

УДК 633.111.1:631.523.11:631.524.86:631.524.84

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНАМИ  
*AGROPYRON ELONGATUM*, УСТОЙЧИВЫХ К СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЕ****Плотникова Л.Я., Кузьмина С.П., Фризен Ю.В.***ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск,  
e-mail: lplotnikova2010@yandex.ru*

Актуальность работы связана с необходимостью создания сортов яровой мягкой пшеницы с зерном высокого качества за счет использования генетических ресурсов родственных видов злаков. Целью исследования было изучение интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами пырея удлиненного *Agropyron elongatum* (Host) Beauv по признакам урожайности, качества зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Материалом для исследований служил набор интрогрессивных линий пшеницы, созданный в Омском ГАУ. Исследования проводили в полевых условиях в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) по общепринятым методикам. После уборки определяли массу 1000 зерен и показатели качества зерна (содержание белка, сырой клейковины, натурную массу). Погодные условия в период исследований были контрастными: в 2017 г. длительное время стояла засуха при высоких температурах воздуха, а в 2018 г. выпадали регулярные обильные осадки при умеренных температурах. Лучшие интрогрессивные линии формировали стабильную урожайность, превышающую показатели стандартов в 1,2–2,5 раза (в среднем), а также имели высокие показатели массы 1000 зерен. Эти линии по содержанию в зерне белка (14,9–16,4%) и клейковины (29,5–33,6%) соответствовали сильной пшенице 1 и 2 класса, но в связи с формированием крупного зерна имели низкую натурную массу. В ходе исследований было отмечено преодоление устойчивости к стеблевой ржавчине ряда линий. После отбора были выделены линии, проявляющие иммунитет или высокую устойчивость к болезни (0–10MR) в Западной Сибири. По комплексу признаков (урожайности, качеству зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине) выделены семь линий, перспективных для создания сортов для Западной Сибири.

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, *Agropyron elongatum*, качество зерна, стеблевая ржавчина, Западная Сибирь**BIOCHEMICAL INDICATORS OF GRAIN QUALITY OF PROMISING MILD  
WHEAT LINES WITH GENES OF *AGROPYRON ELONGATUM*,  
RESISTANT TO STEM RUST****Plotnikova L.Ya., Kuzmina S.P., Fritzen Yu.V.***Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: lplotnikova2010@yandex.ru*

The relevance of the work is defined by the demand for breeding cultivars of spring mild wheat with high grain quality due to the use of resources of related species of cereals. The aim of this research was to investigate introgressive lines of spring mild wheat with genes of Wheatgrass *Agropyron elongatum* (Host) Beauv according to yield, grain quality and resistance against stem rust in forest-steppe zone of Western Siberia. Material for the study was a set of introgressive wheat lines, created within Omsk State Agrarian University (Omskyi SAU). The research was carried out in the field in the southern forest-steppe of Western Siberia. Omsk) by standard methods. After harvesting, mass of 1000 grains and grain quality (protein content, crude gluten, test weight) were determined. Weather conditions during the study period were contrasting: in 2017 there was a long drought at high temperatures, and in 2018 there was regular heavy rainfall at moderate temperatures. The best introgressive lines formed a stable yield, exceeding the standards by 1.2–2.5 times (on average), and also had a high mass of 1000 grains. These lines on the content of protein in grain (14.9–16.4%) and gluten (29.5–33.6%) corresponded to hard wheat of class 1 and 2, but in connection with formation of large kernel it had low test weight. In the research period, development of resistance against stem rust in a number of lines was noted. After selection, lines that showed immunity or high resistance to disease (0–10MR) in Western Siberia were determined. According to the complex of characteristics (yield, grain quality and resistance against stem rust), seven lines are identified as promising for breeding cultivars suitable for Western Siberia.

**Keywords:** mild wheat, *Agropyron elongatum*, grain quality, stem rust, Western Siberia

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – основная зерновая культура, массово возделываемая в регионах России. В последнее десятилетие производство зерна существенно возросло, однако, одновременно с ростом валовых сборов, сформировалась тенденция резкого снижения доли высококачественного зерна [1]. Качество зерна пшеницы определяется биохимическим составом, при этом от содержания и осо-

бенностей запасных белков зависит продовольственная ценность его партий [2]. На качество зерна пшеницы влияют многие факторы: генотип, почвенные и погодные условия, технологии производства, развитие болезней [3, 4].

На юге Западной Сибири и в Северном Казахстане располагаются массовые посевы пшеницы, составляющие «пшеничный пояс». Агроклиматические условия этих

регионов (черноземные почвы, большое число солнечных дней и температурный режим) позволяют получать зерно высокого качества [3]. Однако резкие колебания погодных условий и поражение болезнями приводят к большим потерям урожая и снижению качества продукции. В последние годы в Западной Сибири усиливается вредоносность стеблевой ржавчины, вызываемой патогенным грибом *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Erikss. et Henn. [5, 6].

Для повышения сборов качественного зерна необходимо возделывать сорта устойчивые к абиотическим и биотическим факторам. Проверенным способом улучшения свойств пшеницы является введение в сорта полезных генов родственных видов. Многие виды рода *Agropyron* Gaertn. проявляют резистентность к стрессовым факторам среды (засухе, экстремальным температурам и др.), болезням, а также имеют высокое содержание в зерне белка и клейковины [2, 7]. В качестве источника генов преимущественно используют два вида – пырей промежуточный *Ag. intermedium* (Host) Beauv (= *Th. intermedium* (Host) Barkworth et D.R. Dewey) и пырей удлиненный *Agropyron elongatum* (Host) Beauv (= *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth et D.R. Dewey) [7, 8]. В Омском ГАУ проводится работа по созданию и улучшению интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами *Ag. elongatum* [9, 10].

Цель исследования: изучение набора интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами *Ag. elongatum* по признакам урожайности, качества зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине в условиях лесостепной зоны юга Западной Сибири.

#### Материалы и методы исследования

Материалом для исследований служили интрогрессивные линии (350 шт.) яровой мягкой пшеницы с генами пырея удлиненного *Agropyron elongatum* (Host) Beauv, созданные в Омском государственном аграрном университете им. П.А. Столыпина (Омский ГАУ). Дополнительно в исследовании были включены образцы BT-SR24-AG (PI-520490), LC-SR25-ARS (PI-520494) и TAF-2 с известными генами устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr24*, *Sr25* и *Sr44* соответственно. В качестве стандартов были использованы сорта мягкой пшеницы: Памяти Азиева – среднеранний, Дуэт – среднеспелый, Серебристая и Элемент 22 (с 2018 г.) – среднепоздние. Исследования проводили в полевых условиях в южной лесостепи За-

падной Сибири (г. Омск) в 2017–2018 гг. Посев осуществляли по пару в третьей декаде мая на делянках площадью 2 м<sup>2</sup>. Фенологические наблюдения проводили по общепринятым методикам. Развитие стеблевой ржавчины оценивали по методике, принятой в Международном центре CIMMYT – в процентах и по шкале (0 – без симптомов, иммунитет; R – мелкие хлорозные пятна без пустул, устойчивость; MR – мелкие пустулы с хлорозными зонами, средняя устойчивость; MS – мелкие пустулы занимают до 50% площади листьев, средняя восприимчивость; S – крупные пустулы занимают более 50% площади листьев, высокая восприимчивость) [11]. После уборки была определена урожайность образцов и масса 1000 зерен. Содержание белка и сырой клейковины (в%) определяли на приборе ИнфраЛЮМ ФТ-10.

#### Результаты исследования и их обсуждение

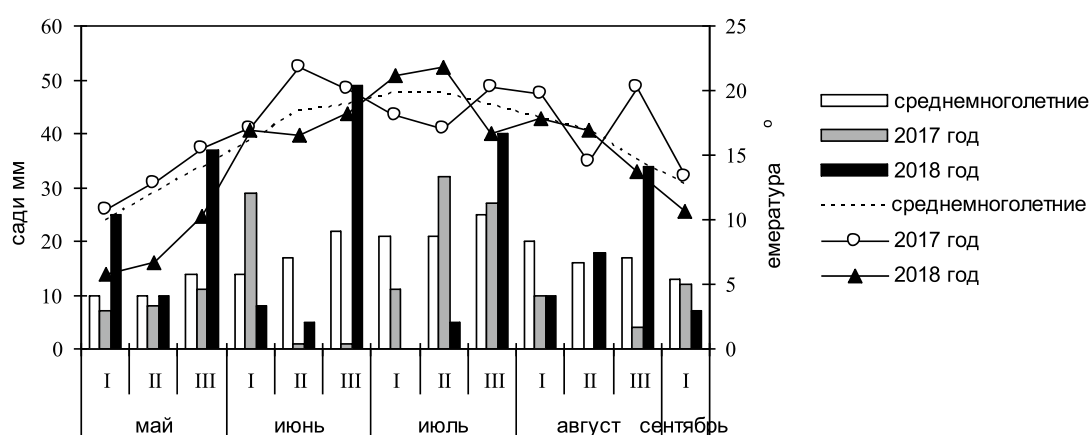
*Ag. elongatum* является ценным источником полезных генов, однако интрогрессия его генов в *T. aestivum* крайне сложна, поскольку виды различаются плоидностью и набором геномов ( $2n = 10x = 70$ , *StStEeE-bEx* и  $2n = 6x = 42$ , *BAD* соответственно). В геноме пшеницы перенесен ограниченный набор генов устойчивости к стеблевой ржавчине от *Ag. elongatum*: *Sr24*, *Sr25* и *Sr43*, а *Sr44* был интрогрессирован из *Ag. intermedium* [12]. В результате длительной селекционной работы в Омском ГАУ был создан набор интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, адаптированных к возделыванию на юге Западной Сибири. На первом этапе работы был получен межвидовой гибрид *T. durum* × *A. elongatum*, его скрестили с сортом мягкой пшеницы Пиротрикс 28 и получили пшенично-пырейные гибриды (ППГ). После семи циклов самоопыления были получены яровые ППГ, которые включили в программу возвратных скрещиваний с восприимчивыми к бурой и стеблевой ржавчине (поражение до 100%) сортами западносибирской селекции (Нива 2, Чернява 13, Голубковская) [5, 10]. Однако часть линий уступала по урожайности районированным сортам, а другие потеряли устойчивость к болезням в период исследований. Представленные в статье новые интрогрессивные линии были созданы с помощью шести-семи беккроссов и трех-четырех самоопылений, сопровождавшихся негативным отбором восприимчивых растений.

Климат Западной Сибири континентального типа, для него характерны резкие колебания погодных условий. Поэтому сельскохозяйственные районы относятся к зонам рискованного земледелия. Погодные условия в период исследований также значительно различались. В 2017 г. наблюдался большой недостаток осадков (в сравнении со средними многолетними) в течение большей части сезона (рисунок). Кроме того, высокая температура воздуха отмечена в июне, июле и августе, когда растения проходили фазы кущения, цветения и налива зерна, что привело к снижению урожайности. В 2018 г., наоборот, в течение сезона проходили нерегулярные, но интенсивные осадки на фоне пониженных или близких к средним температур. В 2018 г. сложились условия для формирования более высокой урожайности, чем в 2017 г. Для получения гарантированных урожаев в контрастных погодных условиях необходимы экологически пластичные сорта, способные поддерживать высокую урожайность и качество зерна в неблагоприятных условиях [13].

В регионе наиболее благоприятные условия для формирования зерна высокого качества складываются во второй половине августа во время созревания среднеранних и среднеспелых сортов. В связи с этим особое внимание было уделено созданию линий с сокращенным вегетационным периодом. В 2017–2018 гг. погодные условия способствовали синхронизации развития растений, поэтому вегетационный период сортов-стандартов был близок: Памяти

Азиева – 78 сут., Дуэт – 82 сут., Серебристая – 87 сут. (в среднем).

В 2017 г. в условиях длительной засухи и высоких температур более 30% интрогрессивных линий разных групп спелости были близки по урожайности к адаптированным к лесостепной зоне сортам, а лучшие значительно превышали их (табл. 1). В более благоприятном 2018 г. лучшие линии значительно превосходили стандарты по урожайности (в 1,2–2,5), включая новый сорт Элемент 22. Расчет коэффициентов корреляции между урожайностью и массой 1000 зерен показал достоверную положительную взаимосвязь ( $r = 0,68^*$ ) в 2017 г., но меньшую ( $r = 0,49^*$ ) в 2018 г. (\* – достоверно при  $P_{05}$ ). Вероятно, это объясняется тем, что в стрессовых условиях 2017 г. было нарушено формирование продуктивных стеблей и элементов колоса, поэтому урожайность в значительной степени сформировалась за счет налива зерна. В 2018 г. более благоприятные условия способствовали развитию комплекса элементов продуктивности. По данным за 2017–2018 гг. наиболее стабильную высокую урожайность показали линии № 4/2015, 31/2015, 375/2015, 37/2015. В эти годы все перечисленные линии по массе 1000 зерен существенно превосходили сорта-стандарты. Ранее полученные интрогрессивные линии также проявляли высокую экологическую пластичность в сочетании со стабильностью в неблагоприятных условиях, что подтверждает перспективность использования *Ag. elongatum* в селекции сортов для зон рискованного земледелия [13].



Среднедекадные показатели осадков и температуры воздуха в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) в период вегетации пшеницы, 2017–2018 гг.

Таблица 1

Показатели урожайности, массы 1000 зерен и поражения стеблевой ржавчиной интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, 2017–2018 гг.

Сорт, линия	Урожайность, т/га			Масса 1000 зерен, г			Поражение, %, реакция	
	2017	2018	средняя	2017	2018	средняя	2017	2018
Среднеранние								
Памяти Азиева – стандарт	2,81	3,81	3,31	35,7	35,3	35,5	70S	100S
4/2015	4,38	5,88	5,09	51,3	45,6	48,5	10S	5MR
31/2015	4,44	5,40	4,92	52,0	44,6	48,3	0R	0R
321/2017	3,61	6,15	4,88	52,7	46,7	49,9	5S	100S
Среднеспелые								
Дуэт – стандарт	3,66	5,02	4,34	34,5	43,8	39,2	60S	80S
375/2015	4,22	7,10	5,66	46,1	54,9	50,5	10S	100S
352/2017	3,38	6,16	4,77	42,7	45,5	44,1	5S	100S
322/2017	3,78	7,06	5,42	52,9	48,8	50,9	5S	5S
337/2017	3,88	5,03	4,44	51,6	49,7	50,7	5S	10S
Среднепоздние								
Серебристая – стандарт	2,23	3,01	2,62	39,1	36,8	38,0	70S	100S
Элемент 22 – стандарт	–	4,38	4,38	–	45,3	45,3	–	5MR
37/2015	3,51	6,57	5,04	48,1	54,2	51,2	0	0
314/2017	2,90	7,64	5,27	56,3	46,2	51,3	10S	5MR
351/2017	3,31	6,71	5,01	44,4	56,6	50,5	0	0R
354/2017	3,37	6,53	4,95	44,5	50,6	47,6	5S	60S
HCP <sub>05</sub>	0,31	0,45	–	2,6	2,4	–	–	–

Стеблевая ржавчина – одно из наиболее вредоносных заболеваний пшеницы, способное в условиях эпифитотии вызывать потери до 70% урожая и резко снижать качество зерна [6]. Этот вид ржавчины в Западной Сибири вплоть до 2014 г. проявлялся редко и не наносил значимого ущерба. Впервые существенное поражение пшеницы в Омской области отмечено в 2014 г., а уже в 2015 г. зарегистрирована вспышка болезни, приведшая к потерям урожая во всем «пшеничном поясе» [5, 6]. Позже стеблевая ржавчина развивалась на посевах ежегодно.

В 2017 и 2018 гг. поражение сортов-стандартов Памяти Азиева, Дуэт, Серебристая достигало 70–100S, а Элемент был устойчив (табл. 1). В течение последних пяти лет было отмечено усиление поражения стеблевой ржавчиной созданного нами набора интрогрессивных линий с генами *Ag. elongatum*. В 2014 г. основная часть линий (85%) проявляла иммунитет или высокую устойчивость, а в 2018 г. доля высокоустойчивых снизилась до 35%, а восприимчивых (поражение 40–100S) возросла до 60%. В 2018 г. образцы с известными генами устойчивости – BTR24AG (*Sr24*) и LC-SR25-ARS (*Sr25*), TAF-2 (*Sr44*) были восприимчивы к сибирской популяции *P. graminis* f. sp. *tritici* (50S, 60S и 80S соответственно).

На интенсивном фоне болезни в 2015–2016 гг. нами был сделан отбор новых устойчивых линий. Часть выделенных линий потеряла резистентность в 2018 г., но иммунитет или высокую устойчивость (поражение не более 5–10%) сохранили № 31/2015, 37/2015, 351/2017, 4/2015, 322/2017, 337/2017, 314/2017. Можно предполагать, что эти линии защищены геном *Sr43* либо неизвестными генами. В России основные работы направлены на перенос в пшеницу генов гексаплоидного вида *Ag. intermedium*. В НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов) и Самарском НИИСХ достигнуты большие успехи в создании сортов с использованием замещенных хромосом от *Ae. intermedium* – 6D(6Ag<sup>1</sup>) и 6D(6Ag<sup>2</sup>), а также транслокации с известными генами *Lr19/Sr25* [9]. Наши результаты представляют интерес для селекции, поскольку набор известных генов, перенесенных из *Ag. elongatum*, невелик.

В наших экспериментах высокую среднюю урожайность за два года показали устойчивые линии № 4/2015, 31/2015, 322/2017, 37/2015, 314/2017, 351/2017. Между урожайностью и степенью поражения интрогрессивных линий установлена отрицательная взаимосвязь в засушливом 2017 г. ( $r = -0,31^*$ ). Однако в 2018 г. сравнимую и даже большую урожайность по срав-

нению с перечисленными имели ставшие восприимчивыми линии № 321/2017, 375/2015 и 354/2017. В 2018 г. отрицательная связь между урожайностью и поражением ржавчиной не доказана ( $r = -0,15$ ). Возможно, этот результат объясним тем, что массовое развитие болезни произошло достаточно поздно, поэтому снижение урожайности оказалось невысоким. Не исключено также, что в благоприятных погодных условиях 2018 г. проявились компенсаторные механизмы, приведшие к поддержанию урожайности линий. В условиях усиления вредоносности стеблевой ржавчины различные способы защиты растений представляют интерес для сохранения урожая.

Качество зерна пшеницы определяется содержанием и химическими особенностями белков [2]. Наибольшую ценность представляет сильная пшеница 1 и 2 классов, из нее получают хлеб высшего качества и макаронные изделия, а мука может быть использована для улучшения качества муки низкого класса. Пшеница 3 класса отнесена к ценной, она может быть использована для выпечки хлеба стандартного качества, но не пригодна в качестве улучшителя муки. Основными показателями для первичной оценки партий зерна являются: содержание белка и сырой клейковины, натурная масса (натура) и стекловидность. Согласно Государственному стандарту Р 52554-

2006 в зерне сильной пшеницы 1-го класса содержание белка в сухом веществе и сырой клейковины должно составлять 14,5% и 32%, 2-го класса – 13,5 и 28%, 3-го класса – 12,0 и 23,0% соответственно. Натурная масса зерна сильной пшеницы 1 и 2 класса должна составлять не менее 750 г/л, а ценной пшеницы – 730 г/л.

Среди включенных в наши исследования сортов сорт Памяти Азиева отнесен к сильным, а остальные – к ценным пшеницам. В период исследований сорт Памяти Азиева в целом соответствовал сильной пшенице 1 или 2 класса, но в 2018 г. снизился показатель натурной массы из-за формирования крупного зерна (табл. 2). Дуэт и Элемент 22 по содержанию белка соответствовали 1-му, по клейковине – 2-му классу, но имели низкую натуру зерна. Все интрогрессивные линии (кроме № 351/2017 в 2018 г.) сформировали высокобелковое зерно (в среднем 14,9–16,4%) в двух контрастных по условиям сезонах. Две линии № 352/2017 и 37/2015 по комплексу показателей (содержанию белка, клейковины, натуре) в течение двух лет в основном соответствовали 1 классу, а также превышали стандарты по урожайности. Остальные линии по содержанию клейковины превосходили стандарты, но в связи с формированием крупного зерна не соответствовали требованиям по натуре 3 классу.

Таблица 2

Показатели качества зерна интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, 2017–2018 гг.

Сорт, линия	Белок, %			Сырая клейковина, %			Натура зерна, г/л		
	2017	2018	среднее	2017	2018	среднее	2017	2018	среднее
Памяти Азиева – стандарт	14,8	15,8	15,3	30,7	32,0	31,4	820	725	773
4/2015	15,6	15,6	15,6	31,1	32,1	31,6	663	680	672
31/2015	15,0	14,7	14,9	29,1	30,0	29,6	540	777	658
321/2017	15,4	16,2	15,8	32,9	30,1	31,5	803	700	752
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,3	–	0,4	0,5	–	17	23	–
Дуэт – стандарт	15,4	14,8	15,1	30,6	29,3	29,8	663	500	582
375/2015	15,3	14,8	15,1	29,7	29,0	29,4	603	710	657
352/2017	16,1	16,7	16,4	32,0	33,9	33,0	714	746	730
322/2017	16,1	15,7	15,9	31,8	31,7	31,8	612	655	634
337/2017	15,6	15,0	15,3	31,6	30,7	31,2	715	688	702
НСР <sub>05</sub>	0,4	0,5	–	0,7	0,5	–	18	21	–
Серебристая – стандарт	13,3	12,8	13,1	26,8	26,2	26,5	736	600	668
Элемент 22 – стандарт	–	15,5	15,5	–	28,9	28,9	–	700	700
37/2015	16,2	16,5	16,4	32,3	34,9	33,6	789	671	730
314/2017	15,5	15,2	15,4	30,4	30,3	30,4	458	706	582
351/2017	15,6	14,3	15,0	30,3	28,2	29,5	642	650	646
354/2017	15,8	14,9	15,4	31,1	30,0	30,6	530	620	575
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,4	–	0,5	0,6	–	19	224	–

Как правило, наблюдается отрицательная взаимосвязь между содержанием белка в зерне с показателями урожайности и массы 1000 зерен [2, 3]. Однако у дикорастущей пшеницы *T. dicoccoides* выявлен *Gpc-B1*, который при переносе в мягкую пшеницу обеспечивал высокое содержание белка в зерне при незначительном влиянии на урожайность [1]. Предполагается, что у *Ag. elongatum* и *Ag. intermedium* существуют гены ортологичные *Gpc-B1*, которые позволяют создать высокобелковые формы пшеницы. Кроме того, установлена положительная взаимосвязь между устойчивостью к ржавчинным болезням и содержанием белка в зерне [2]. Выделенные нами линии поддерживали стабильное высокое содержание белка на фоне поражения стеблевой ржавчиной как в засушливом 2017 г., так и в благоприятном для формирования высокой урожайности 2018 г. В группе лучших линий в 2017 г. коэффициенты корреляции между урожайностью, а также содержанием белка или клейковины составили  $r = -0,43^*$  и  $r = -0,39^*$  соответственно, а в 2018 г. –  $r = -0,33^*$  и  $r = -0,28$  соответственно. Это указывает на то, что у интрогрессивных линий пшеницы отрицательная взаимосвязь между урожайностью и содержанием белка проявлялась в средней или слабой степени.

### Заключение

Изучение вновь созданного селекционного материала яровой мягкой пшеницы с генами *Ag. elongatum* показало, что лучшие линии имеют сокращенный вегетационный период и способны формировать более высокую (в 1,2–2,5 раза) и стабильную урожайность, чем адаптированные к зоне сорта-стандарты в контрастных погодных условиях. В 2014–2018 гг. отмечено преодоление устойчивости к стеблевой ржавчине части интрогрессивных линий, а также поражение образцов с известными генами *Sr24*, *Sr25*, *Sr44*. При этом набор линий (№ 31/2015, 37/2015, 314/2017, 322/2017, 337/2017, 351/2017) сохранил иммунитет или высокую устойчивость к болезни, вероятно, за счет присутствия неизвестных генов. Лучшие интрогрессивные линии по содержанию в зерне белка (14,9–16,4%) и клейковины (29,5–33,6%) соответствовали сильной пшенице 1 и 2 класса, но в связи с формированием крупного зерна натура была низкой. По комплексу признаков (урожайности, качеству зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине) выделились семь линий (№ 4/2015, 31/2015, 37/2015, 314/2017,

322/2017, 337/2017, 351/2017), которые представляют интерес для создания сортов яровой мягкой пшеницы, адаптированных к условиям Западной Сибири.

### Список литературы / References

1. Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отмахова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно – мука – хлеб» // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 4. С. 511–527. DOI 10.18699/VJ15.140.
2. Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Usenko N.I., Otmakhova Yu.S. Prospective applications of molecular genetic approaches to control technological properties of wheat grain in the context of the «grain – flour – bread» chain // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii. 2016. vol. 20. № 4. P. 511–527. DOI 10.18699/VJ15.140 (in Russian).
3. Крупнов В.А., Крупнова О.В. Генетическая архитектура содержания белка в зерне пшеницы // Генетика. 2012. Т. 48. № 2. С. 149–159.
4. Krupnov V.A., Krupnova O.V. Genetic architecture of grain protein content in wheat. Russian Journal of Genetics. 2012. vol. 48. no. 2. P. 129–138. DOI: 10.1134/S1022795412010139.
5. Вдовина Т.В., Колмаков Ю.В., Поползухин П.В., Белан И.А. Качество зерна пшеницы разных сроков посева в южной лесостепи Омской области // Известия Оренбургского ГАУ. 2013. № 5 (43). С. 52–54.
6. Vdovina T.V., Kolmakov Yu.V., Popolzuhin P.V., Belan I.A. Grain quality of wheat in different date of sowing in the Southern forest-steppe of Omsk region // Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2013. № 5 (43). P. 52–54 (in Russian).
7. Санин С.С., Жохова Т.П. Влияние болезней и средств защиты растений на качество зерна пшеницы // Защита и карантин растений. 2012. № 11. С. 16–19.
8. Sanin S.S., Zhohova T. P. Influence of diseases and plant protection agents on the quality of wheat grain // Plant protection and quarantine. 2012. № 11. P. 16–19 (in Russian).
9. Плотникова Л.Я., Айдосова А.Т., Рыспекова А.Н., Мясников А.Ю. Интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генами пырея удлиненного *Agropyron elongatum* устойчивые к листовым болезням на юге Западной Сибири // Вестник ОмГАУ. 2014. № 4 (16). С. 3–7.
10. Plotnikova L.Y., Aidosova A.T., Rispekova A.N., Myasnikov A.Yu. Introgressive lines of common wheat with genes of Wheatgrass *Agropyron elongatum* resistant to leaf diseases in the South West Siberia // Vestnik OmGAU. 2014. № 4 (16). P. 3–7 (in Russian).
11. Shamanin V.P., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Yu., Olivera P., Morgunov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99. Euphytica. 2016. no 212. P. 287–296. DOI: 10.1007/s10681-016-1769-0.
12. Salina E.F., Adonina I.G., Badaeva E.D., Krupin P.Y., Stasyuk A.I., Leonova I.N., Shishkina A.A., Divashuk M.G., Starikova E.V. A *Thinopyrum intermedium* chromosome in bread wheat cultivars as a source of genes conferring resistance to fungal diseases. Euphytica. 2015. vol. 204. P. 91–101. DOI: 10.1007/s10681-014-1344-5.
13. Сибикеев С.Н., Бадаева Е.Д., Гульяева Е.И., Дружин А.Е., Шишкина А.А., Драгович А.Ю., Крупин П.Ю., Карлов Г.И., Кхуат Т.М., Дивашук М.Г. Сравнительный анализ 6AG1 и 6AG2 хромосом *Agropyron intermedium* (Host) Beauv у сортов и линий мягкой пшеницы с пшенично-пырейными замещениями // Генетика. 2017. Т. 53. № 3. С. 298–309. DOI: 10.7868/S0016675817030110.
14. Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Badaeva E.D., Shishkina A.A., Dragovich A.Y., Gulyaeva E.I., Krupin P.Y., Karlov G.I., Khuat T.M., Divashuk M.G. Comparative analysis of *Agropyron intermedium* (Host) Beauv 6AG<sup>1</sup> and 6AG<sup>2</sup> chromosomes in bread wheat cultivars and lines with Wheat-Wheatgrass

substitutions. Russian Journal of Genetics. 2017. vol. 53. no. 3. P. 314–324. DOI: 10.1134/S1022795417030115.

9. Плотникова Л.Я., Серюков Г.М., Шварц Ю.К. Цитофизиологические механизмы устойчивости к бурой ржавчине у пшенично-пырейных гибридов, созданных на основе *Agropyron elongatum* // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 5. С. 443–454.

Plotnikova L.Ya., Seryukov G.M., Shvarts Yu.K. Cytophysiological resistance mechanisms to leaf rust in Wheat-Agropyron hybrids created on the base of *Agropyron elongatum* // Mikologiya i fitopatologiya. 2011. vol. 45. no. 5. P. 443–454 (in Russian).

10. Плотникова Л.Я., Кузьмина С.П., Айдосова А.Т., Дегтярев А.И. Изменение агрономических свойств пшенично-пырейных гибридов при создании доноров для селекции пшеницы, адаптированных к условиям лесостепной зоны Западной Сибири // Омский научный вестник. 2014. № 2 (134). С. 155–159.

Plotnikova L.Ya., Kuzmina S.P., Aidosova A.T., Degtyarev A.I. Changing agronomic characters of Wheat-Agropyron elongatum hybrids when creating donors for wheat breeding

adapted to forest-steppe zone of West Siberia // Омский научный вестник. 2014. № 2 (134). P. 155–159 (in Russian).

11. Койшыбаев М., Шаманин В.П., Моргунов А.И. Скрининг пшеницы на устойчивость к основным болезням: Методические указания. Анкара, 2014. 59 с.

Koishybayev M., Shamanin V.P., Morgunov A.I. Screening wheat for resistance to the main diseases: Guidelines. Ankara, 2014. 59 p. (in Russian).

12. McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J. Catalogue of gene symbols for wheat. [Electronic resource]. URL: <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/> (date of access: 10.10.2019).

13. Плотникова Л.Я., Сагендыкова А.Т., Кузьмина С.П. Оценка экологической пластичности и устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генами *Agropyron elongatum* // Аграрная Россия. 2016. № 9. С. 5–13. DOI: 10.30906/1999-5636-2016-9-5-13.

Plotnikova L.Ya., Sagendykova A.T., Kuzmina S.P. Estimation of resistance to the leaf rust and ecological plasticity of introgressive lines of common wheat with *Agropyron elongatum* genes // Agrarnaya Rossia. 2016. № 9. P. 5–13 (in Russian).