

## ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

**П.Н. Мальчиков**, доктор сельскохозяйственных наук,  
**М.Г. Мясникова**, кандидат сельскохозяйственных наук

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М.Тулайкова,  
446254, Самарская обл., Безенчукский р-н, пгт. Безенчук, ул. К. Маркса, 41  
E-mail: sags-mal@mail.ru

*Исследования проводили с целью идентификации в системе эколого-географических испытаний базовых генотипов по урожайности, определения источников устойчивости к наиболее вредоносным патогенам и получения адаптированно-го исходного материала с высокой концентрацией генов от других видов и эколого-географических групп. В 2011–2020 гг. в системе КАСИБ (казахстанско-сибирская селекция яровой пшеницы) в экопунктах Актобе, Карабалык, Самара, Омск, Барнаул изучали 121 сорт яровой твердой пшеницы из 8-и учреждений России и Казахстана. В условиях эпифитотии 2015, 2016, 2021 гг. исследовали устойчивость селекционных и коллекционных образцов к листовым пятнистостям и стеблевой ржавчине. В Кении изучали 10 генотипов на инфекционном фоне из смеси инокулюма 5 рас стеблевой ржавчины, в том числе Ug99. По величине урожайности исследовали сорта, полученные от межвидовых (*Triticum dicoccum* Desf, *Triticum aestivum* L.) и отдаленных скрещиваний с сортами из Италии и Австралии. В системе КАСИБ по урожайности и её стабильности идентифицировали 15 генотипов, которые рекомендованы в качестве базовых, из них 8 (61,5 %) созданы в Самаре, 5 (30,0 %) в Омске и 2 (8,5 %) в Барнауле. Среди коллекционных и селекционных образцов отобраны источники (41) и доноры (22) устойчивости к фузариозной пятнистости листьев, а также 15 источников устойчивости к стеблевой ржавчине. В Кении идентифицированы 2 сорта иммунных к желтой и сложной популяции стеблевой ржавчины и 6 генотипов умеренно устойчивых к стеблевой ржавчине. Созданы и идентифицированы как продуктивные сорта, содержащие 20,0...75,0 % наследственного материала других видов (8 сортов) и отдаленных скрещиваний (6 сортов).*

## INITIAL MATERIAL FOR BREEDING DURUM WHEAT IN THE MIDDLE VOLGA REGION

**Malchikov P.N., Myasnikova M.G.**

Tulajkov Samara Research Agricultural Institute,  
Samara Federal Research Center, Russian Academy of Sciences  
446254, Samarskaya obl., Bezenchukskii r-n, pgt. Bezenchuk, ul. K. Marksa, 41  
E-mail: sags-mal@mail.ru

*The object of the research is to identify in the system of ecological-geographical tests the basic genotypes in terms of yield, to determine the sources of resistance to the most harmful pathogens and to obtain an adapted initial material with a high concentration of genes from other species and ecological-geographical groups. In 2011–2020. In the KASIB system (Kazakh-Siberian selection of spring wheat) 121 cultivars of spring durum wheat from 8 institutions in Russia and Kazakhstan were studied at the eco-points of Aktobe, Karabalyk, Samara, Omsk, Barnaul. In the epiphytity of 2016, 2017, 2021, breeding and collection samples for resistance to leaf spots and stem rust were studied. In Kenya, 10 genotypes were studied against an infectious background from a mixture of inoculum of 5 stem rust races, including Ug99. In terms of yield, the cultivars obtained from interspecific (*Triticum dicoccum* Desf, *Triticum aestivum* L.) and distant crosses with cultivars from Italy and Australia were studied. In the KASIB system, 15 genotypes were identified by yield and its stability, which are recommended as basic ones. Among them, 8 (61.5 %) were created in Samara, 5 (30.0 %) in Omsk and 2 (8.5 %) in Barnaul. Sources (41) and donors (22) of resistance to fusarium leaf spot and to stem rust - 15 sources were selected from collection and selection samples. Kenya identified 2 cultivars immune to yellow and stem rust and 6 moderately resistant to stem rust. Created and identified as a productive breeding material containing from 20.0 to 75.0 % of the hereditary material of other species - 8 lines and distant crosses - 6 lines.*

**Ключевые слова:** твердая пшеница, сорт, исходный материал, базовый генотип, устойчивость, пятнистость листьев, стеблевая ржавчина, генетическое разнообразие

**Key words:** durum wheat, cultivar, initial material, base genotype, resistance, leaf spot, stem rust, genetic diversity

Принципы научного подхода к подбору и изучению исходного материала были разработаны Н.И. Вавиловым [1]. Основные источники генетических ресурсов – центры происхождения культурных растений, местные сорта (ландрасы), сорта, созданные в ходе научной селекции в различных агроэкологических зонах. Проблема отбора в этом разнообразии родительских форм для гибридизации остается наиболее сложной в селекционном процессе [2]. Согласно результатам опроса, проведенного Международной Организацией селекционеров растений, несмотря на то, что от 52 до 88 % коллекционных образцов составляют генетические ресурсы растений, местных и старых сортов,

а также сортов дикорастущих видов, при проведении гибридизации используют в основном коммерческие сорта [2]. Основная причина такой ситуации связана с тем, что во многих регионах современные сорта несут сформировавшиеся в процессе длительной селекции коадаптированные блоки генов, обеспечивающие им широкую адаптивность [2]. По мнению А.А. Жученко [3], в масштабе генома они наиболее устойчивы к рекомбинации и контролируются процессами мейоза и условиями среды. Существование ассоциаций генов (блоков) отчетливо демонстрирует пример из истории селекции яровой твердой пшеницы в Самарском НИ-ИСХ, где их носителями на разных этапах селекции

были сорта Леукурум БГ-40, Безенчукская 182, Памяти Чеховича [4]. Ассоциативную организацию генетических систем, контролирующих количественные признаки, подтверждают идентификация и маркирование QTL методами молекулярной генетики. Это указывает на взаимосвязь между локусом количественного признака и условиями среды, в которых его оценивают, что можно объяснить только эффектами коадаптированных блоков генов [5]. Подобные ассоциации генов служат основой для создания системы сортов со свойствами сортов широкого ареала.

Таким образом, создание и идентификация базовых генотипов, несущих блоки коадаптированных генов, одно из основных направлений формирования исходного материала, повышения эффективности и ускорения селекционного процесса. Базовый генотип идентифицируется на основании массива данных, полученных в процессе фенотипирования в разнообразных условиях среды, что связано с его основным атрибутом – стабильностью формирования исследуемого свойства, в нашем случае урожайности. В связи с этим методика соответствующих экспериментов основана на системе эколого-географических испытаний в широком диапазоне сред (годы, пункты).

Второй обязательный блок исходного материала в рабочей коллекции селекционера – набор образцов из разных эколого-географических групп, включающий генотипы со специфической адаптивностью – устойчивостью к определенным патогенам, полеганию, засолению почвы, имеющих оптимальные параметры вегетационного периода, то есть приспособленных к конкретным лимитирующим факторам среды. Специфическая адаптивность – неотъемлемый атрибут сортов локального значения, размещаемых в крупных регионах по принципу сортовой мозаики, в результате чего каждая микроразнообразие получает адекватный сорт [3]. Лучшие сорта локального значения – генотипы, созданные на основе комплементарных генетических систем широкой и специфической адаптивности. Объединение их свойств может усилить приспособленность создаваемых сортов [3]. Доминирование тех или иных признаков в сортовых популяциях зависит от региональных особенностей среды – частоты и силы проявления специфических лимитирующих факторов и особенностей технологии возделывания культуры.

Третье направление формирования исходного материала в современных условиях определяет повсеместное снижение генетического разнообразия, которое объясняется использованием в качестве базовых генотипов ограниченного числа сортов [6]. Одним из подходов к преодолению негативных последствий этого процесса в селекции твердой пшеницы может быть широкое привлечение ландрасов. Он основан на результатах молекулярно-генетических исследований разнообразия местных сортов твердой пшеницы из региона «плодородного полумесяца» [7]. В селекции твердой пшеницы средневоложского биотипа наиболее радикально эта проблема решается путем введения в геном нового генетического материала от других видов (*Triticum dicoccom* Shuebl., *Triticum aestivum* L., *Triticum timopheevii* Zhuk) и других эколого-географических групп твердой пшеницы, в частности сортов из Италии, Австралии, Казахстана и селекционных центров России.

Цель исследований – идентифицировать в системе эколого-географических испытаний по стабильности формирования урожайности базовые генотипы, опре-

делить источники устойчивости к наиболее вредоносным патогенам и получить адаптированный исходный материал с высокой концентрацией генов других видов и эколого-географических групп твердой пшеницы.

**Методика.** Идентификацию генотипов широкого ареала по средней урожайности, её стабильности и отзывчивости осуществляли в многолетнем эксперименте (2011–2020 гг.) на материале КАСИБ (казахстанско-сибирская сеть селекции яровой пшеницы). Был изучен 121 сорт из 8-и селекционных центров России и Казахстана. Эксперименты проводили в течение 5 циклов в следующих экопунктах: Актобе, Карабалык, Самара, Омск, Барнаул. Цикл включал 2 года изучения в каждом из перечисленных эколого-географических пунктах. В каждом цикле исследовали от 21 до 28 сортов. Посев проводили в оптимальные сроки, учетная площадь делянки 5,0...10,0 м<sup>2</sup>, повторность – 2...3-кратная, размещение сортов – рендомизированное. В период кушения посевы обрабатывали гербицидами, препараты и дозы которых определяли в зависимости от видового состава сорных растений. Предшественник во всех точках проведения исследований – чистый пар. По многолетним данным метеосреды в экопунктах значительно отличаются, как в целом, так и по динамике основных погодных факторов в период вегетации яровой твердой пшеницы. Среди них самое большое количество осадков в период с апреля по август выпадает в Барнауле и Омске (220 мм) при средней за май–август минимальной температуре 17 °С. Наиболее сухой (139 мм) и жаркий (21,0 °С) экопункт – Актобе. Далее следуют Самара (180 мм и 19,5 °С) и Карабалык (218 мм и 19,8 °С). Изменчивость погодных факторов также зависела от места проведения исследований. Коэффициенты вариации средней температуры в мае–августе составляли от 4,6 % в Самаре до 6,3 % в Карабалыке и Актобе, осадков в апреле–августе – от 19,0 % в Барнауле до более чем 35,0 % в Омске, Актобе и Карабалыке. В целом самые благоприятные и наименее изменчивые условия выращивания яровой твердой пшеницы складывались в Барнауле.

Учеты и наблюдения проводили в соответствии с принятыми методиками полевого эксперимента [8]. Агрономическую стабильность ( $As$ ), рассчитывали по формуле Сазоновой, Власовой [9]:

$$As = 100 - C_v, \quad (1)$$

где  $C_v$  – коэффициент вариации.

Меру превосходства сорта ( $P_i$ ) определяли по Linand Bins [9]:

$$P_i = \sum (X_{ij} - M_j)^2 / 2n, \quad (2)$$

где  $X_{ij}$  – величина признака  $i$ -ого сорта в  $j$ -ый год,  $M_j$  – максимальное значение признака любого сорта в  $j$ -ый год,  $n$  – число мест испытаний.

Коэффициент регрессии генотипа на среду как меру отзывчивости сорта вычисляли по формуле [9]:

$$b_i = \sum X_{ik} d_k / \sum d_k^2, \quad (3)$$

где  $X_{ik}$  – значение признака в конкретной среде,  $d_k$  – значение среды

Устойчивость к патогенам листовых пятнистостей (*Alternaria* spp., *Fusarium* spp.) и стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) изучали на экспериментальном поле Самарского НИИСХ в коллекционном и

селекционных питомниках в эпифитотийные годы. Род патогенов определяли по клеточной структуре мицелия, после культивирования инфекционного начала на питательной среде. Полевые учеты (тип иммунности, степень поражения листовыми пятнистостями) проводили в фазы цветения и молочно-восковой спелости. Степень поражения листовыми пятнистостями оценивали по шкале Саари и Прескотта [10]. Тип инфекции стеблевой ржавчины определяли по шкале Стэкмана, Левина [11]. В селекционном питомнике 1 года в условиях эпифитотий 2016 и 2021 гг. были проанализированы потомства гибридных популяций, полученных от скрещивания устойчивых к фузариозной пятнистости сортов с восприимчивыми. Устойчивые сорта, в потомствах которых было обнаружено от 30,0 % устойчивых линий и более отнесены к генетическим донорам устойчивости. Образцы твердой пшеницы, выделившиеся по устойчивости к стеблевой ржавчине в 2016–2017 гг., изучали по программе КАСИБ в Кении на инфекционном фоне стеблевой и желтой ржавчины. Инфекционный фон формировали на основе местной (кенийской) популяции желтой ржавчины и рас стеблевой ржавчины, включая наиболее вирулентную и агрессивную расу Ug99, представляющую опасность для посевов пшеницы в России во всех регионах. Изу-

чали следующие расовые компоненты инфекционного фона: ТTKSK = Ug99, ТTKST = Ug99 + раса, несущая ген вирулентности к Sr24, ТТTSK=Ug99+раса, несущая ген вирулентности к Sr36, ТTKTK=вирулентная к SrTmp, ТTKTT= вирулентная кSr24+ SrTmp.

В 2020 г. изучение нового селекционного материала, созданного на основе отдаленных эколого-географических скрещиваний твердой пшеницы проведено по совместной программе в 3-х селекционных лабораториях – ФИЦ Самарский НЦ РАН (Самарского НИИСХ), ФГБНУ ФАНЦА (Алтайского НИИСХ) и ФНИЦ Биологических систем и агробиотехнологий (Оренбургского НИИСХ) по методике аналогичной, применявшейся в питомниках КАСИБ. По этой же методике в Самаре в 2017–2020 гг. изучали константные селекционные линии от межвидовых скрещиваний.

**Результаты и осуждение.** В системе экологических сортоиспытаний КАСИБ в 2011–2020 гг. идентифицировано 15 лучших (по три в каждом цикле) генотипов по урожайности, отзывчивости на благоприятные условия среды и стабильности (табл. 1). Предполагается, что значительная часть этих сортов обладает свойствами широкой адаптации, и их можно использовать в качестве базовых генотипов.

В первом цикле (2011–2012 гг.) это были линии

**Табл. 1. Урожайность её стабильность и отзывчивость на благоприятные условия лучших линий (КАСИБ, 2011–2020 гг.)**

Годы испытания	Сорт	Регион происхождения	Урожайность, т/га	$b_i$	As	$P_i$
2011–2012	Стандарт	-	2,32	0,91	36,1	23,0
	653Д-44	Самара	2,64	1,08	42,8	7,6
	688Д-4	Самара	2,61	1,12	37,9	15,4
НСР <sub>0,05</sub>	Гордеиформе 677	Барнаул	2,55	1,11	35,5	12,4
	-	-	0,16	0,03	5,5	2,3
2013–2014	Стандарт	-	2,54	1,16	44,4	14,2
	Гордеиформе 02-156-1	Омск	2,76	1,17	47,2	5,3
	Гордеиформе 01-121-3	Омск	2,73	1,07	52,7	9,0
НСР <sub>0,05</sub>	Гордеиформе 04-85-4	Омск	2,68	1,23	38,7	13,5
	-	-	0,16	0,05	4,1	2,7
2015–2016	Стандарт	-	2,60	1,26	60,2	30,1
	Леукурум 1469Д-21	Самара	2,70	1,16	54,8	23,7
	Леукурум 1307Д-51	Самара	2,58	1,01	55,8	23,0
НСР <sub>0,05</sub>	Гордеиформе 01-115-5	Омск	2,56	1,22	57,7	33,4
	-	-	0,15	0,09	5,7	3,7
2017–2018	Стандарт	-	3,56	1,19	42,2	78,4
	Леукурум 1506	Самара	4,03	1,09	48,3	8,6
	Гордеиформе 1591Д-21	Самара	3,96	1,04	47,6	14,8
НСР <sub>0,05</sub>	Гордеиформе 05-42-12	Омск	3,63	1,10	39,8	27,4
	-	-	0,25	0,05	5,0	3,9
2019–2020	Стандарт	-	3,12	1,13	14,2	35,5
	Гордеиформе 924	Барнаул	3,21	1,14	25,3	21,3
	Леукурум 1693д-71	Самара	3,20	1,07	32,0	13,9
НСР <sub>0,05</sub>	Гордеиформе 1591Д-21	Самара	3,10	1,18	21,7	17,2
	-	-	0,21	0,04	6,9	4,5

653Д-44, 688Д-4 (Самара) и Гордеиформе 677 (Барнаул). При урожайности соответственно 2,64 т/га, 2,61 т/га и 2,55 т/га все они достоверно превзошли средний стандарт по величине этого показателя на 0,32 т/га, 0,29 т/га и 0,23 т/га. Кроме того, они отличались лучшей, чем у стандарта отзывчивостью на изменение условий среды: коэффициент регрессии ( $b_i$ ) у линий был выше, чем у стандарта соответственно на 0,17, 0,21 и 0,02 единицы. Одновременно линия 653Д-44 была достоверно лучшей по параметрам стабильности  $As$  – 42,8 и  $P_i$  – 7,6. Гордеиформе 677 и 688Д-4 значимо (НСР<sub>0,05</sub> 2,3) превосходили стандарт по величине параметра  $P_i$  на 11,6 и 8,6 единиц соответственно.

Во втором цикле (2013–2014 гг.) лучшими по урожайности были три линии Омского АНЦ – Гордеифоме 02-156-1, Гордеиформе 01-121-3 и Гордеиформе 04-85-4. Из них первые две достоверно превышали стандарт по величине этого показателя (соответственно на 0,22 и 0,19 т/га, а также по стабильности: Гордеиформе 01-121-3 по параметрам  $As$  на 8,3 единицы и  $P_i$  – на 5,2 единицы, Гордеиформе 01-85-4 только по  $P_i$  – на 8,9 единиц.

В третьем цикле (2015–2016 гг.) среди 25 изученных линий по урожайности лучшими были две из Самары – Леукурум 1469Д-21 и Леукурум 1307Д-51 и одна из Омска – Гордеиформе 01-115-5. Однако достоверных различий по величине этого показателя со средним стандартом не установлено. У самарских линий Леукурум 1469Д-21 и Леукурум 1307Д-51 величины параметра  $P_i$  были выше, чем у стандарта, на 6,4 и 7,1 единиц (НСР<sub>0,05</sub> 3,7 единиц). Это означает, что практически одинаковый со стандартом уровень вариабельности урожайности в зависимости от среды, сочетается у них с близкими к лучшему генотипу результатами в условиях каждой экспериментальной среды.

В четвертом цикле (2017–2018 гг.) лучшими по урожайности были селекционные линии из Самары – Леукурум 1506, Гордеиформе 1591Д-21 и из Омска – Гордеиформе 05-42-12. Самарские линии достоверно превосходили стандарт по урожайности (на 0,47 т/га и 0,40 т/га), а также по параметрам стабильности – по  $As$  на 6,1 и 5,4 единиц, по  $P_i$  – на 69,8 и 63,8 соответственно. Урожайность и  $As$  у омской линии Гордеиформе 05-42-12 находились на уровне стандарта. Преимущество отмечено только по величине  $P_i$  на 50,0 единиц.

В пятом цикле (2019–2020 гг.) урожайность лучших линий Гордеиформе 1591Д-21, Леукурум 1693Д-71 (Самарский НИИСХ) и Гордеиформе 924 (Алтайский НИИСХ) отличалась от стандарта несущественно. По параметрам стабильности все они значимо превосходили стандарт: по  $As$  соответственно на 7,5, 17,8 и 11,1 единиц, по  $P_i$  – на 18,3, 21,6 и 14,2 единиц.

Таким образом, за 10 лет изучения современного селекционного материала, принадлежащего 8-и селекционным центрам России и Казахстана, из 121 линии выделено 15 лучших по урожайности генотипов, которые были созданы в трех центрах – Самарском НИИСХ, Омском АНЦ и ФГБНУ ФАНЦА (Алтайский НИИСХ), в том числе 8 линий (61,5 %) в Самаре, 5 (30,0 %) в Омске и 2 (8,5 %) в Барнауле. Можно предположить, что такая ситуация связана с экологическими условиями места проведения селекции. Тем не менее, общие тенденции изменения свойств селекционного материала проявляются во всех трех центрах. Они относятся, помимо прогресса ряда генотипов по урожайности (7 из 15 достоверно превысили стандарты), к параметрам стабильности. Так, параметр  $P_i$  (мера превосходства сорта) был достоверно выше, чем у стандарта, у 13 из 15 линий коэффициент агрономической стабильности

( $As$ ) – у 4, остальные образцы по этим свойствам не отличались от стандарта. Можно предположить, что на сегодняшний день доминирующее направление в селекции твердой пшеницы – стабильность формирования урожайности. Это вполне объясняется потеплением климата и увеличением стрессовых нагрузок на продукционный процесс культуры. Такой вывод подтверждает анализ коэффициентов регрессии ( $b_i$ ). Большинство линий (9 из 15) достоверно уступали стандарту по величине этого показателя и только 4 генотипа (653Д-44, 688Д-4, Гордеиформе 677, Гордеиформе 02-156-1) сочетали высокую отзывчивость на среду (по  $b_i$ ) и значимое преимущество по урожайности над стандартом.

В целом все 15 линий рекомендуется использовать в качестве базовых генотипов в различных направлениях селекции в зависимости от их преимуществ локального значения. В качестве универсальных (пригодных для всех экопунтов) предложены линии 653Д-44, 688Д-4, Гордеиформе 677, Гордеиформе 01-121-3, Леукурум 1307Д-51, Леукурум 1506, Гордеиформе 1591Д-21. Целесообразность использования некоторых из них в этом качестве подтверждают результаты государственного сортоиспытания и включение в государственный реестр сортов, допущенных к хозяйственному использованию по регионам России. Это линии Самарского НИИСХ – 653Д-44 (Безенчукская золотистая), 688Д-4 (Безенчукская 210), Леукурум 1307Д-51 (Безенчукская крепость), Леукурум 1506Д-36 (Безенчукская юбилейная) и Гордеиформе 1591Д-21 (Триада). Высокую эффективность метода широких экологических испытаний для отбора базовых генотипов подтверждает использование сорта Памяти Чеховича (оригинатор Самарский НИИСХ), также идентифицированного в этом качестве в системе экологических испытаний. На его базе созданы сорта Безенчукская золотистая, Безенчукская 210, Безенчукская крепость, Безенчукский подарок (оригинатор Самарский НИИСХ), Кремень (оригинатор Оренбургский НИИСХ), Шукшинка (оригинатор ФГБНУ ФАНЦА).

Несмотря на высокую стабильность продукционных процессов, характерных для базовых генотипов они не идеальны и имеют ряд лимитирующих урожайность свойств. Такие недостатки можно устранить при наличии соответствующих доноров. В связи с этим был проведен поиск и формирование коллекции источников и доноров устойчивости к наиболее вредоносным патогенам твердой пшеницы в Среднем Поволжье, где она значительно сильнее, чем мягкая, поражается листовыми пятнистостями. В последние годы, наряду с патогенами гельминтоспориозных пятнистостей (темно-бурая – *Bipolaris sorokiniana* Sacc., син. *Helminthosporium sativum* P.K. et V., желтой – *Drechlera tritici-repentis*), все чаще наблюдаются эпифитотии фузариозной (*Fusarium sporotrichoides*, *Fusarium graminearum*) и альтернариозной (*Alternaria alternata* (Fr)) листовой пятнистости. Так, в период с 2015 по 2021 гг. их отмечали в 2015, 2016 и 2021 гг. Особенно значительную вредоносность наблюдали при распространении фузариозных пятнистостей листьев. Устойчивые сорта в этих условиях превосходили по урожайности неустойчивые в 3...4 раза, а восприимчивые сорта при степени поражения листьев 90,0...100,0 % урожай практически не формировали. Кроме перечисленных патогенов в 2016, 2017 гг. отмечали поражение растений твердой пшеницы стеблевой ржавчиной (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*), чего ранее в Поволжье не наблюдали.

Результаты изучения коллекционных и селекцион-

**Табл. 2. Устойчивость образцов твердой пшеницы на естественном инфекционном фоне к *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. и *Puccinia graminis* (Безенчук, 2015–2021 гг.)**

Сорт	Оригинатор	Устойчивость к патогенам (R...S, %)*			Донор устойчивости к <i>Fusarium</i> sp.
		<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Puccinia graminis</i>	
Italy 510	Италия	30,0	25S	R	
Italy 511	Италия	25,0	20MS	R	
Нурено	Австралия	50,0	R	5R	+
Таторои	Австралия	7,5	R	R	+
Тjikuri	Австралия	45	R	5R	+
Line740	Австралия	7,5	R	30	
L5046 (Nax 2)	Австралия	50,0	R	15	+
Line 53188	Австралия	10,0	R	10	
к-131191 T.durum	Самарская область	10,0	R	5R	
к-19352 T.dicoccum	ВИР	5,0	R	15	+
к-29564 T.dicoccum	ВИР	12,0	R	10	+
к-13634 T.dicoccum	ВИР	40,0	R	R	+
к-7353 T.dicoccum	ВИР	5,0	R	10	
к-29556 T.timopheevii	ВИР	0,0	R	R	
к-6530 T.dicoccum	ВИР	12,0	R	17,5	
к-6538 T.dicoccum	ВИР	10,0	R	15	
BS-5 T.aestivum	ВИР	30,0	R	12,5	+
74BS T.aestivum	ВИР	20,0	R	12,5	+
67/BS T.aestivum	ВИР	10,0	R	25,0	
1181к T.dicoccum	ВИР	10,0	R	7,5	
Гордеиформе 98-42-5	СИБНИИСХ	10,0	R	15,0	
rissa//scoop1/T.boeiticum	СИМУТ	5,0	R	50,0	+
Гордеиформе 01-121-3	СИБНИИСХ	30,0	R	40,0	
86с-08	НИИСХ Юго-Востока	25,0	R	12,5	+
1899д-3	Самарский НИИСХ	7,5	R	15,0	+
1899д-9	Самарский НИИСХ	7,5	R	15,0	+
Безенчукская 205	Самарский НИИСХ	10,0	R	5,0R	+
Безенчукская 210	Самарский НИИСХ	5,0	R	15,0	+
Золотая	Самарский НИИСХ	5,0	R	20,0	+
Гордеиформе 878	Алтайский НИИСХ	-	R	5,0R	
1560д-31	Самарский НИИСХ	5,0	R	7,5R	
Триада	Самарский НИИСХ	5,0	R	5R	+
1816д-5 Л1750/682д-7//Л1750/ Л1752	Самарский НИИСХ	5,0	R	R	+
Ясенка	Краснодарский НИИСХ	5,0	R	R	+
326д-26	Краснодарский НИИСХ	5,0	R	25	
1560д-35	Самарский НИИСХ	5,0	R	10	
Безенчукский подарок	Altar 84/358с-94//ПЧ	5,0	R	7,5R	+
1922Д-14 (SP3/2)	Без. нива/653д-58	5,0	R	10,0	+
1941д-19	Донская элегия/653д-58	5,0	R	10,0	+
2499д-1	Нах-2/1389да-1//БН	5,0	R	7,5	
2499д-3	Нах-2/1389да-1//БН	5,0	R	7,5	
2119д (146)	688д-7/к-10456/к-10456	5,0	R	7,5	
2121д (148)	688д-7/к-30091//Б210	5,0	R	10,0	

\*в год максимального поражения; R – устойчивые генотипы, у которых в фазе колошения на листьях среднего и верхнего яруса отсутствовали пятна или поверхность покрытия не превышает 5,0 %; S – восприимчивые генотипы, повреждение пятнистостями превышало 20,0 % поверхности листьев.

ных образцов в эпифитотийные годы по максимальному проявлению за период изучения (табл. 2) показали, что ценность сформированной коллекции определяет высокая устойчивость всех образцов к пятнистости листьев, вызываемой наиболее вредоносными патогенами из рода *Fusarium* sp. Перспективны для селекции на высокую устойчивость к болезням сорта из Австралии, особенно Tammorei, проявивший в 2015–2021 гг. устойчивость ко всему комплексу патогенов, и L5046 (Nax2) – устойчивый/умеренно устойчивый к стеблевой ржавчине, фузариозной и желтой листовой пятнистостям. Устойчивость L5046 к болезням увеличивает его ценность в качестве донора гена солеустойчивости Nax2 семейства TmHKT. Кроме того, целесообразно широко использовать в гибридизации устойчивые к фузариозной пятнистости листьев образцы *Tr.dicoccum*: к-19352, к-29564, к-13634, к-6538, 1181к, к-7353. Наряду с иммунологической ценностью они по результатам длительного изучения отнесены к группе генотипов устойчивых к перестоя и полеганию.

Изучение ряда выделенных по устойчивости к стеблевой ржавчине сортов и образцов коллекции в условиях Кении показало, что для линии Italy 510 характерна комплексная устойчивость к желтой (20MR) и стеблевой (0/immune) ржавчине (табл. 3). Иммунитет к стеблевой и средняя восприимчивость (MS) к желтой ржавчине отмечена у образца Italy 511. Иммунитет к стеблевой ржавчине в период вегетативного роста и среднюю восприимчивость/устойчивость (M) на стадии восковой спелости проявила селекционная линия 1816Д-5. Аналогичная реакция на стеблевую ржавчину в период вегетативного роста (иммунитет) отмечена у линии краснодарской селекции 133/5, которая слабо поразила (10R) на заключительном этапе вегетации – в период созревания зерна. Эти селекционные линии

(1816Д-5 и 133/5) были отобраны по адаптивности и устойчивости к стеблевой ржавчине в эпифитотийный в Среднем Поволжье 2016 г. Такую же реакцию (полный иммунитет) на инфицирование патогенами стеблевой ржавчины в период вегетативного роста проявили сорт Безенчукская 205 и образец из коллекции ВИР к-59874. Устойчивость и умеренную устойчивость (R, MR, RMR) к стеблевой ржавчине в этих условиях отмечали у сортов из Австралии – Huperno и Tammorei. Таким образом, генотипы Italy 510 и Italy 511 целесообразно использовать в селекции на устойчивость к желтой и стеблевой ржавчине, 1816Д-5, Huperno, Tammorei, 133/5, к-59874, Безенчукская 205 – на устойчивость к стеблевой ржавчине.

Как было указано ранее опора в селекции на базовые генотипы и коммерческие сорта приводит к сужению генетического разнообразия возделываемых сортов и увеличению вероятности дестабилизации урожая на больших сельскохозяйственных территориях. Результаты изучения в селекционных питомниках константных линий, полученных на основе межвидовых скрещиваний свидетельствуют, что они адаптированы к действию основных абиотических лимитирующих факторов среды в Среднем Поволжье, отличаются устойчивостью к болезням и урожайностью на уровне стандарта сорта Безенчукская 210 (табл. 4).

Линии 2119д-1(904), 2119д-2 (905), содержащие в геноме 75,0 % наследственности от образца к-10456 *Tr. dicoccum* Shuebl. и линия 1443д-1, в геноме которой 50,0 % наследственности от к-1946 *Tr. dicoccum* Shuebl. и 25,0 % наследственности от *Tr. aestivum* L. (сорт Тулайковская 5), используются в Самарском НИИСХ в качестве исходного материала в селекции на устойчивость к листовым пятнистостям и для расширения генетической основы, создаваемых сортов твердой

**Табл. 3. Результаты изучения коллекции твердой пшеницы Самарского НИИСХ на инфекционном фоне желтой ржавчины (YR) и стеблевой ржавчины (SR расы – TTKSK, TTKST, TTTSK, TTKTK, TTKTT) в условиях Кении (2018 г.)**

Генотип	Происхождение	Даты оценки в течение вегетации									
		19.09.		10.06.		28.08.		10.09.		18.10.	
		YR*	response	SR	response	SR	response	SR	response	SR	response
1816Д-5	Л1750/ 682Д-7// Л1752/ Л1750	40	MS	0	immune	0	immune	0	immune	5	M
Huperno	Australia	40	M	5	R	0	immune	5	R	10	M
Tammorei	Australia	30	M	5	RMR	1	MR	5	RMR	40	MSS
Italy 510	Italy	20	MR	0	immune	0	immune	0	immune	0	immune
Italy 511	Italy	35	MS	0	immune	0	immune	0	immune	0	immune
133/5 Krasnodar	Лилёк/Безенч. 205	35	MS	0	immune	0	immune	0	immune	10	R
к-29564 <i>Tr.dicoccum</i>	Коллекция ВИР	50	MS	30	M	5	MS	30	M	40	MSS
к-7353 <i>Tr.dicoccum</i>	Коллекция ВИР	50	MS	30	M	5	MS	30	M	40	MSS
к-59874 <i>Tr.durum</i>	Коллекция ВИР	40	M	0	immune	0	immune	0	immune	10	MS
Безенчукская 205	Валентина/ Гордеифор. 1434	40	MS	0	immune	0	immune	0	immune	20	M

\*YR – желтая ржавчина; SR – стеблевая ржавчина; response – реакция (ответ на внедрение патогена); R – устойчивая реакция с небольшими пятнами (HR); MR – умеренно устойчивая с крошечными пустулами, окруженными хлоротическими или некротическими галло; RMR – устойчивая реакция на инфекции (R и MR); MS – умеренно восприимчивая с пустулами среднего размера с хлоротическими пятнами; M (MR-MS) – промежуточная как MR, так и MS; MSS – умеренно восприимчивая; S – чувствительная с большими свободно прорезывающимися пустулами без хлороза.

**Табл. 4. Характеристика константных селекционных линий твёрдой пшеницы, полученных от межвидовых скрещиваний (2017–2020 гг.)**

Линия	Генеалогия	Доля других видов в генотипе, %	Урожайность					Поражение патогенами (R...S)	
			2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2017–2020 гг., % к St	<i>Puccinia graminis</i>	лиственные пятнистости
2021д-1	Л1753/694д-11	19,8	$\frac{4,20^*}{99,0}$	$\frac{1,21}{110,5}$	$\frac{1,96}{125,0}$	$\frac{3,20}{106,3}$	110,2	R/MR	R
2120д-1(857)	688д-7/к-10456//Б210	26,8	$\frac{5,26}{117,7}$	$\frac{2,00}{111,7}$	$\frac{2,11}{127,6}$	$\frac{2,34}{97,1}$	113,7	MR	R
2118д-1(903)	Безенчукская золотистая/к-10456//688д-2-2	37,5	$\frac{5,72}{115,0}$	$\frac{2,06}{94,2}$	$\frac{1,82}{97,9}$	$\frac{2,32}{92,2}$	99,8	MR	R
2119д-1(904)	688д-7/к-10456//к10456	75,0	$\frac{4,80}{95,0}$	$\frac{2,14}{97,8}$	$\frac{1,74}{93,3}$	$\frac{2,44}{97,1}$	95,8	R/MR	R
2119д-2(905)	688д-7/к-10456//к10456	75,0	$\frac{4,98}{98,6}$	$\frac{2,21}{101,0}$	$\frac{1,89}{94,3}$	$\frac{2,05}{81,7}$	93,9	R/MR	R
2121д-1(906)	688д-7/к-30091//Безенчукская210	26,8	$\frac{4,68}{97,5}$	$\frac{2,03}{92,9}$	$\frac{2,07}{103,4}$	$\frac{2,06}{81,8}$	93,9	MR/MS	R
1443д-1	682д-7/ к-1949	75,0	$\frac{4,32}{103,0}$	$\frac{0,82}{112,4}$	$\frac{1,34}{90,4}$	$\frac{2,50}{100,0}$	101,5	MR	R
1560д-35	646д-37/Марина	25,0	-	$\frac{1,13}{107,4}$	$\frac{1,88}{119,7}$	$\frac{1,97}{104,4}$	110,5	-	R

\*в числителе – в т/га, в знаменателе – в % к стандарту

пшеницы. Наиболее продуктивные генотипы 2021д-1 и 2120д-1, содержащие в своем геноме 19,8...26,8 % наследственности от образца к-9938 *Tr. dicoccum* Shuebl., помимо включения в гибридизацию, будут переданы в систему государственного сортоиспытания для оценки перспектив их коммерческого использования. Все линии переданы для изучения в ФГБНУ ФАНЦА и в ФНЦ Биологических систем и агробиотехнологий (Оренбургского НИИСХ).

Аналогичные результаты получены на основе внутривидовых отдаленных эколого-географических скрещиваний образцов *Triticum durum* Desf. (табл. 5).

Все линии, полученные от скрещивания с образцами из Австралии (2287ДТ-1, 2301д-4, 2301д-5, 2499д-1, 2499д-3), в геноме которых содержится от 25,0 до 50,0 % наследственности австралийских сортов в среднем по эксперименту (4 сортоиспытания

в Самаре, Оренбурге и Барнауле) были конкурентоспособны по урожайности со средним стандартом. Ценны в селекционном отношении линии 2499д-1 и 2499д-3, достоверно превысившие по урожайности стандарт в Оренбурге в условиях сильной почвенной засухи в 2020 г. Эти линии (2499д-1 и 2499д-3) могут содержать ген *Naх-2*, обеспечивающий устойчивость к высокой концентрации солей в почвенном растворе и почвенной засухе. Отзывчивость на благоприятные условия среды, сложившиеся в Барнауле в 2020 г. отмечена у линий 2287ДТ-1 и 2241Д-3, при урожайности 4,26 т/га они достоверно (на 0,26 т/га) превысили стандарт. Все выделенные линии (см. табл. 5), отличаются высокой устойчивостью к листовым пятнистостям, 2284ДТ-1, 2241Д-3, 2301Д-5, 2499Д-1 к мучнистой росе. Линия 2499Д-1 имеет отличные реологические свойства теста.

**Табл. 5. Урожайность константных селекционных линий, полученных индивидуальным отбором из популяций от отдаленных эколого-географических скрещиваний (Самарский НИИСХ, 2019–2020 гг.; Оренбургский НИИСХ и Алтайский НИИСХ, 2020 г.)**

Сорт, происхождение	Доля в геноме линии экологически удаленных генотипов, %	Урожайность*				Средняя
		Самарский НИИСХ		Оренбург	Барнаул	
		2019 г.	2020 г.	2020 г.	2020 г.	
2287ДТ-1 Саргогои/653д-44	50,0	$\frac{2,49^*}{112,3}$	$\frac{2,59}{90,9}$	$\frac{1,47}{97,5}$	$\frac{4,26}{106,6}$	$\frac{2,70}{101,8}$
2241Д-3 (BS-5/1466д-7//1307д-51)	25,0	$\frac{2,21}{99,5}$	$\frac{2,86}{100,2}$	$\frac{1,69}{111,7}$	$\frac{4,26}{111,6}$	$\frac{2,70}{105,8}$
2301д-4 Linie 5046 (Naх1)/1307д-51	50,0	$\frac{2,13}{96,0}$	$\frac{2,97}{104,1}$	$\frac{1,59}{105,4}$	$\frac{3,82}{95,5}$	$\frac{2,63}{100,3}$
2301д-5 Linie 5046 (Naх1)/1307д-51	50,0	$\frac{2,62}{118,0}$	$\frac{2,67}{93,8}$	$\frac{1,51}{100,0}$	$\frac{4,10}{102,6}$	$\frac{2,73}{103,6}$
2499д-1 Naх-2/Золотая//БН	25,0	$\frac{2,37}{106,8}$	$\frac{2,97}{104,1}$	$\frac{1,90}{125,9}$	$\frac{3,75}{93,8}$	$\frac{2,75}{107,7}$
2499д-3 Naх-2/Золотая//БН	25,0	$\frac{2,02}{91,1}$	$\frac{2,90}{101,9}$	$\frac{1,75}{115,6}$	$\frac{4,03}{100,8}$	$\frac{2,68}{102,4}$
Урожайность стандартов, т/га	-	2,22	2,85	1,51	4,00	$\frac{2,65}{100,0}$
$HCP_{0,05}$		0,18	0,22	0,14	0,25	

\*в числителе – в т/га, в знаменателе – в % к стандарту

Геномы всех линий, полученных как в межвидовых, так и во внутривидовых скрещиваниях имеют значительную долю (25,0...75,0 %) чужеродного, относительно средневожского генетического пула твердой пшеницы, наследственного материала. Учитывая, что по урожайности они не уступают стандартам, можно предположить наличие у этих образцов эффективных генетических систем адаптивности, отличающихся по аллельному составу от сформировавшихся коадаптированных блоков генов.

Созданный селекционный материал предполагает широко использовать в новых циклах гибридизации, некоторые из линий (2021д-1, 2120д-1, 2499д-1, 2499д-3), перспективны для передачи в систему государственного сортоиспытания с последующим коммерческим использованием.

Таким образом, по результатам эколого-географических испытаний в системе КАСИБ (экопункты Актюбе, Карабалык, Самара, Омск, Барнаул) в течение 10 лет из 121 сорта и линии, созданных в 8-и учреждениях России и Казахстана отобрано 15 генотипов по величине и стабильности урожайности, которые предложено использовать в качестве базовых в зависимости от их локальных преимуществ. В том числе для всех экопунктов рекомендованы линии 653Д-44, 688Д-4, Леукурум 1307Д-51, Леукурум 1506, Гордеиформе 1591Д-21 (оригинатор Самарский НИИСХ), Гордеиформе 677 (оригинатор Омский АНЦ), Гордеиформе 01-121-3 (оригинатор ФАНЦ Алтайский).

В эпифитотийные годы в экопункте Самара в коллекции и селекционном материале отобраны 41 источник и 22 донора устойчивости к фузариозной пятнистости, а также 15 источников устойчивости к стеблевой ржавчине. На инфекционном фоне в Кении идентифицированы 2 образца (Italy 510 и Italy 511) иммунных к сложной популяции стеблевой ржавчины и местной популяции желтой ржавчины и 6 форм (1816Д-5, Нуретно, Таммогой, 133/5, к-59874 и Безенчукская 205) устойчивых к стеблевой ржавчине с умеренным поражением в фазе восковой спелости зерна.

В результате многолетней селекционной работы на основе межвидовых и отдаленных эколого-географических скрещиваний создан и идентифицирован как продуктивный в условиях Среднего Поволжья селекционный материал, содержащий от 20,0 до 75,0 % наследственного материала других видов (8 линий) и отдаленных скрещиваний (6 линий). Его предполагается использовать в качестве исходного для расширения генетического разнообразия коммерческих сортов.

## Литература

1. Вавилов Н.И. *Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Пшеница. М.: Наука, 1964. 123 с.*
2. Мережко А.Ф. *Принципы поиска, создания и использования доноров ценных признаков в селекции растений // Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР, 2005. С.189–205.*
3. Жученко А.А. *Перспективы использования мировых растительных ресурсов в селекции растений // Генетические основы селекции: материалы Всеросс. школы молодых селекционеров им. С. А. Кунакбаева. Уфа: БашНИИСХ, 2008. С. 11–20.*
4. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. *Formation of gene associations that code for general homeostasis and performance components of durum wheat (Triticum durum Desf.) // Russian Journal of Genetics: Applied research. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 357–366. doi: 10.1134/S2079059716040146.*
5. *Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture / M. Thudi, R. Palakurthi, J. C. Schnable, et al. // Journal of Plant Physiology. 2021. Vol. 257. 153351. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161720302418?via%3Dihub> (дата обращения: 22.08.2021). doi: 10.1016/j.jplph.2020.153351*
6. *Harnessing Diversity in Wheat to Enhance Grain Yield, Climate Resilience, Disease and Insect Pest Resistance and Nutrition Through Conventional and Modern Breeding Approaches / S. Mondal, J.E. Rutkoski, G. Velu, et al. // Front. Plant Sci. 2016. Vol. 7. P. 991. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00991/full> (дата обращения: 24.08.2021). doi: 10.3389/fpls.2016.00991.*
7. *A Whole Genome DarT seqand SNP Analysis for Genetic Diversity Assessment in Durum Wheat from Central Fertile Crescent / F.S. Baloch, A. Alsaleh, M.Q. Shahid, et al. // PLoSONE. 2017. Vol. 1. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167821> (дата обращения: 13.08.2021). doi: 10.1371/journal.pone.0167821.*
8. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.*
9. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. *Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.*
10. Saari E.E., Prescott J.M. *A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // PlantDis. Rep. 1975. Vol. 59.P. 377–380*
11. Mc Intosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. *Wheat rust: an atlas of resistance genes. Australia: CSIRO, 1995. 205 p.*

Поступила в редакцию 21.08.2021

После доработки 17.09.2021

Принята к публикации 06.10.2021