровень потенциальной засухоустойчивости соответственно от 24,5 до 81,4; от 16,9 до 57,2; от 21,6 до 64,3; от 29,7 до 77,3%). Таким образом, прямой связи между почвенно-климатическими условиями места выведения сорта и уровнем его потенциальной засухоустойчивости не выявлено.

У большинства сортов (82% всей выборки) воздействие стрессора привело к достоверному повышению индекса RSR относительно контроля. Расчет коэффициентов парной корреляции между относительным изменением соотношения корень/росток (RSR) и показателями засухоустойчивости (по степени

прорастания семян и по накоплению проростками сухой массы) показал наличие слабой связи между ними ($r = 0,23$ и $0,28$ соответственно).

Все потенциально засухоустойчивые сорта, кроме Эстивум 155, обладают устойчивостью к повышенному содержанию ионов алюминия. Средне- и слабоустойчивые к ранней засухе группы объединяют различные по уровню алюмоустойчивости генотипы: устойчивые – Легенда, Лютесценс 30, Тулайковская 105, Тюменская 80; чувствительные – Карабалыкская 98, Памяти Афродиты, Торчинська, АС Taber. Сорта пшеницы, неустойчивые к засухе, также имеют различный уровень алюмоустойчивости. Сорт Лавруша, например, чувствителен к ионам алюминия в среде, а PS 62 – умеренно устойчив к данному стрессору. Таким образом, в целом, способность сортов и линий пшеницы прорастать в условиях водного дефицита очень слабо коррелирует с уровнем потенциальной алюмоустойчивости исследованных генотипов ($r = 0,08$). Следовательно, в лабораторных условиях оценка сортов и линий по засухоустойчивости не заменяет собой оценку их потенциальной алюмоустойчивости.

Интегральная оценка уровня устойчивости к ранней засухе мягкой яровой пшеницы. Для интегральной оценки устойчивости мягкой яровой пшеницы к ранней засухе во внимание был принят характер развития целого растения в отсутствие и при наличии стрессового воздействия. Для кластерного анализа использовались показатели процента прорастания семян и накопления сухой массы корнями и ростками проростков пшеницы. В результате анализа данных весь набор изученных сортов и линий разделился на 5 кластеров. В первый вошло 23, во второй – 24, в третий – 15, в четвертый – 14, в пятый – 37 сортообразцов различного эколого-географического происхождения.

Сортообразцы, попавшие в один кластер, не рекомендуется использовать в скрещиваниях, так как при этом изменения уровня устойчивости не произойдет. Напротив, сортообразцы, попавшие в отдаленные кластеры, представляют наибольший интерес с точки зрения повышения устойчивости к стрессовым факторам среды. При этом стоит учитывать полученные нами данные об отсутствии достоверной статистической связи между устойчивостью изученных образцов мягкой яровой пшеницы к двум разным эдафическим стрессорам – ионам алюминия и ранней засухе. При наличии в зоне деятельности какого-либо селекционного центра одного из этих стрессоров следует использовать при выборе скрещиваемых сортов соответствующую дендрограмму, однако, при наличии обоих типов стресса следует выбирать сорта, попадающие в разные группы в обеих дендрограммах. Только при таком подходе можно ожидать изменения уровня устойчивости гибридного материала к обоим стрессовым факторам.

ПРОДУКТИВНОСТЬ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ПОЧВАХ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ СОДЕРЖАНИЕМ ПОДВИЖНЫХ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ

Продуктивность сортов и взаимосвязь между ее составляющими в условиях кислых почв, имеющих высокую концентрацию ионов алюминия. Кислая реакция почвенного раствора и повышенное содержание подвиж-

ных ионов алюминия на опытном участке Фаленской селекционной станции (фон 2, таблица 1) спровоцировали снижение урожайности пшеницы на 46,0...99,9% по сравнению с нейтральным участком (фон 1). К алюмотолерантным отнесены сорта Дуэт Черноземья, Свеча, Тулайковская 105, которые в условиях эдафического стресса в меньшей степени снизили урожайность (на 46...58%). Все сорта продемонстрировали статистически значимые ($p \leq 0,05$) отличия в реакции на стрессор колосьев главных и боковых стеблей. У алюмоустойчивых сортов Тулайковская 105 и Легенда снижение массы зерна главного колоса составило 45 и 57%, массы зерна с растения – 53 и 62% соответственно. Депрессия этих показателей у стандартного сорта Свеча составила 54 и 73% соответственно. У данной группы сортов масса 1000 зерен на алюмокислой почве незначимо ($p \leq 0,05$) отличалась от показателей на нейтральном участке.

На связь между урожайностью и элементами структуры продуктивности почвенный фон не повлиял. Урожайность на нейтральном участке зависела от массы зерна главного колоса ($r = 0,84$), массы зерна с растения ($r = 0,80$), массы 1000 зерен ($r = 0,87$). На алюмокислых почвах соответствующие коэффициенты корреляций составили 0,92; 0,88 и 0,76 соответственно. Следовательно, для селекции на алюмокислых почвах, необходимо так же учитывать параметры продуктивности колоса и растения.

Анализ влияния почвенного алюминия на работу генетических систем пшеницы показал генетическое разнообразие реакций сортов на стрессовое воздействие (рисунок 1).

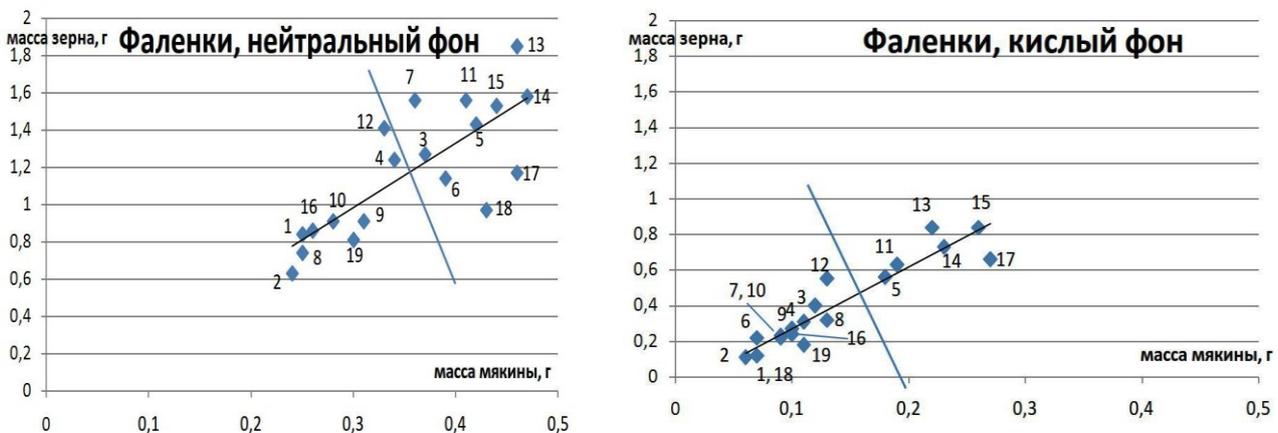


Рисунок 1 – Влияние почвенного алюминия на работу генетических систем растений пшеницы. Цифрами обозначены сортообразцы: 1 – Актюбе 19; 2 – Алтайская 80; 3 – Башкирская 28; 4 – Бирюса; 5 – Дуэт Черноземья; 6 – Карабалыкская 98; 7 – Кинельская отрада; 8 – Легенда; 9 – Линия 3691h; 10 – Лютесценс 30; 11 – Магистральная 1; 12 – Ольга; 13 – Омская 39; 14 – Свеча; 15 – Тулайковская 105; 16 – Тюменская 80; 17 – Эстивум 155; 18 – АС Taber; 19 – Nawra

Согласно теории В.А. Драгавцева (1997) по линии отрицательной регрессии (малая ось эллипса) направлены только эффекты генов микрораспределения. По линии положительной регрессии (большая ось эллипса) направлены эффекты генов аттракции и адаптивности.

Первое, что можно отметить, глядя на рисунок, это то, что поступление стрессора через корневые системы растений практически не повлияло на энер-

генетическую эффективность перекачки продуктов фотосинтеза из стебля и мякины в развивающуюся зерновку. Это следует из того факта, что угол наклона положительной оси регрессии не изменился в зависимости от почвенного фона выращивания растений.

Во-вторых, кислый почвенный фон с высоким содержанием подвижных ионов алюминия (фон 2) несколько снизил вариабельность реакции генетических систем аттракции и адаптивности сортов пшеницы (размах разброса точек по большей линии регрессии) и, в гораздо большей степени, подействовал на работу генетической системы микрораспределения пластических веществ внутри колоса. Межсортовая вариабельность по этому признаку снизилась вдвое по сравнению с нейтральным фоном.

В-третьих, сорта Дуэт Черноземья, Магистральная 1, Омская 39, Свеча, Тулайковская 105 (№ 5, 11, 13, 14, 15 на рисунке 1) в условиях жесткого эдафического стресса остались в группе сортов, имеющих положительные сдвиги в работе генетических систем аттракции, адаптивности и микрораспределения продуктов фотосинтеза.

Продуктивность сортов и взаимосвязь между ее составляющими в условиях кислых почв, имеющих низкую концентрацию ионов алюминия. В условиях слабого алюминиевого стресса (фон 4, таблица 1) урожайность при сильной ранней засухе определялась массой зерна с растения ($r = 0,77$) и крупностью зерна ($r = 0,71$). При недостаточной влагообеспеченности в начале вегетации урожайность была обусловлена продуктивностью колоса главного побега – числом зерен ($r = 0,59$) и их массой ($r = 0,69$).

Сравнение данных полевых опытов, проведенных на одинаковых по кислотности почвах, но содержащих разное количество подвижного алюминия (фоны 3 и 4), позволило оценить влияние непосредственно ионов алюминия на урожайность и развитие элементов структуры продуктивности. Содержащееся в почве небольшое количество алюминия (34,2 мг/кг) привело к достоверному снижению массы зерна главного колоса только у трех сортов: Свеча, Тулайковская 105, Омская 39 (на 11,6...19,4 %). Отмечено снижение массы зерна с растения у сортов Свеча (8,6 %), Бирюса (13,3 %), однако снижение этих показателей не привело к потере урожайности из-за высокого показателя выживаемости растений. Таким образом, низкая концентрация подвижного алюминия в почве не повлияла на урожайность изученных сортов – статистически значимых различий в показателях на фонах 3 и 4 не обнаружено.

Расчет коэффициентов парных корреляций между лабораторными показателями устойчивости к алюминию проростков пшеницы и элементами структуры продуктивности сортов, произраставших на фоне 4, позволил установить достоверные связи. Сильная сопряженность обнаружена между параметром ИДК и элементами продуктивности главного колоса: массой колоса ($r = 0,74$), числом зерен ($r = 0,74$), массой зерна ($r = 0,83$). Сильная отрицательная связь установлена между весовыми показателями проростков пшеницы (масса корней, масса ростков) в условиях, имитирующих алюминиевый стресс, и массой зерна с растения ($r = -0,61$; $r = -0,73$ соответственно).

В условиях жесткого алюминиевого стресса указанные корреляции становятся статистически незначимыми.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЭДАФИЧЕСКОГО СТРЕССА

Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости фотосинтетического аппарата в условиях жесткого алюминиевого стресса. Жесткие стрессовые условия (фон 2, таблица 1) привели к снижению уровня синтеза всех типов пигментов по сравнению с условиями нейтрального участка (рисунок 2).

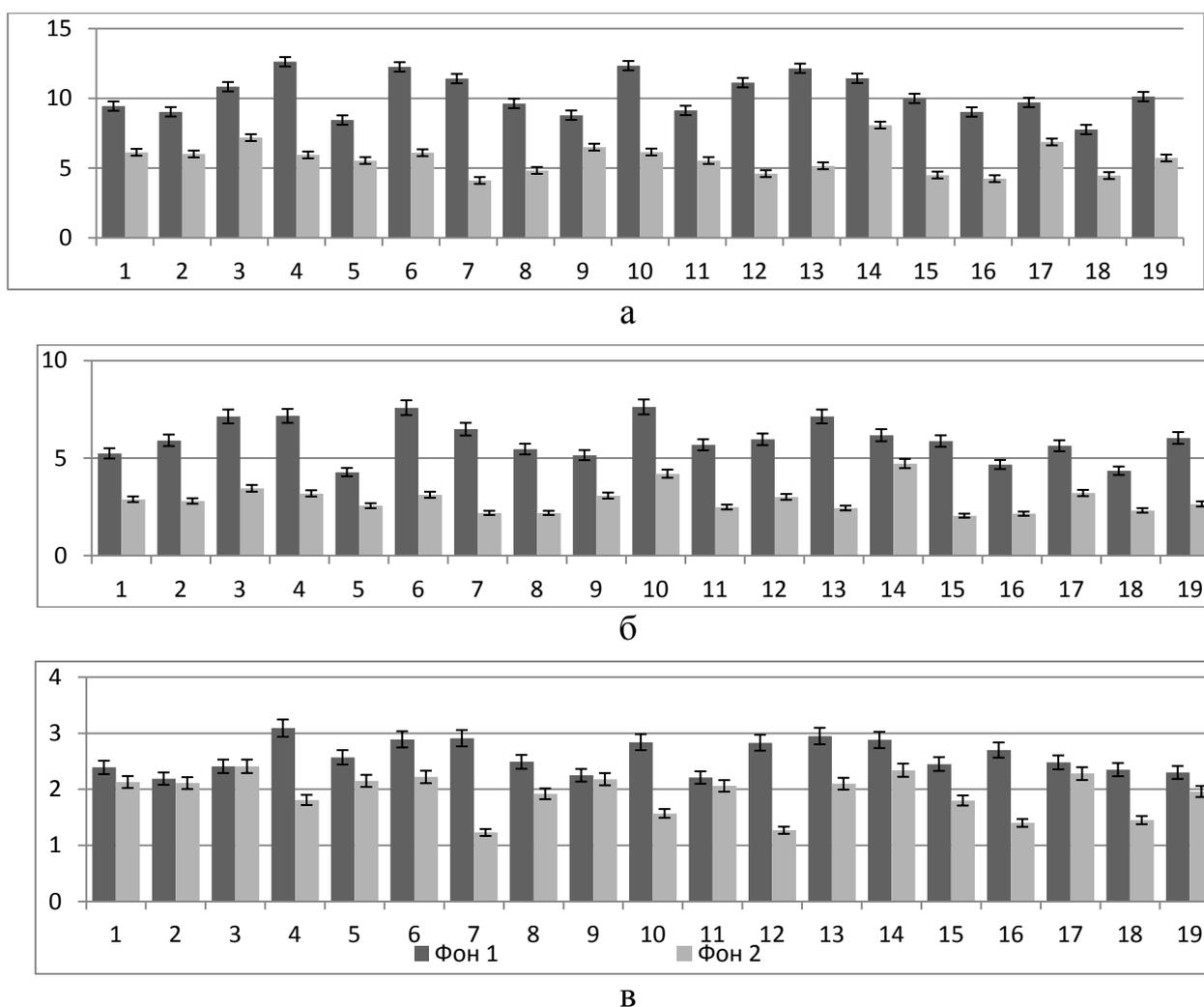


Рисунок 2 – Влияние жесткого алюминиевого стресса на содержание хлорофиллов *a* (а), *b* (б) и каротиноидов (в) в листьях пшеницы (мг/г сухой массы). Сорта: 1 – Легенда; 2 – Лютеценс 30; 3 – Тюменская 80; 4 – Тулайковская 105; 5 – Башкирская 28; 6 – Магистральная 1; 7 – Дуэт Черноземья; 8 – Науга; 9 – Линия 3691h; 10 – Кинельская отрада; 11 – Алтайская 80; 12 – Свеча–стандарт; 13 – Ольга; 14 – Омская 39; 15 – Карабалыкская 98; 16 – Бирюса; 17 – Актюбе 19; 18 – Эстивум 155; 19 – АС Taber

Наибольшее влияние стресс оказал на фотосинтетический аппарат листьев сорта Дуэт Черноземья. Так, в фазу цветения 1 г сухого вещества флаговых листьев растений этого сорта в стрессовых условиях содержал почти в три раза

меньше хлорофиллов *a* и *b* по сравнению с нейтральным фоном; на 57,7% меньше синтезировалось каротиноидов. Наименьшие последствия действия ионов алюминия ощутили растения сорта Омская 39. Снижение содержания хлорофилла *a* составило 29,3%, хлорофилла *b* – 23,5%, каротиноидов 5,8%. У алюмоустойчивых сортов (кроме Тулайковская 105), умеренно устойчивых сортов Линия 3691h, Алтайская 80 и чувствительного сорта Актюбе 19 содержание каротиноидов в листьях в фазу цветения находилось в пределах контроля, либо незначительно снизилось.

Оценивая степень влияния ионов алюминия на светособирающие комплексы (ССК) фотосистем I и II, можно выделить сорта Кинельская отрада, Свеча, Омская 39 – доля хлорофилла *a* в ССК хлоропластов стрессовых растений превышала значения, полученные в нормальных условиях (рисунок 3).

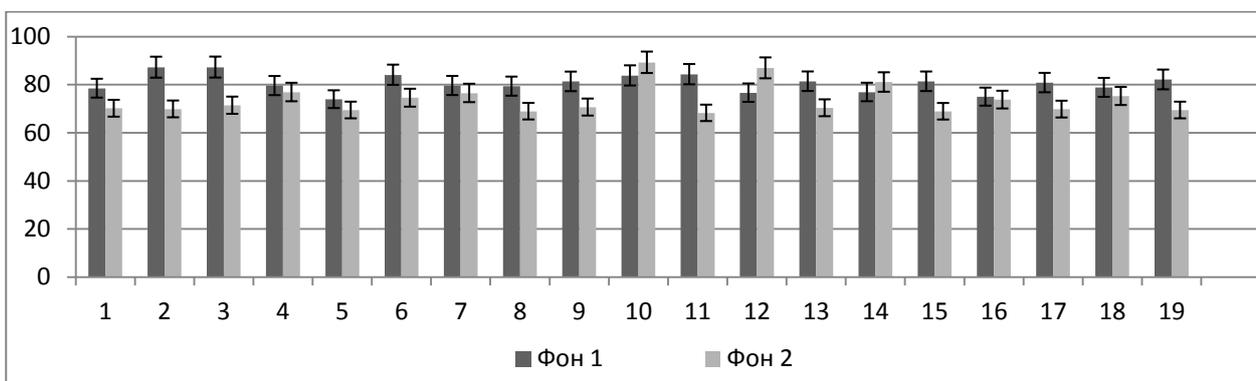


Рисунок 3 – Влияние жесткого алюминиевого стресса на долю хлорофилла *a* в светособирающих комплексах хлоропластов (%). По горизонтали – номера сортов в соответствии с рисунком 2

У сортов Тулайковская 105 и Бирюса этот показатель находился на уровне контроля. Остальные изученные сорта под действием стрессора достоверно снизили долю хлорофилла *a* в ССК хлоропластов.

Анализ корреляционных связей показал, что на урожайность пшеницы, произрастающей на нейтральном фоне, наибольшее влияние оказало содержание каротиноидов во флаговом листе в фазу цветения растений ($r = 0,60$). В условиях стресса, обусловленного высоким содержанием подвижных ионов алюминия, тесная связь ($r = 0,62$) выявлена между урожайностью пшеницы с одной стороны и долей хлорофилла *a* в ССК хлоропластов с другой.

Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости фотосинтетического аппарата в условиях мягкого алюминиевого стресса. Изученные сорта проявили сортоспецифичность в реакции пигментного комплекса на низкое содержание в почве ионов алюминия. Относительные значения накопленных к цветению фотосинтетических пигментов в листьях опытных растений (фон 4) по сравнению с контрольными образцами (фон 3), представлены в таблице 2.

В листьях опытных растений умеренно устойчивого сорта Омская 39 содержание фотосинтетических пигментов в 1 г сухой массы в фазу цветения находилось на уровне контроля.

Таблица 2 – Относительные показатели содержания фотосинтетических пигментов в листьях мягкой яровой пшеницы в фазу цветения (фон 4/фон 3)

Сорт	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
Тулайковская 105	1,34*	1,46*	1,15*
Башкирская 28	1,20*	1,45*	0,86*
Магистральная 1	1,06	1,27*	0,90*
Кинельская отрада	1,02	1,15*	0,92*
Свеча	1,03*	0,92	1,09*
Омская 39	1,00	1,03	0,97
Ольга	0,90*	1,09*	0,80*
Бирюса	1,43*	1,62*	1,12*
Эстивум 155	1,19*	1,47*	0,98

Примечание: * - опытные величины значимо отличаются от контрольных, $p \leq 0,05$

Опытные образцы алюмоустойчивого сорта Тулайковская 105 и умеренно устойчивого сорта Бирюса синтезировали значимо больше пигментов, чем контрольные. Высокие показатели содержания хлорофиллов в 1 г сухого вещества листьев на фоне низкого содержания каротиноидов отмечено у сортов Магистральная 1, Башкирская 28, Кинельская отрада и чувствительного сорта Эстивум 155, произраставших на фоне 4. Чуть больше, чем в контроле, синтезировалось хлорофилла *a* и каротиноидов в листьях опытных растений стандартного сорта Свеча на фоне незначимого снижения количества хлорофилла *b*.

Для оценки прогноза роста и развития мягкой яровой пшеницы в различных условиях алюминиевого стресса (фоны 2, 4, таблица 1) с использованием данных лабораторной диагностики генотипов на ранних этапах развития, проводили расчет коэффициентов парных корреляций между содержанием фотосинтетических пигментов в листьях сортов Башкирская 28, Бирюса, Кинельская отрада, Магистральная 1, Ольга, Омская 39, Свеча, Тулайковская 105 и Эстивум 155 в фазу цветения, произраставших на почвах с разным содержанием подвижных ионов алюминия, с одной стороны, и показателями, характеризующими уровень потенциальной алюмоустойчивости данных сортов, с другой стороны. Проведенный корреляционный анализ позволил установить достоверные связи между этими показателями.

Установлено, что с увеличением кислотности почвы и с повышением содержания в ней подвижных ионов алюминия, усиливается отрицательная связь между массой зародышевых корней и ростков, образовавшихся в условиях действия 1,5 мМ Al, и содержанием в листьях мягкой яровой пшеницы всех типов пигментов (таблица 3).

Достоверно сильные связи обнаружены между относительной массой зародышевых корней (раствор соли Al/вода) и содержанием хлорофиллов в листьях пшеницы, произраставшей в нейтральных (без алюминия) условиях. Установлено также, что в этих условиях относительная масса зародышевых корней (опыт/контроль) статистически значимо ($p < 0,05$) коррелирует с весовым соотношением хлорофиллов *a* и *b* ($r = 0,67$), соотношением суммы хлорофиллов и каротиноидов ($r = 0,67$), долей хлорофилла *a* в ССК хлоропластов ($r = 0,67$).

Таблица 3 – Коэффициенты парных корреляций между лабораторными параметрами проростков и содержанием пигментов в 1 г сухого вещества листьев мягкой яровой пшеницы в фазу цветения

Полевой фон выращивания	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
Масса зародышевых корней в растворе соли Al			
pH 6,5; следы подвижного алюминия (фон 1)	-0,04	-0,11	0,16
pH 4,3; 34,2 мг Al/кг почвы (фон 4)	-0,56	-0,63*	-0,38
pH 3,8; 211,0 мг Al/кг почвы (фон 2)	-0,72*	-0,71*	-0,46*
Относительная масса зародышевых корней (раствор соли Al/дистиллированная вода)			
pH 6,5; следы подвижного алюминия (фон 1)	0,64*	0,72*	0,56*
pH 4,3; 34,2 мг Al/кг почвы (фон 4)	0,21	0,41	-0,01
pH 3,8; 211,0 мг Al/кг почвы (фон 2)	0,31	0,25	0,31
Масса ростка в растворе соли Al			
pH 6,5; следы подвижного алюминия (фон 1)	-0,29	-0,38	-0,11
pH 4,3; 34,2 мг Al/кг почвы (фон 4)	-0,57	-0,83*	-0,28
pH 3,8; 211,0 мг Al/кг почвы (фон 2)	-0,77*	-0,61*	-0,75*

Примечание: * - статистически значимо при $p \leq 0,05$

Достоверно сильная связь установлена между массой ростков пшеницы в растворе соли Al и весовым соотношением хлорофиллов *a* и *b* во флаговых листьях в фазу цветения ($r = 0,87$) на почвенном фоне 4. В данных условиях слабого алюминиевого стресса статистически значимые, но отрицательные корреляции отмечены у этого параметра проростков с соотношением суммы хлорофиллов и каротиноидов ($r = -0,66$) и долей хлорофилла *a* в ССК хлоропластов ($r = -0,86$).

Таким образом, показатели развития семидневных проростков мягкой яровой пшеницы в лабораторных условиях жесткого алюмокислого стресса (pH 4,3; 1,5 мМ Al) в разной степени коррелируют со структурой пигментного аппарата листьев растений в фазу цветения в полевых условиях. Направление и сила подобной корреляции в значительной степени определяется уровнем стрессовой нагрузки в полевых условиях.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЛАБОРАТОРНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ УСТОЙЧИВОСТИ К РАННЕЙ ЗАСУХЕ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И УСТОЙЧИВОСТИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Продуктивность сортов и взаимосвязь между ее составляющими в условиях дефицита влаги в ранневесенний период. В полевых условиях выявлялась связь между лабораторным уровнем устойчивости мягкой яровой пшеницы к ранней засухе в фазе проростков и элементами структуры продуктивности растений трех групп сортов: устойчивых к ранней засухе, среднеустойчивых и слабоустойчивых к ней. Условия начала вегетационных периодов 2014, 2015 гг. способствовали решению данной задачи – значение гидротермического коэффициента в мае было менее 1,0.

Анализ данных полевого опыта, проведенного на нейтральном почвенном фоне Фаленской селекционной станции (фон 1, таблица 1), позволил сделать некоторые выводы относительно возможности использования индекса RSR и

относительного индекса RSR (9 атм./0 атм.) для прогноза продуктивности растений пшеницы различных сортов и их урожайности в условиях ранней засухи.

Установлено, что крупность зерна и урожайность того или иного сорта пшеницы невозможно спрогнозировать по массовым параметрам проростка. Достоверные связи разной силы обнаружены только с таким хозяйственно-ценным признаком, как масса зерна с растения ($r = 0,46$ и $0,60$ соответственно).

Изучение в полевых условиях позволило выявить специфические реакции сортов мягкой яровой пшеницы, относящихся к одной группе устойчивости к ранней засухе. В таблице 4 представлены некоторые показатели структуры продуктивности и урожайности сортов пшеницы трех групп устойчивости.

Таблица 4 – Показатели продуктивности и урожайности мягкой яровой пшеницы в условиях ранневесенней засухи (2014...2015 гг.)

Сорт, линия	Группа устойчивости	Масса зерна главного колоса, г	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, г/м ²
Свеча-стандарт	III	1,58±0,11	2,92±0,40	38,81±1,83	366,7±50,2
Линия 3691h	II	0,91±0,10	0,96±0,12	32,49±1,38	225,9±13,4
Эстивум 155	II	1,17±0,05	2,12±0,09	38,26±0,96	393,3±16,8
Актюбе 19	III	0,84±0,06	0,95±0,08	34,16±0,78	192,6±7,4
Алтайская 80	III	0,63±0,07	0,69±0,05	27,69±1,51	188,9±17,0
Башкирская 28	III	1,27±0,06	1,99±0,11	42,71±1,77	537,0±50,2
Бирюса	III	1,24±0,13	2,28±0,44	36,54±2,91	314,8±46,7
Дуэт Черноземья	III	1,43±0,15	2,65±0,21	41,47±2,05	374,8±60,4
Карабалыкская 98	III	1,14±0,05	1,37±0,08	37,60±0,85	318,5±13,4
Кинельская отрада	III	1,56±0,17	3,21±0,35	37,41±1,19	454,8±36,9
Легенда	III	0,74±0,06	0,86±0,06	29,36±1,93	200,0±22,2
Магистральная 1	III	1,56±0,11	2,59±0,26	43,74±0,69	401,5±36,1
Ольга	III	1,41±0,14	2,38±0,24	38,52±1,15	429,6±41,2
Омская 39	III	1,85±0,28	2,91±0,33	44,19±1,46	571,9±68,9
Тулайковская 105	III	1,53±0,06	2,48±0,15	37,10±0,42	312,6±24,9
АС Taber	III	0,97±0,02	1,17±0,04	35,09±1,16	277,8±25,7
Nawra	III	0,81±0,03	1,00±0,07	32,24±0,57	125,9±25,9
Лютесценс 30	IV	0,91±0,04	1,04±0,09	33,53±1,37	240,7±14,8
Тюменская 80	IV	0,86±0,07	0,96±0,08	37,37±1,63	281,5±35,3

В целом по выборке, средний показатель массы зерна главного колоса составил 1,18 г, коэффициент вариации данного признака – 31,0%. Изменчивость массы зерна с растения более сильная – 47,3%, а средний показатель признака составил 1,81 г. Урожайность мягкой яровой пшеницы варьировала от 125,9 г (Nawra) до 571,9 г (Омская 39), средний показатель равен 326,8 г. Коэффициент вариации признака – 36,9%. Низкая изменчивость отмечена у такого элемента структуры продуктивности, как масса 1000 зерен, – коэффициент вариации равен 12,3%.

Урожайность мягкой яровой пшеницы в условиях ранневесенней засухи достоверно связана с массой зерна главного колоса ($r = 0,84$), массой зерна с растения ($r = 0,80$), массой 1000 зерен ($r = 0,86$).

Слабоустойчивые к ранней засухе сорта пшеницы – Тюменская 80 и Лютеценс 30 – по изученным показателям структуры продуктивности значительно уступали средним по выборке значениям. В группе устойчивых к ранней засухе сортов наблюдалась различная реакция на стресс. У сортообразца Линия 3691h отмечены низкие показатели структуры продуктивности относительно стандарта и средних по выборке значений. Сорт Эстивум 155 отличился высокими значениями (относительно среднего) продуктивности растения и урожайности. Стандартному сорту Свеча он несколько уступил по массе зерна с колоса и растения. Из среднеустойчивых к ранней засухе сортов выделились Дуэт Черноземья, Кинельская отрада, Магистральная 1, Ольга, Омская 39, Тулайковская 105, которые имели равные со стандартом показатели структуры продуктивности, а по урожайности даже превысили его (Кинельская отрада, Омская 39).

Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости пигментного комплекса в условиях дефицита влаги в ранневесенний период. Урожайность мягкой яровой пшеницы зависит от развития таких элементов структуры продуктивности, как масса зерна с колоса и растения, масса 1000 зерен. Развитие этих элементов зависит, в том числе, от структуры фотосинтетического аппарата. Так, содержание хлорофилла *a* в листьях в фазу цветения тесно связано с массой зерна главного колоса ($r = 0,67$) и растения ($r = 0,61$). Содержание каротиноидов в единице сухой массы достоверно сильно коррелирует с массой зерна главного колоса ($r = 0,87$), массой зерна с растения ($r = 0,87$), массой 1000 зерен ($r = 0,67$). Коэффициент корреляции с урожайностью составил 0,60.

Анализ парных корреляций между лабораторными параметрами развития проростков пшеницы в условиях водного дефицита (9 атм.) и содержанием пигментов в листьях в фазу цветения на нейтральных почвах (фон 1, таблица 1) в условиях ранневесенней засухи, позволил установить, что относительный вес ростков (9 атм./0 атм.) достоверно коррелирует с содержанием каротиноидов в 1 г сухой массы ($r = -0,48$).

Достоверные связи различной силы установлены между индексом RSR (корень/росток), определенным при осмотическом давлении 9 атм., и содержанием каротиноидов в 1 г сухой массы листьев ($r = 0,62$), весовым соотношением содержания хлорофиллов *a* и *b* ($r = 0,48$), долей хлорофилла *a* в ССК хлоропластов ($r = -0,49$).

Относительный индекс RSR (9 атм./0 атм.) достоверно сильно коррелирует с содержанием каротиноидов в 1 г сухого вещества листьев пшеницы ($r = 0,62$). Достоверные связи средней силы установлены с долей хлорофилла *a* в ССК хлоропластов ($r = -0,54$), с весовым соотношением хлорофиллов и каротиноидов ($r = -0,57$), с весовым соотношением хлорофиллов *a* и *b* ($r = 0,52$).

Если рассматривать взаимосвязь лабораторных параметров развития проростков с содержанием пигментов в листьях (и/или их соотношением) внутри сортов одной группы устойчивости, то выявлено следующее (таблица 5).

Таблица 5 – Средние показатели содержания фотосинтетических пигментов в листьях пшеницы, различных по уровню потенциальной засухоустойчивости сортов, в фазу цветения

Признаки	Устойчивые (II)	Среднеустойчивые (III)	Слабоустойчивые (IV)
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сух. массы	8,28 ± 0,52	10,59 ± 0,36	9,93 ± 0,90
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сух. массы	4,75 ± 0,40	6,06 ± 0,26	6,52 ± 0,61
Каротиноиды, мг/г сух. массы	2,30 ± 0,05	2,66 ± 0,07	2,30 ± 0,11
Весовое соотношение хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	1,75 ± 0,04	1,76 ± 0,03	1,52 ± 0,00
Весовое соотношение хлорофиллов и каротиноидов	5,68 ± 0,51	6,26 ± 0,16	7,18 ± 0,26
Доля хлорофилла <i>a</i> в ССК, %	80,07 ± 1,24	79,82 ± 0,83	87,24 ± 0,02

Устойчивые к ранней засухе сорта мягкой яровой пшеницы, согласно данным таблицы 5, содержали в листьях меньше хлорофиллов *a* и *b*, чем сорта двух других групп. Слабоустойчивые сорта, имея значимо более высокие показатели содержания хлорофиллов, по соотношению данных пигментов уступали устойчивым генотипам. У данной группы сортов отмечен высокий показатель соотношения суммы хлорофиллов и каротиноидов, а доля хлорофилла *a* в ССК хлоропластов более чем на 7% превысила аналогичные показатели сортов II и III групп.

Среднеустойчивые сортообразцы также имели значимо высокие показатели (по сравнению с устойчивыми) содержания фотосинтетических пигментов в листьях, но их соотношение статистически незначимо отличалось от аналогичных показателей, определенных у устойчивых образцов. Из данной группы сортообразцов можно выделить Дуэт Черноземья, Кинельскую отраду, Магистральную 1, Ольгу, Омскую 39, Тулайковскую 105, у которых содержание и хлорофиллов и каротиноидов в 1 г сухой массы статистически значимо превосходило средние по группе показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного комплексного изучения 113 сортов и линий из коллекции мирового генофонда мягкой яровой пшеницы ВИР и анализа изменения физиологических показателей и индексов развития растений под действием эдафических факторов сделаны следующие выводы:

1. Выделены источники потенциальной устойчивости к неблагоприятным эдафическим факторам:

- к алюмокислому стрессу – Закамская (Татарстан), Лютесценс 13 и Тулайковская 105 (Самарская обл.), Магистральная 1 (Новосибирская обл.), Харьковская 30 (Украина), ПХРСВ-03 (США);

- к ранневесенней засухе – Алтайская 100 (Алтайский край), Новосибирская 20 и Баганская 95 (Новосибирская обл.), Линия 3691h (Иркутская обл.), Эстивум 155 (Самарская обл.), к-65089 (Алжир);

- сочетающие устойчивость к алюмокислому стрессу и ранневесенней засухе – к-65089 (Алжир).

2. Не выявлено значимого влияния места выведения сорта на интегральную характеристику его алюмо- и засухоустойчивости.

3. Выделены сорта, устойчивые к эдафическим стрессам в полевых условиях:

- к алюмокислым почвам (рН 3,8; 211,0 мг Al/кг почвы) – Свеча (Кировская обл.), Тулайковская 105 (Самарская обл.), Легенда (Новосибирская обл.), Nawra (Польша);

- к кислым почвам, имеющим низкое содержание ионов алюминия (рН 4,3; 34,2 мг Al/кг почвы) – Тулайковская 105, Кинельская отрада и Эстивум 155 (Самарская обл.), Магистральная 1 (Новосибирская обл.), Омская 39 (Омская обл.);

- к ранневесенней засухе – Омская 39 (Омская обл.), Кинельская отрада и Эстивум 155 (Самарская обл.), Башкирская 28 (Башкортостан).

Все эти сорта сохраняли высокую урожайность или имели высокие отдельные показатели продуктивности растения или колоса в полевых условиях при действии эдафического стресса.

4. Выделены сорта с высоким содержанием фотосинтетических пигментов в фазу цветения:

- в условиях алюмокислых почв – Омская 39 (Омская обл.);

- в условиях ранневесенней засухи – Дуэт Черноземья (Белгородская обл.), Кинельская отрада и Тулайковская 105 (Самарская обл.), Ольга и Магистральная 1 (Новосибирская обл.), Омская 39 (Омская обл.).

Это свидетельствует о потенциальной способности данных сортов поддерживать высокий уровень фотосинтетической продуктивности в условиях эдафического стресса.

5. Урожайность мягкой яровой пшеницы в условиях действия эдафического стресса статистически значимо ($p \leq 0,05$) связана с уровнем развития таких элементов структуры продуктивности, как масса зерна главного колоса ($r = 0,69-0,92$), масса зерна с растения ($r = 0,77-0,88$), масса 1000 зерен ($r = 0,71-0,76$). Эти показатели следует использовать при оценке селекционного материала в ходе эдафической селекции.

6. Масса зерна с главного колоса и с растения статистически значимо ($p \leq 0,05$) связана с содержанием фотосинтетических пигментов в листьях пшеницы в фазу цветения:

- при высокой концентрации ионов алюминия в почве – с долей хлорофилла *a* в светособирающих комплексах хлоропластов ($r = 0,53$ и $0,48$ соответственно);

- при низкой концентрации ионов алюминия в почве – с хлорофиллом *a* ($r = 0,64$ и $0,66$ соответственно), хлорофиллом *b* ($r = 0,65$ и $0,86$ соответственно);

- при ранневесенней засухе – с хлорофиллом *a* ($r = 0,67$ и $0,61$ соответственно) и каротиноидами ($r = 0,87$ и $0,87$ соответственно).

Это позволяет использовать параметры развития фотосинтетического аппарата для прогнозирования уровня продуктивности растений в условиях полевых и вегетационных опытов.

7. Кислый почвенный фон с высоким содержанием ионов алюминия вдвое снизил межсортовую вариабельность реакции генетических систем мик-

рораспределения пластических веществ внутри колоса по сравнению с нейтральным фоном. Сорты Дуэт Черноземья (Белгородская обл.), Магистральная 1 (Новосибирская обл.), Омская 39 (Омская обл.), Свеча (Кировская обл.) и Тулайковская 105 (Саратовская обл.) имели положительные сдвиги в работе всех трех изученных генетических систем на обоих почвенных фонах.

8. Лабораторные показатели алюмоустойчивости статистически значимо ($p \leq 0,05$) связаны с развитием элементов структуры продуктивности в полевых условиях (рН 4,3; 34,2 мг Al/кг почвы): ИДК – с массой зерна главного колоса ($r = 0,83$); масса зародышевых корней и ростков – с содержанием хлорофилла *b* в фазу цветения ($r = -0,63$ и $-0,83$ соответственно) и с массой зерна с растения ($r = -0,61$ и $-0,73$ соответственно).

9. Установлено, что весовые показатели развития проростков пшеницы (индекс RSR в условиях водного дефицита и относительный индекс RSR), статистически значимо ($p \leq 0,05$) связаны с параметрами, оцененными в полевых условиях недостатка влаги в ранневесенний период: с содержанием каротиноидов ($r = 0,62$ и $0,62$ соответственно), с долей хлорофилла *a* в светособирающих комплексах хлоропластов ($r = -0,49$ и $-0,54$ соответственно) в фазу цветения; с урожайностью ($r = 53$ и $0,62$ соответственно), массой зерна главного колоса ($r = 0,57$ и $0,63$ соответственно), массой зерна с растения ($r = 0,63$ и $0,64$ соответственно) и массой 1000 зерен ($r = 0,60$ и $0,49$ соответственно).

ПРЕДЛОЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ

Использовать сорта Закамская, Лютесценс 13, Магистральная 1, ПХРСВ-03, Тулайковская 105, Тулайковская 1 и Харьковская 30 в селекции на повышение уровня алюмоустойчивости мягкой яровой пшеницы.

Использовать сорта Алтайская 100, Баганская 95, Линия 3691h, Новосибирская 20, Эстивум 155 и к-65089 в качестве генетических источников в селекции на повышение уровня засухоустойчивости мягкой яровой пшеницы.

Для прогноза уровня развития таких признаков мягкой яровой пшеницы, как "масса зерна главного колоса", "масса зерна с растения" в условиях низкой концентрации алюминия в почве (до 35,0 мг/кг) использовать показатели содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях в фазу цветения. Для прогноза степени снижения массы зерна главного колоса и урожайности при переходе от нейтральных почв к почвам с низким содержанием алюминия использовать показатели относительного соотношения хлорофиллов *a* и *b*, суммы хлорофиллов и каротиноидов, относительной доли хлорофилла *a* в светособирающих комплексах хлоропластов листьев в фазу выхода в трубку.

Для ускорения селекционного процесса по созданию алюмо- и засухоустойчивых сортов пшеницы использовать данные лабораторной оценки уровня потенциальной устойчивости к стрессору, например, массу ростков и корней в опытных растворах, как при выращивании на почвах с низким содержанием алюминия в почве (до 35,0 мг/кг), так и в условиях водного дефицита на ранних этапах развития растений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Сравнительная алюмоустойчивость сортов мягкой яровой пшеницы, выведенных в Сибири и европейской части России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. №5(42). С. 4-9.
2. Лисицын Е.М., **Амунова О.С.** Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 497-505.
3. Lisitsyn E.M., **Amunova O.S.** Genetic Variability of Spring Common Wheat Varieties in Aluminum Tolerance // Russian Journal of Genetics: Applied Research. 2015. V. 5, N. 1, P. 48-54.
4. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Сортосвая вариабельность показателей неспецифической устойчивости растений яровой мягкой пшеницы к абиотическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 1. С.4-8.

Статьи в сборниках и материалах конференций

5. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Сравнительная алюмоустойчивость отечественных и зарубежных сортов пшеницы // Актуальные проблемы селекции и технологии возделывания полевых культур. Матер. междуна. науч.-практ. конф: Сб. науч. трудов. Киров: ФГБОУ Вятская ГСХА, 2013. С. 8-9.
6. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Генетическое разнообразие пшеницы по устойчивости к повышенной кислотности // Перспективные технологии для современного сельскохозяйственного производства. Сб. Всеросс. школы мол. уч. и спец. 3-4 июля 2013 года. Суздаль: ГНУ Владимирский НИИСХ Россельхозакадемии, 2013. С. 84-88.
7. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Изменение показателей структуры продуктивности яровой мягкой пшеницы под воздействием стрессового эдафического фактора // Методы и технологии в селекции растений. Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. с междуна. участием. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2014. С. 97-100.
8. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Динамика относительного содержания аскорбиновой кислоты в растениях пшеницы под влиянием алюминиевого стресса // Методы и технологии в селекции растений. Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. с междуна. участием. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2014. С. 104-106.
9. Лисицын Е.М., **Амунова О.С.** Алюмоустойчивость мягких яровых пшениц, выведенных на почвах разной степени кислотности // Методы и технологии в селекции растений. Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. с междуна. участием. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2014. С. 94-97.
10. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости работы фотосинтетического аппарата в условиях стресса, обусловленного ионами алюминия // Знания молодых: наука, практика и инновации. Сб. науч. тр. Междуна. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2014. С. 101-103.
11. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Развитие листового аппарата растений яровой мягкой пшеницы в условиях действия стрессовых эдафических факторов // Знания молодых: наука, практика и инновации. Сб. науч. тр. Междуна. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2014. С. 103-105.
12. **Амунова О.С.**, Лисицын Е.М. Изменение основных показателей структуры

- продуктивности яровой мягкой пшеницы под воздействием эдафического стресса // Знания молодых: наука, практика и инновации. Ч.2. Агрономические, биологические, ветеринарные науки. – Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. С. 3-6.
13. **Амунова О.С.**, Тиунова Л.Н. Изменение основных элементов структуры продуктивности яровой мягкой пшеницы под воздействием стрессового эдафического фактора // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Матер. междуна. науч.-практ. конф. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. С. 6-9.
 14. **Амунова О.С.** Модификация действия алюминия на синтез листовых пигментов пшеницы погодными условиями // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем. Киров: Изд. ООО "Веси", 2015. С. 86-90.
 15. **Амунова О.С.**, Тиунова Л.Н. Влияние внекорневой обработки солью алюминия на работу генетических систем растений пшеницы // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. С. 13-16.
 16. Зубкова О.А., **Амунова О.С.** Алюминий как модификатор развития элементов продуктивности растений пшеницы // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. С. 57-60.
 17. **Амунова О.С.** Генетическое разнообразие яровой мягкой пшеницы по устойчивости работы фотосинтетического аппарата в условиях кислотного стресса // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. С. 9-12.
 18. **Амунова О.С.** Фотосинтетический аппарат яровой мягкой пшеницы в условиях стресса, обусловленного ионами алюминия // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Матер. междуна. науч.-практ. конф. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. С. 9-12.

Подписано к печати 22 мая 2017 г.
Формат 60x84^{1/16}. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ 30.

Отпечатано с оригинал-макета
Типография ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока»
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а