

В. А. Филобок, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;

Е. А. Гуенкова, научный сотрудник;

Л. А. Беспалова, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом;

*ФГБНУ Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
им. П. П. Лукьяненко
(350012, Краснодарский край, г. Краснодар, Центральная Усадьба
КНИИСХ, wheatdep@mail.ru)*

В.А. Кошкин, доктор биологических наук, главный научный сотрудник;

Е.К. Потокина, доктор биологических наук, заведующая лабораторией;
*ФГБНУ Всероссийский научно исследовательский институт растениеводства
имени Н.И.Вавилова
(190000, Санкт-Петербург, ул.Морская, д.42-44; koshkin-va@mail.ru)*

СОЗДАНИЕ АДАПТИРОВАННОГО ГЕНОФОНДА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Сельскохозяйственные культуры двуручки имеют преимущества перед озимыми и яровыми благодаря генетически обусловленной повышенной пластичности и адаптивности, что делает их востребованными в производстве страховых культурами. Первый сорт - двуручка Ласточка, районированный в 2005 году, имел недостаточно высокую зимо-морозостойкость и в суровые зимы мог подмерзать. Сорт Афина более морозостойкий, высокобелковый, устойчив к фузариозу колоса, районирован в 2009 году. Зимо-морозостойкость сорта Паллада ещё более приближена к среднеморозостойкому сорту Безостая 1. Кроме того, сорт Паллада имеет жёлтую окраску мякиша хлеба, обусловленную геном Y, является носителем гена устойчивости к бурой ржавчине Lr 19, тесно сцепленного с геном устойчивости к стеблевой ржавчине Sr 25, эффективного против расы Ug 99, переданного от Ag. elongatum. Дальнейшее совершенствование разработанной нами технологии селекционного процесса сортов альтернативного образа жизни, включающей многократный искусственный отбор на фоне естественного отбора при переменном воздействии факторов, формирующих системы адаптивности генотипов озимого, ярового и факультативного образа жизни, привело к созданию сорта Анка. Сорт Анка создан методом экологической селекции. Исходная линия сорта Анка при изучении в питомниках проверки отзывчивости на длину дня (фоточувствительности) и потребности в яровизации в естественных условиях в КНИИСХ (г. Краснодар) проявила себя как надёжная истинная двуручка, т.е. стабильно выколашивалась при посеве весной (за пределами наличия яровизирующих температур) и стабильно надёжно перезимовывала

(на уровне озимой пшеницы Безостая 1) при искусственном промораживании в ящиках в морозильных камерах и тестировании зимо-морозостойкости на стеллажах. Изучение данной линии в ВНИИР им. Н.И.Вавилова (г.С.-Петербург) подтвердило её слабую чувствительность к яровизации и высокую чувствительность к фотопериоду. Молекулярное тестирование аллелей генов Vrn и Ppd, выявило у неё наличие рецессивного аллеля гена Ppd-D1, определяющего высокую фоточувствительность, присутствие рецессивных аллелей генов Vrn-A1, Vrn-B1 и доминантного аллеля гена Vrn-D1, снижающих потребность в яровизации. Сорт Анка среднерослый, среднеспелый, жаростойкий, засухоустойчивый. По зерновой продуктивности имеет преимущество перед стандартами. Стабильно высокое содержание белка (до 18,5%) и клейковины (до 35%) обеспечивают высокую питательность хлеба, приготовленного из муки этого сорта.

Ключевые слова: пшеница мягкая, двуручки, фотопериод, яровизация, гены Vrn и Ppd, урожайность, качество.

V.A. Filobok, Candidate of Agricultural Sciences, leading research officer;

E.A. Guenkova, research officer;

L.A. Bespalova, academician of RAS, Doctor of Agricultural Sciences, head of the department

FSBSI "Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P.P. Lukiyanenko"
(350012 Krasnodar Area, Central Estate of KRIA; email: wheatdep@mail.ru)

V.A. Koshkin, Doctor of Biological Sciences, chief research officer;

E.K. Potokina, Doctor of Biological Sciences, head of the laboratory

FSBSI All-Russian Research Institute of Plant-growing named after N.I. Vavilov
(190000 St. Petersburg, Morskaya Str., 42-44; koshkin-va@mail.ru)

DEVELOPMENT OF THE ADAPTED GENE POOL FOR ALTERNATIVE WAY OF LIVING OF SOFT WHEAT

The agricultural crops of dvuruchki (spring-winter wheat) possess advantages among winter and spring wheat due to genetically substantiated high adaptability that makes them the most popular crops in the production. The first variety of dvuruchka 'Lastochka', developed in 2005, possessed insufficient winter-frost tolerance and could freeze during hard winters. The variety 'Afina', developed in 2009, is more frost resistant, with high content of protein and tolerant to fusariosis. Winter-frost resistance of the variety 'Pallada' is nearly the same as of the middle frost resistant variety 'Bezostaya 1'. Besides, the variety 'Pallada' with a yellowish bread crumb due to the gene Y, is a carrier of the gene of leaf rust resistance Lr 19, closely connected with the gene of stem rust Sr 25, efficient against Ug 99, received from *Ag. elongatum*. When we improved the developed technology of the breeding process of the varieties with alternative way of living, made multiple artificial selections together with a natural selection under changeable effect of the factors which

form the systems of adaptability of winter, spring and facultative ways of living, we created the variety 'Anka'. The variety 'Anka' has been developed with the method of ecologic selection. Examining the responsiveness to day length (photosensitivity) and the demands in vernalization in KRIA (Krasnodar) the initial line of the variety 'Anka' showed itself as a reliable natural *dvuruchka*, i.e. it permanently produced heads at spring sowing and overwintered well (as the winter wheat variety 'Bezostaya 1') being artificially frozen in the fridge boxes and then tested on winter-frost tolerance on the shelves. The study of the line in ARRIR named after N.I. Vavilov (St.Petersburg) confirmed its weak sensitivity to vernalization and high sensitivity to photoperiod. Molecular testing of the alleles of the genes *Vrn* and *Ppd* showed the presence of the recessive allele of the gene *Ppd-D1* responsible for high photosensitivity and found recessive alleles of the genes *Vrn-A1*, *Vrn-B1* and a dominant allele of the gene *Vrn-D1* responsible for reducing the need of vernalization. The variety 'Anka' is of middle-height, middle-maturing, heat tolerant and drought resistant. According to its grain productivity it possesses advantages before the standard varieties. High content of protein (up to 18,5%) and gluten (up to 35%) gives high nutrition of bread, made from flour of the variety.

Keywords: *soft wheat, photo period, vernalization, genes Vrn and Ppd, productivity, quality, dvuruchki (spring-winter wheat), property.*

Введение. Стабильное обеспечение страны достаточным количеством зерна – одно из главных условий гарантии продовольственной безопасности России. Немаловажное значение при этом имеет увеличение производства пшеничного зерна, ведущее место в котором занимает озимая пшеница. Однако в годы с неблагоприятными условиями осеннего сева и зимовки площадь зернового клина сокращается. Компенсировать потери производства продовольственного зерна возможно за счет расширения посевов *двуручек* и яровых культур.

Сельскохозяйственные культуры - *двуручки*, в частности зерновые, имеют преимущества перед озимыми и яровыми благодаря генетически обусловленной повышенной пластичности и адаптивности, что делает их востребованными в производстве страховых культурами. Пшеницы, тритикале и ячмени - *двуручки* незаменимы в районах, где приходится маневрировать сроками посева из-за сухости почвы осенью, т.к. они меньше чем озимые снижают урожайность при позднем посеве, не уступая последним по зимостойкости, что очень актуально в связи с изменениями климата [1].

В селекционной практике *двуручки* – ценный исходный материал для получения высокопродуктивных перспективных как озимых, так и яровых сортов.

Биологическое свойство «двуручности» филогенетически столь же давнее как озимость и яровость. Несмотря на довольно широкое общебиологическое и физиологическое изучение двуручек среди исследователей существовали разные мнения об их природе: то ли это зимостойкие яровые растения, то ли наследственно озимые с короткой стадией яровизации. Но большинство считает двуручки, наряду с озимыми и яровыми, самостоятельной биологической группой растений, проявляющей специфическую фотопериодическую и яровизационную отзывчивость на условия внешней среды [2,3].

Тип развития растений является приспособительной возможностью пшеницы к условиям окружающей среды. Озимые, яровые и двуручки отличаются друг от друга, прежде всего, различной длиной периода от всходов до выхода в трубку и колошения. Известно, что продолжительность этого периода находится в прямой связи с чувствительностью к яровизации и фотопериоду и контролируется системой генов *Vrn 1-3(5)* и *Ppd 1-3*. Взаимодействия этих двух генетических систем, имеющих как доминантные, так и рецессивные аллели генов, позволяют получать огромное количество комбинаций, генетически обуславливающих различия генотипов по образу жизни, уровню зимостойкости, скорости развития и т.п. С одной стороны это способствует выделению ценных генотипов, а с другой, – значительно усложняет селекционную работу. Двуручки как бы объединяют свойства озимых и яровых форм. Основные проблемы сортов двуручек обусловлены разновекторной направленностью проявления их генотипов: усиление свойств «озимости» приводит к ослаблению свойств «яровости» и наоборот. Так, повышение уровня морозостойкости при осеннем посеве зачастую приводит к замедлению темпов развития при посеве весной [1,4].

Однако наличие в хозяйствах семян страховых сортов двуручек позволяет им без лишних хлопот решать возникающие практически ежегодно по разным причинам проблемы недосева или ремонта озимых зерновых.

Материалы и методы. Краснодарские сорта озимой пшеницы различаются по степени реакции на продолжительность фотопериода и яровизирующие температуры, но в целом их можно характеризовать как сорта со сравнительно нейтральной реакцией на продолжительность светового дня и непродолжительным периодом яровизации. К сортам озимой пшеницы с коротким периодом яровизации (20-25 дней), называемым «условными двуручками», относятся Юна, Офелия, Русса, Дельта, Батько, Нота, Иришка, Васса, Адель, Стан. Рекомендованные сроки весеннего посева для них ограничены «февральскими окнами» и половиной первой декады марта. Запаздывание с посевом этих сортов в производстве может привести к резкому сокращению их продуктивности и даже

неспособности выколоситься. В Краснодарском НИИСХ им.П.П.Лукияненко в течение двух десятилетий ведётся работа по созданию сортов пшеницы альтернативного образа жизни.

При создании сортов Афина и Паллада была апробирована разработанная нами технология селекционного процесса сортов альтернативного образа жизни, которая включает многократный искусственный отбор на фоне естественного отбора при переменном воздействии факторов, формирующих системы адаптивности генотипов озимого, ярового и факультативного образа жизни.

Дальнейшее совершенствование разработанной нами схемы селекции сортов двуручек привело к передаче на Государственное сортоиспытание в 2012 году нового сорта Анка.

Результаты. Первый сорт Ласточка, внесённый в Госреестр селекционных достижений в 2005 году, имел недостаточно высокую зимо-морозостойкость и в суровые зимы мог подмерзать, несмотря на высокую фотопериодическую чувствительность. Новым шагом в селекции сортов двуручек явилось создание сорта Афина, в котором удалось значительно повысить уровень морозостойкости по сравнению с сортом Ласточка. Сорт Афина успешно прошёл Государственное сортоиспытание, районирован в 2009 году по шестому региону и в настоящее время является наиболее востребованным в производстве страховым сортом двуручкой, обладающим устойчивостью к фузариозу колоса и листовым болезням. Зимо-морозостойкость сорта Паллада, несмотря на его слабую фоточувствительность, ещё более приближена к среднеморозостойкому сорту озимой пшеницы Безостая 1. Кроме того, сорт Паллада имеет жёлтую окраску мякиша хлеба, обусловленную геном *Y*, является носителем гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr 19*, тесно сцепленного с геном устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr 25*, эффективного против расы *Ug 99*, переданного от *Ag. elongatum* [5,6].

Сорт Анка создан методом экологической селекции. В скрещивания были вовлечены озимый сорт Московская 39 и яровой сорт Терция, несущий эффективный ген *Lr 9*, с последующим четырёхлетним чередующимся пересевом осенью и весной с целью направленного формирования популяции для отбора генотипов, наиболее приспособленных к абиотическим стрессорам, которые двуручки должны выдерживать в озимом и яровом посевах. Исходная линия сорта Анка при изучении в питомниках проверки отзывчивости на длину дня (фоточувствительности) и потребности в яровизации в естественных условиях в КНИИСХ (г. Краснодар) в течение шести лет проявила себя как надёжная истинная двуручка, т.е. стабильно выколашивалась при посеве весной (за пределами наличия яровизирующих температур) и стабильно надёжно перезимовывала

(на уровне озимой пшеницы Безостая 1) при искусственном промораживании в ящиках в морозильных камерах и тестировании зимо-морозостойкости на стеллажах в КНИИСХ и Северокубанской СХОС. Двухлетнее изучение данной линии в вегетационных опытах отдела физиологии ВНИИР им. Н.И.Вавилова (г.С.-Петербург) подтвердило её слабую чувствительность к яровизации и высокую чувствительность к фотопериоду. Молекулярное тестирование аллелей генов Vrn и Ppd, проведённое в лаборатории мониторинга генетической эрозии ВНИИР им. Н.И.Вавилова, выявило у неё наличие рецессивного аллеля гена Ppd-D1, определяющего высокую фоточувствительность, и присутствие рецессивных аллелей генов Vrn-A1, Vrn-B1 и доминантного аллеля гена Vrn-D1, снижающих потребность в яровизации [7,8] (табл. 1).

Реакции сорта Анка, обусловленные наличием выявленных у неё генов, совпадают с нашими полевыми наблюдениями и оценками, проведёнными в КНИИСХ в естественных условиях в течение ряда лет. Сорт Анка среднерослый, высота растений 105-120 см в зависимости от предшественника, устойчив к полеганию, характеризуется высокой жаростойкостью и засухоустойчивостью.

1. Выявленные аллельные комбинации генов Ppd-D1, Vrn-A1, Vrn-B1, Vrn-D1 у проанализированных сортов мягкой пшеницы

Сорт	Яровизация		Контроль (без яровизации)		Ppd-D1	Vrn-A1	Vrn-B1	Vrn-D1	Обозначение в анализе
	T1	T2	T1	T2					
Ласточка	39,5	54,6	61,1	94,0	R	R	D	D	R-RDD
Афина	42,5	45,5	59,2	71,3	D	R	R	D	D-RRD
Паллада	42,7	49,9	59,6	69,0	D	R	D	R	D-RDR
Анка (Л199-01яв5)	43,0	55,0	58,6	108,2	R	R	R	D	R-RRD
Фотон, ст.	*	*	34,6	38,2	D	D	D	D	D-DDD
Безостая 1, ст.	43,6	47,5	-	-	D	R	R	R	D-RRR

Примечание: T1,T2 – продолжительность (дней) периода всходы – колошение в условиях естественного (17 ч 30 мин – 18 ч 50 мин) и короткого (12ч) фотопериода соответственно. D – доминантный аллель, R – рецессивный аллель. «-» - растения не выколосились, «*» - яровизация не проводилась.

По зимо-морозостойкости он близок к озимой пшенице Безостая 1. Если у сорта Ласточка критическая температура на глубине узла кущения – (-14-15°C), то у Анки – (-16,8 °C), у Безостой 1 – (-17 °C). Анка, по сравнению с сортом Афина, обладает высокой чувствительностью к фотопериоду, что при осеннем посеве снижает опасность перерастания и перехода в генеративную фазу в условиях тёплых зим и весеннего подмерзания при возвратных морозах, благодаря более позднему выходу в трубку. По продолжительности вегетационного периода относится к среднеспелым сортам,

выколашивается на 2-4 дня позже двуручки Афины и на 1-2 дня позже озимой пшеницы Память.

Сорт Анка имеет преимущество по зерновой продуктивности перед стандартами. За период изучения в конкурсном сортоиспытании (2008-2012гг) по четырём предшественникам урожайность её в среднем составила 75,8 ц с 1 га, превысив стандартный сорт двуручку Ласточка на 9,8 ц с 1га при осеннем посеве и на 7,4 ц при весеннем. Максимальная урожайность составила 91,8 ц с 1 га. Проходя Государственное сортоиспытание (2014-15гг), сорт Анка на сортоучастках Краснодарского края при средней урожайности 48,6 ц с 1 га превысил стандартный сорт Ласточка на 2,0 ц с 1 га. В условиях сортоучастков Ростовской области его урожайность составила 62,4 ц с 1 га, Республики Адыгея – 54,1 ц с 1 га, что находится на уровне стандартных сортов озимой пшеницы Дон 107 и Память соответственно.

Стабильно высокое содержание белка (до 18,5%) и клейковины (до 35%) обеспечивают высокую питательность хлеба, приготовленного из муки этого сорта (табл.2).

2. Характеристика сорта Анка по качеству зерна (КСИ, 2009-2012гг.)

Признаки	Осенний посев			Весенний посев		
	Анка	Ласточка, ст	Память, ст	Анка	Ласточка, ст	Прохоровка, ст
Содержание белка, %	16,8	15,9	14,4	17,0	16,9	14,9
Содержание клейковины, %	32,5	29,2	29,5	31,4	31,5	27,4
Сила муки, е.а.	298	287	281	302	270	280
Объёмный выход хлеба, мл	915	772	700	925	855	785
Эластичность, балл	4,4	3,9	4,1	4,7	3,7	4,2
Пористость, балл	3,9	3,5	3,5	4,0	3,7	3,3
Общая х/п оценка, балл	4,7	4,3	4,3	4,8	4,2	4,4

Упругая клейковина с высокой силой муки (до 350 е.а.) позволяет получать большой объёмный выход хлеба (до 980мл) с хорошей эластичностью и пористостью. Хлеб из сорта Анка на протяжении всего периода изучения в КСИ по общей хлебопекарной оценке имел одни из самых высоких оценок. Его по праву можно отнести к классу сильных пшениц.

По результатам изучения на искусственных инфекционных фонах сорт Анка не поражался пыльной головнёй, устойчив к септориозу, мучнистой росе, слабо восприимчив

к твёрдой головне, умеренно устойчив к бурой и жёлтой ржавчинам, пыльной головне, умеренно восприимчив к фузариозу колоса, восприимчив к стеблевой ржавчине.

Выводы. Новые сорта альтернативного образа жизни и перспективный селекционный материал, созданный по разработанной нами технологии селекционного процесса, позволяют надеяться, что сорта двуручки пшеницы, адаптированные к стрессовым воздействиям внешней среды, станут достойным и надёжным дополнением озимой пшенице.

Литература

1. *Филобок, В.А.* Первые результаты селекции сортов пшеницы альтернативного образа жизни / В.А. Филобок, Л.А. Беспалова, Е.А.Гуенкова // Эволюция научных технологий в растениеводстве: Сб. науч. тр. в честь 90-летия со дня образования Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. – Краснодар, 2004. – Т.1. Пшеница. – С.110-118.
2. *Стельмах, А.Ф.* Изучение роли генетических систем Vrn и Rpd у мягкой пшеницы / А.Ф. Стельмах, В.И. Авсенин, В.А Кучеров, А.Н. Воронин // Вопросы генетики и селекции зерновых культур КОЦ СЭВ. – Одесса(СССР), НИИР Прага Рузыне(ЧССР). – 1987. – Вып.3. – С.125-132.
3. *Мережко, А. Ф.* О слабых доминантных аллелях генов типа развития (Vrn) у мягкой пшеницы / А.Ф. Мережко // Генетические исследования злаковых культур: Сб. науч. тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – Л., 1989. – Т.128. – С.65-70.
4. *Филобок, В. А.* Проблемы и перспективы селекции сортов пшеницы альтернативного образа жизни / В.А. Филобок, Л.А. Беспалова, Е.А. Гуенкова // Вісник Білоцерківського державного аграрного універ.: Зб. наук. праць, вип.2.-Біла Церква.-2008.- С.97-102.
5. *Беспалова, Л. А.* Применение молекулярных маркеров в селекции пшеницы в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Л.А. Беспалова, А.В. Васильев, И.Б. Аблова, В.А. Филобок и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. –Т.16.– №1.– С.37-43.
6. *Давоян, Э. Р.* Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в Краснодарском НИИСХ им. П.П.Лукьяненко / Э.Р. Давоян, Л.А. Беспалова, Р.О. Давоян и др.// Вавиловский журнал генетики и селекции.– 2014. – Т.18.– № 4/1.– С.732-738.
7. *Беспалова, Л. А.* Фотопериодическая чувствительность и молекулярное маркирование генов Rpd и Vrn в связи с селекцией сортов пшеницы альтернативного

образа жизни / Л.А. Беспалова, В.А. Кошкин, Е.К. Потокина, В.А. Филобок и др. // Докл. РАСХН.–2010.– №6.– С.3-6.

8. *Потокина, Е. К.* Комбинация аллелей генов Ppd и Vrn определяет сроки колошения у сортов мягкой пшеницы / Е.К. Потокина, В.А. Кошкин, Е.А. Алексеева и др.// Вавиловский журнал генетики и селекции.– 2012.– Т.16.– №1.– С.77-86.

Literature

1. *Filobok, V. A.* First results of breeding of wheat varieties of alternative way of living / V.A. Filobok, L.A. Besspalova, E.A. Guenkova // Evolution of scientific technologies in plant-growing: Col. of works dedic. to the 90-th anniv. of Krasnodar RIA named after P.P. Lukiyanenko. – Krasnodar, 2004. – V.1. Wheat. – PP. 110-118.

2. *Stelmakh, A.F.* Study of the role of genetic systems Vrn and Ppd in soft wheat / A.F. Stelmakh, V.I. Avsenin, V.A. Kuchеров, A.N. Voronin // Questions of genetics and breeding process of grain crops of KOTs SEV. – Odessa (USSR), NIIR Praga Ruzyne (ChSSR). – 1987. – Issue 3. – PP.125-132.

3. *Merezhko, A.F.* About weak dominant alleles of the genes of development (Vrn) of soft wheat / A.F. Merezhko // Genetic study of grain crops: collec. of scient.w. on applied botany, genetics and breeding. – L., 1989. – V.128. – PP.65-70.

4. *Filobok, V.A.* Problems and prospects of the breeding process of wheat varieties of the alternative way of living / V.A. Filobok, L.A. Besspalova, E.A. Guenkova // Вісник Білоцерківського державного аграрного універ.: Зб. наук. праць, вип.2. – Біла Церква, 2008. – PP.97-102.

5. *Besspalova, L. A.* Use of molecular markers in the wheat breeding in Krasnodar RIA named after P.P. Lukiyanenko / L.A. Besspalova, A.V. Vasiliev, I.B. Ablova, V.A. Filobok and others // Vavilov Journal of genetics and breeding. – 2012. – V.16. – №1. – PP.37-43.

6. *Davoyan, E.R.* Use of molecular markers in wheat breeding on tolerance to leaf rust in Krasnodar RIA named after P.P. Lukiyanenko / E.R. Davoyan, L.A. Besspalova, R.O. Davoyan and others // Vavilov Journal of genetics and breeding. – 2014.– V.18.– № 4/1. – PP.732-738.

7. *Besspalova, L.A.* Photoperiodical sensitivity and molecular marking of the genes Ppd and Vrn because of the breeding of wheat varieties of alternative way of living / L.A. Besspalova, V.A. Koshkin, E.K. Potokina, V.A. Filobok and others // Reports of RAA. – 2010.– №6.– PP.3-6.

8. *Potokina, E.K.* Combination of gene alleles Ppd and Vrn that determines terms of soft wheat head formation / E.K. Potokina, V.A. Koshkin, E.A. Alekseeva and others // Vavilov Journal of genetics and breeding. – 2012.–V.16. – №1.–PP.77-86.

