## ОЦЕНКА ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭКОПУНКТОВ В СФОРМИРОВАННОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ВЕКТОРЕ ПРОГРАММЫ «ЭКАДА»

СЮКОВ Валерий Владимирович, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН

ЗАХАРОВ Владимир Григорьевич, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН **МАЛЬЧИКОВ Петр Николаевич,** Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН

КРИВОБОЧЕК Виталий Григорьевич, Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур

НИКОНОВ Владимир Иванович, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского Федерального исследовательского центра РАН

ВАСИЛОВА Нурания Зуфаровна, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН»

**ГАНЕЕВ Вадим Анварович,** ТОО «Научно-производственная фирма «Фитон»

Показано, что количественные признаки у яровой пшеницы наследуются сложным образом. В их детерминации значительную роль играют генетические системы, экспрессирующиеся в зависимости от факторов внешней среды. Задача экологической селекции – отобрать формы с широкой нормой реакции на изменение лимитирующих рост и развитие ценозов внешних факторов. Предложен новый метод разложения фенотипической дисперсии в трехфакторном дисперсионном анализе. В основу метода положены средние квадраты отклонений и ожидаемая структура средних квадратов отклонений. Для отбора генотипов с широкой адаптацией одним из главных условий является создание модельного экологического градиента. В статье на примере программы «Экада» продемонстрировано формирование подобного градиента, так называемого «экологического вектора». Экологической точкой, где максимально сконцентрированы лимитирующие рост и развитие растений факторы, является Безенчук (Б). В точках вектора Ульяновск (У) и Казань (К) складываются условия наиболее благоприятные условия для формирования высокого урожая. В центре вектора расположен Карабалык (Ф) с высокими параметрами дифференцирующей способности среды, но нетипичными для вектора в целом. Точки Пенза (П) и Чишмы (Ч) меняют положение, то приближаясь к левой, то к правой точкам. Каждая точка охарактеризована по комплексу статистических параметров. То есть сформирован экологический вектор  $\mathbf{E} o (\mathbf{\hat{I}}) o \mathbf{\Phi} o (\mathbf{\Pi}) o \mathbf{Y} o \mathbf{K}$  с различным спектром давления лимитирующих факторов среды в онтогенезе вдоль экологических точек. При отборе по полигенным количественным признакам селекционеру приходится учитывать, что отдельные гены и генотипические системы по-разному проявляются в разном сочетании факторов внешней среды, т.е. отбирать не столько по генотипу, чем по эпигенотипу. По соотношению доли генотип-средовой и генотипической составляющей фенотипа по количественному признаку  $(\chi_{{
m g/e}}/\chi_{
m g})$  показано, что отбор по количественным признакам вдоль экологического вектора в разы эффективнее, чем в локальной экологической точке. Ни в одной из точек экологического вектора, ни по одному признаку вести направленный отбор не представляется целесообразным (в сравнении с экологической селекцией).

Введение. Цели, методология и современные представления об экологической селекции растений проанализированы в публикации В.В. Сюкова [9]. В концепции, взятой в качестве теоретической основы для осуществления экспериментов, результаты которых обсуждаются в данной публикации, наряду с выбором адекватных статистических методов вычленения наследуемой изменчивости количественных признаков, необходимым элементом является целенаправленное формирование экологического градиента (вектора) – совокупности выбранных точек сети, стабильно обеспечивающих отбор высокогомеооадаптивных генотипов [13]. Оптимальный вариант сочетания условий экопунктов, предполагает их максимальную комплементарность природно-климатическим условиям региона(ов) коммерческого использования создаваемых сортов. Предполагается, что полученные таким образом сорта, будут обладать повышенной стабильностью продуктивности при широком варьировании условий среды. Экспериментальный поиск экологических точек вектора ограничивается двумя типами применения этого метода в селекции. Первый из них, успешно апробированный Н. Борлаугом (СІММҮТ), представляет собой челночную селекцию между двумя контрастными по условиям среды (высота над уровнем моря, длина светового дня, активность различных патогенов и др.) пунктами [19, 20, 21]. Аналогичную технику применили селекционеры овощных культур во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИСОК) [5]. В последнем случае отчетливо проявилась необходимость расширения степени контрастности экологических точек. Дифференцирующая способность среды селекционных центров, расположенных в центральных регионах России, носила сходный характер как по величине, так и по направлению измен-



чивости, что объясняется действием однотипных лимитирующих факторов. Включение в челночную сеть экопунктов в Азербайджане, Узбекистане и на Кубе повысило результативность селекции овощных культур. На принципах челночной селекции работает программа Казахстано-Сибирской селекции пшеницы (КАСИБ) [7].

Второй тип организации экологической селекции можно назвать «сопряженной селекцией», когда по экологическим точкам (в отличие от технологии «челночной» селекции, предложенной Н. Борлаугом) движется не селекционный материал, а информация о нем [22]. По принципу сопряженной селекции на экологических точках России и Беларуси во Всероссийском научно-исследовательском институте кормов организованы программы «Клевер», «Аридные культуры» и «Люцерна» [12]. В течение длительного периода функционирует проект по яровой мягкой пшеницы «Экада», который представлен шестью географическими точками, расположенными в исторически сложившихся селекционных центрах: Самарском НИИСХ (Безенчук), Ульяновском НИИСХ (Тимирязевский), Пензенском НИИСХ (Лунино), Башкирском НИИСХ (Чишмы), Татарском НИИСХ (Казань), ТОО НПФ «Фитон» (Карабалык, Кустанайская область, Республика Казахстан). Основная задача, которую необходимо решить при создании экологического вектора (градиента средовых условий), заключается в поиске существенных и стабильных различий по дифференцирующей способности среды, формируемой географическими пунктами и годами. Полученная таким образом информация, увеличивает возможности отбора генотипических и эпигенетических (генотип-средовых) вариаций для формирования сортовых систем, включающих сортовые компоненты как локального значения, так и широкого ареала. Кроме того, информация о свойствах экопунктов позволяет организовать различные модификации селекционных схем, где в зависимости от характеристики географического пункта, отдается предпочтение селекционной процедуре в той, или иной точке (гибридизация, репродукция гибридной популяции, отбор элитного растения, поколение отбора, оценка того или иного количественного признака и др.).

Таким образом, предполагается, что формирование экологического вектора для отбора по полигенным количественным признакам, позволяет селекционеру учитывать то обстоятельство, что экспрессия отдельных генов и генотипических систем, наблюдаемая в фенотипе, варьирует в зависимости от сочетания факторов внешней среды и, что отбор идет скорее на основе эпигенотипа, чем генотипа [10].

**Методика исследований.** Изучение закономерностей формирования фенотипа по наиболее значимым количественным признакам, определяющим урожайность вдоль экологического вектора, проведено на модельном наборе, включавшем 13 сортов яровой мягкой пшеницы: Башкирская 26,

Дуэт, Землячка, Казанская юбилейная, Любава 5, Маргарита, Нива 2, Омская 35, Пирамида, Тулайковская 105, Тулайковская 10, Экада 6, Экада 70. Опыты проведены в течение 3 лет (2009–2011 гг.) в 6 экологических точках в исторически сложившихся селекционных центрах: ФГБНУ «Самарский НИИСХ» (Безенчук, далее Б), ФГБНУ «Ульяновский НИИСХ» (Тимирязевский, далее У), ФГБНУ «Пензенский НИИСХ» (Лунино, далее П), ФГБНУ Башкирский НИИСХ (Чишмы, далее Ч), ФГБНУ «Татарский НИИСХ» (Казань, далее К), ТОО НПФ «Фитон» (Карабалык, Кустанайская область, Казахстан, далее  $\Phi$ ). Посевы экспериментальных делянок проводили селекционными сеялками (ССФК-7, СН-10Ц) в трехкратной повторности, методом рендомизированных блоков, на делянках площадью 10 м<sup>2</sup>. Агротехника, применявшаяся на экспериментальных полях, является типичной для каждой зоны расположения экологической точки.

Погодные условия в зонах экологических точек в период проведения исследований значительно варьировали по годам и по пунктам. Это объясняется как климатическими различиями природных зон расположения пунктов испытания, так и неопределенностью динамики погоды и лимитирующих факторов среды по годам в каждом отдельном пункте.

Сорта среднеспелого биотипа в Безенчуке и Пензе наиболее эффективно используют ресурсы среды в течение онтогенеза растений (динамика доступных макроэлементов в почве, ритм осадков и др.). Календарные сроки посева яровой пшеницы в Ульяновске, Казани, Чишмах сдвинуты на середину мая, вегетационный период более продолжительный, чем в Безенчуке и Пензе за счет увеличения летней (август) части периода вегетации. Среднеспелый и отчасти среднепоздний биотипы в этих экопунктах являются оптимальными. Максимальное количество осадков в экопункте «Фитон» приходится на июль (66,9 мм). Вероятность выпадения осадков в июле составляет 0,8 мм, что в значительной степени делает их динамику в этот период вполне определенной и предсказуемой. Засуха чаще всего приходится на июнь. Климатически устойчивые биотипы сибирского, так называемого «сидячего» типа, среднеспелые и среднепоздние по срокам созревания – наиболее оптимальны для этих условий. В экопунктах «Чишмы» и «Фитон», чаще и с более вредоносным эффектом наблюдаются эпифитотии стеблевой ржавчины. Географически пункты располагаются по долготе с запада от 45° 13′ (Пенза) до  $62^{\circ} 04'$  (Фитон) на востоке, варьируя по широте от 52° 59′ (Безенчук) до 56° 35′ (Чишмы) (табл. 1). Наиболее суровые условия для возделывания яровой пшеницы обычно складываются в Безенчуке, где два года из трех характеризуются засухой. Высокий продукционный потенциал среды имеют фоны в экопунктах «Казань» и «Ульяновск», средний в экопунктах«Чишмы» и «Фитон». Экопункт «Пенза» по продукционным возможностям значительно варьирует по годам от уровня Безенчука до уровня





Казани. В годы исследований в среднем за 2009-2011 гг. исследуемые среды расположились в следующем порядке по возрастанию средней урожайности: 1 – Безенчук; 2 – Пенза; 3 – Чишмы; 4 – Фитон; 5 – Ульяновск; 6 – Казань. Во всех пунктах по годам исследований наблюдались значительные колебания гидротермических коэффициентов (ГТК). Сильных эпифитотий фитопатогенов в период исследований (2009–2011 гг.) во всех пунктах не наблюдалось.

Таблица 1

Характеристика условий среды в экопунктах проведения исследований (2009-2011 гг.)

3womww.	Средняя	Варьирование	Координаты		
Экопункт	урожайность, т/га	ΓΤΚ, min-max	широта	долгота	
Безенчук	1,44	0,3-0,8	52°59′	49°26′	
Ульяновск	3,01	0,35-1,3	54°31′	48°16′	
Пенза	1,88	0,13-1,2	53°35′	45°13′	
Чишмы	2,34	0,5-0,9	54°35	55°22′	
Казань	3,36	0,23-1,3	55°32′	49°28′	
Фитон	2,71	0,2-1,5	53°44′	62°04′	

Для выяснения преимущества искусственного экологического градиента перед локальным отбором закладывали специальный опыт. В качестве критерия широты отбора использовали соотношение  $\chi_{\rm g/e}/\chi_{\rm g}$ . Доля вклада факторов и их взаимодействий в формирование фенотипа рассчитывалась исходя из ожидаемой структуры средних квадратов отклонений в трехфакторном дисперсионном блоке [1, 6]. Ранее В.В. Сюковым и др. был разработан алгоритм расчета доли вкладов отдельных факторов и их взаимодействий в двухфакторном дисперсионном комплексе [8]. В табл. 2 представлен аналогичный алгоритм для трехфакторного опыта.

Таблица 2

## Структура средних квадратов отклонений в трехфакторном дисперсионном блоке

Фактор	SS	df	ms	$\chi^2$		
A	$SS_A$	k-1	ms <sub>A</sub>	$(ms_A - ms_z) / (lmn)$		
В	$SS_B$	l-1	ms <sub>B</sub>	$(ms_B - ms_z) / (kmn)$		
С	$SS_c$	m-1	ms <sub>c</sub>	$(ms_C - ms_z) / (lkn)$		
A/B	$SS_A$	(k-1)·(l-1)	ms <sub>A/B</sub>	$(ms_{A/B} - ms_z) / (mn)$		
A/C	$SS_A$	(k-1)·(m-1)	ms <sub>A/C</sub>	$(ms_{A/C} - ms_z) / (ln)$		
B/C	$SS_A$	(m-1)·(l-1)	ms <sub>B/C</sub>	$(ms_{B/C} - ms_z) / (kn)$		
A/B/C	$SS_A$	(k-1)·(l-1)·(m-1)	ms <sub>A/B/C</sub>	$(ms_{A/B/C} - ms_z) / n$		
Остаток	$SS_A$		ms <sub>z</sub>	, ,		
n -	количе					

Соотношение доли генотип-средовой и генотипической составляющей фенотипа по количественному признаку (в нашем случае урожайности зерна)  $\chi_{\mathrm{g/e}}$  / $\chi_{\mathrm{g}}$  показывает стабильность отбора генотипа по фенотипу по годам в конкретной точке, но, с другой стороны, и способность среды экспрессировать спектры генотип-средовых взаимодействий.

Коэффициент типичности среды t<sub>ь</sub>, представляющий собой коэффициент корреляции между значениями признака для одних и тех же сортов в оцениваемой среде и его средними значениями в нескольких средах, дает возможность оценить способность сохранять ранги генотипов, кото-

рые получены в результате их усредненной оценки во всей совокупности сред [3].

Сходна с математической точки зрения процедура регрессионного анализа [16]. Коэффициент регрессии bi (регрессия среды на генотип) позволяет оценить способность среды выявлять потенциальную продуктивность генотипов.

Параметры дифференцирующей способности среды S<sub>ек</sub> (относительная дифференцирующая способность среды) и К<sub>к</sub> (коэффициент компенсации) по А.В. Кильчевскому и Л.В. Хотылевой [4] оценивают испытываемую среду на способность выявлять наследуемые различия у генотипов. Помимо параметров Кильчевского и Хотылевой, на основе данных по урожайности сортов в экопунктах и применения методов факторного анализа были выделены главные компоненты, характеризующие в данном случае различия условий среды экопунктов по дифференцирующей способности. Применение методов многомерного шкалирования позволяет проанализировать комплексы данных и, что важно для их четкой интерпретации, визуализировать результаты анализа [2, 11]. В США и Канаде эти методы на основе факторного анализа (метод главных компонент) используют под названием Віplot analysis [17, 18]. По мнению ряда исследователей [14, 15], биплот-анализ дает наиболее точную оценку генотип-средовых взаимодействий.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерных программ «Agros 2.13» и Microsoft Office Excel.

Цель исследований заключалась в уточнении параметров экологического вектора «Экада», характеристике дифференцирующей способности экопунков и оценке эффективности статистических методов для подбора и системного расширения средовых компонентов экологической селекции.

**Результаты исследований.** Анализ количественных признаков, представленных в табл. 3, показывает, что основной вклад в формирование фенотипа вносило паратипическое рассеивание, вызванное факторами лет и мест испытания. Общая доля паратипической изменчивости составляла от 38,2 % (плотность продуктивного стеблестоя) до 58,9 % (урожайность). Это объясняется, в том числе и тем, что, во-первых, экологический вектор формировался именно с расчетом на широкую вариабельность природных факторов, во-вторых, контрастностью лет испытания – достаточно благоприятных (особенно в Казани и Ульяновске) 2009 и 2011 гг. и острозасушливого (особенно в Безенчуке) 2010 г. В то же время следует заметить, что доля генотипической составляющей в формировании фенотипа по большинству признаков была невысокой (4,2-7,6 %), и лишь по массе 1000 зерен она превысила 10 %. При этом доля наследуемой генотип-средовой составляющей (A/B, A/C, A/B/C) по основным компонентам продуктивности в 2,54-4,89 раза превышает долю генотипической. По массе 1000 зерен эта разница составила 1,61 раза.

Эти данные показывают, что по всем количественным признакам отбор с использованием метода





Эффекты (χ) и доля влияния (%) генотипа, среды (годы и экологические точки) и их взаимодействий на формирование количественных признаков у яровой мягкой пшеницы

Источник	Урожайность		Число зерен		Macca		Плотность		Уборочный		Высота растения	
варьирования			в колосе		1000 зерен		продуктивного стеблестоя		индекс			
	χ	%	χ	%	χ	%	χ	%	χ	%	χ	%
Сорта (А)	1,5415	5,4	1,3387	7,6	2,2951	12,5	10,3080	4,2	0,0125	4,6	2,7253	5,9
Годы (В)	10,3272	36,5	2,3320	13,3	4,6682	25,5	26,3691	10,7	0,0534	19,6	16,8906	34,4
Экологические точки (С)	6,3553	22,4	5,3533	30,4	3,4595	18,9	67,7297	27,5	0,0777	28,5	9,3150	20,2
Взаимодействие А/В	1,2692	4,5	1,1637	6,6	0,7528	4,1	8,4262	3,4	0,0135	4,9	1,5607	3,4
Взаимодействие А/С	1,2982	4,6	1,1568	6,6	1,2500	6,8	18,3747	7,5	0,0145	5,3	2,1723	4,7
Взаимодействие В/С	5,6799	20,1	4,6915	26,7	4,1933	22,9	91,2777	37,1	0,0735	27,0	11,3037	24,5
Взаимодействие А/В/С	1,8384	6,5	1,5587	8,9	1,6930	9,2	23,6423	9,6	0,0275	10,1	3,1789	6,9

экологического вектора в разы более эффективен, нежели отбор в локальных экологических точках.

Обращает на себя внимание и высокие значения эффектов ненаследуемых взаимодействий «экологическая точка / годы». Эти данные говорят о том, что ни в одной из точек экологического вектора ни по одному признаку вести направленный отбор не представляется целесообразным (в сравнении с экологической селекцией).

Анализ параметров среды показывает (табл. 4), что крайней левой точкой в сформированном экологическом векторе, в которой в наибольшей степени сконцентрированы лимитирующие рост и развитие растений факторы среды (почвенная и атмосферная засуха, эпифитотии листовых болезней), является Безенчук. Здесь формируется наименьший урожай зерна, и лишь в один из трех лет среда характеризуется высокой дифференцирующей способностью и типичностью для вектора в целом. Крайне правыми точками являются Казань и Ульяновск, в наибольшей степени выявляющие потенциал продуктивности. Стабильно в центре вектора расположен Карабалык с высокими параметрами дифференцирующей способности среды, но нетипичными для вектора в целом, о чем свидетельствует коэффициент типичности среды  $t_{\iota}$ . Точки Пенза (П) и Чишмы (Ч) меняют положение, приближаясь то к левой, то к правой точкам. Таким образом, четко проявляются особенности экопунктов, их различия и роль (место) при формировании экологического вектора. Эти выводы об определенной закономерности группирования средовых факторов, влияющих на изменение рангов сортов по урожайности в зависимости от экологических точек, подтверждаются результатами применения при обработке экспериментальных данных методами многомерного шкалирования на основе факторного анализа. Преимущество метода в том, что он позволяет визуализировать результаты на основе их распределения в системе координат двух главных компонент, несущих основные нагрузки при описании взаимосвязей (наличие общих свойств) статистических характеристик экопунктов. На графике (см. рисунок) отчетливо видно, что точки экопунктов «Ульяновск» и «Казань» по интегральному показателю «урожайность зерна» расположены в первой и четвертой координатных четвертях вблизи оси первой главной компоненты. К ним приближается во все годы проведения эксперимента экопункт «Чишмы». Наибольшую изменчивость по

годам проявили пункты «Безенчук» и «Пенза». При этом в 2009 г. точка Безенчука оказалась в области Казани и Ульяновска. Экопункт «Фитон» стабильно во все годы располагается на значительном удалении от кластера «Казань – Ульяновск». Эти результаты несколько отличаются от предыдущих (полученных по методике Кильчевского - Хотылевой), но в общих чертах оба метода дают схожую информацию о дифференцирующих свойствах фонов и перспективах их комплементарности в виде экологического вектора как системы отбора. Оперативная наследуемость серии опытов вполне достаточная ( $h^2 = 0.79$ ), что может характеризовать подбор экологических точек в экологическом векторе как вполне удовлетворительный. Таким образом сформирован экологический вектор  $Б \rightarrow (Y) \rightarrow \Phi \rightarrow (\Pi) \rightarrow Y \rightarrow K$ , который можно трансформировать путем расширения количества контрастных сред (но в пределах степных и лесостепных провинций России и Казахстана). Эти факты дают возможность совершенствовать схему отбора генотипов с широкой нормой реакции, в том числе с применением элементов челночной селекции, с различным спектром давления лимитирующих факторов среды в онтогенезе вдоль экологических точек.

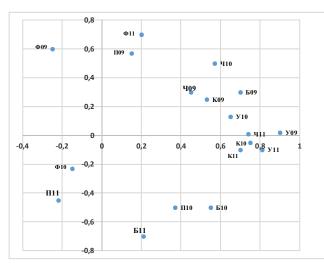
Таблица 4 **Характеристика точек экологического вектора** «Экада»

Эколо-		Средний	Пар						
гическая	Год	урожай	руюц	рующей способности среды					
точка		зерна, т/га	t,	b,	$S_{ek}$	$K_{ek}$	$\chi_{\rm g/e}/\chi_{\rm g}$		
	2009		0,712	1,27	1418,8	0,068			
Б	2010	1,44	0,486	0,23	43,5	0,026	1,018		
	2011		0,033	0,01	43,9	0,003			
	2009		0,870	1,90	2800,2	0,068			
У	2010	3,01	0,758	1,27	1290,6	0,061	0,427		
	2011		0,827	2,42	2356,6	0,059	]		
	2009		0,324	0,85	1602,3	0,060			
П	2010	1,88	0,319	0,46	665,8	0,058	2,007		
	2011		-0,221	-0,52	1548,2	0,066			
	2009		0,483	1,01	1547,4	0,056			
Ч	2010	2,34	0,629	0,72	757,4	0,058	0,260		
	2011		0,878	1,73	2685,9	0,069			
	2009		0,689	3,18	2358,4	0,048			
К	2010	3,36	0,695	1,21	1322,1	0,059	0,932		
	2011		0,624	1,38	2276,7	0,061			
Φ	2009	0 2,71	-0,029	0,18	2364,6	0,073			
	2010		-0,301	-0,47	1026,5	0,060	1,481		
	2011		0,419	1,19	2642,1	0,063			

Эффективность созданного экологического вектора подтверждена практическими результатами селекции. Сорта яровой мягкой пшеницы Экада 6,







Распределение экологических точек в системе координат двух главных компонент, рассчитанных на основе данных урожайности исследуемого набора сортов

Экада 70, Экада 66, Экада 109 и Экада 113 включены в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации. Новый перспективный сорт Экада 214 проходит государственное сортоиспытание.

Все созданные сорта, отличаются полевой устойчивостью к листовым болезням, Экада 70, Экада 66, Экада 70 устойчивы к пыльной и твёрдой головне, а Экада 113 обладает устойчивостью к стеблевой и жёлтой ржавчине.

Для расширения экологического вектора в качестве ассоциированных членов временного творческого коллектива «Экада» включены ООО «Агрокомплекс «Кургансемена» (с. Садовое Кетовского района Курганской области) и ТОО «Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция» (г. Актобе, Актюбинской области, Казахстан). Исследования эффективности включения этих экопунктов в систему экологической селекции путем организации специальных экспериментов по методике, апробированной и представленной в настоящей публикации, проводятся параллельно с выполнением процедур практической селекции в системе программы «Экада».

Заключение. В результате проведенных исследований для оценки экопунктов на предмет их включения в систему экологической селекции предложен комплекс статистических методов, включающих разработанный алгоритм расчета доли вкладов отдельных факторов и их взаимодействий в трехфакторном дисперсионном комплексе, параметры дифференцирующей способности среды по Кильчевскому, Хотылевой и биплот-анализ в системе двух главных компонент. В процессе исследований выявлено, что формирование фенотипа в выбранных экологических точках определялось контрастностью природных факторов, лет испытания и разной реакцией сортов на их динамику по пунктам и годам. Из изученных признаков, формирующих урожай, лишь масса 1000 зерен обусловлена генотипической составляющей. Многофакторные эксперименты подтверждают эффективность использования сформированного экологического вектора для отбора по комплексу количественных признаков в селекции яровой мягкой пшеницы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Биометрия: учеб. пособие / Н.В. Глотов [и др.]. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. – 382 с.
- 2. Зиновьев А.Ю. Визуализация многомерных данных. - Красноярск: Изд-во Красноярского ГТУ, 2000. - 180 c.
- 3. Кильчевский А.В. Комплексная оценка среды как фона для отбора в селекционном процессе // Доклады АН БССР. - 1986. - Т. 30. - Вып. 9. - С. 846-849.
- 4. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. – Минск: Тэхналогія, 1997. – 372 с.
- 5. Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г., Балашова Н.Н. Экологическая селекция растений (на примере овощных культур). – М., 1994. – 369 с.
- 6. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. -Минск: Вышэйш. шк., 1973. - 320 с.
- 7. Селекционно-генетическая оценка популяций яровой мягкой пшеницы Сибирского питомника челночной селекции СИММИТ / В.П. Шаманин [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. − Nº 16 (1). − C. 21−32.
- 8. Сюков В.В., Кочетков Д.В. Вклад генотип-средовых эффектов в формирование количественных признаков у яровой мягкой пшеницы // Проблемы аридизации Юго-Востока Европейской части России: материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Саратов, 2009. - C. 51-53.
- 9. Сюков В.В., Менибаев А.И. Экологическая селекция растений: типы и практика (обзор) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – № 4 (3). – С. 463–466.
- 10. Сюков В.В., Мадякин Е.В., Кочетков Д.В. Вклад генотип-средовых эффектов в формирование количественных признаков у инбредных и аутбредных растений // Информационный вестник ВОГиС. -2010. – № 14 (1). – C. 141–147.
- 11. Терёхина А.Ю. Анализ данных методом многомерного шкалирования. -М.: Наука, 1986. - 168 с.
- 12. Шамсутдинов З.Ш. Селекция кормовых культур: достижения и задачи // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 6. – С. 36–45.
- 13. Эффективность статистических методов оценкиадаптивности генотипов яровой мягкой пшеницы вдоль экологического вектора / В.В. Сюков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 2. – С. 4–12.
- 14. Affleck I., Sulivan J.A., Tarn R., Falk D.E. Genotype by environment interaction of yield and quality of potatoes // Canad. J. Plant Sci., 2008, 88(6): 1099-1107.
- 15. Bach S. Genotype by environment interaction effects on starch, fibre and agronomic traits in potato (Solanum tuberosum L.) // An M.Sc.Thesis. Guelph, Ontario, Canada, 2011: 208.
- 16. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci., 1966, 6(1): 36–40.
- 17. *Gabriel K.R.* The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis // Biometrika. 1971, 38 (3): 453-467.
- 18. Yan W., Tinker N.A. Biplot analysis of multienvironment trial data: Principles and applications // Canad. J. Plant Sci., 2006, 86(3): 623-645.



- 19. *Rajaram S., Borlaug N.E., van Ginkel M.* CIMMYT International Wheat Breeding. Breadwheat Improvement and production. Plant production and protection series, 2002, 30: 103–117.
- 20. *Rajaram S., van Ginkel M.* Mexico, 50 years of international wheat breeding // The World Wheat Book. A History of wheat breeding, Paris: Lavoisier Publishing, 2001; 579–608.
- 21. *Rajaram S., Skovmand B., Curtus B.C.* Philosophy and methodology of an international wheat breeding program. Gene manipulation in plant breeding, NY, London, 1984; 33–60.
- 22. *Syukov V.V. et al.* Method of ecological breeding an example program «ECADA» // Science, technology and life 2014: Proceedings of the international scientific conference Czech Republic, Karlovy Vary, 27–28 December, 2014, Karlovy Vary -Kirov, 2015: 300–310.

Сюков Валерий Владимирович, д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории генетики и селекции яровой мягкой пшеницы, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова— филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН. Россия.

Захаров Владимир Григорьевич, д-р с.-х. наук, зав. отделом селекции, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства— филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН. Россия.

433315, Ульяновская обл., п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19.

Тел.:(8422) 41-81-55; e-mail: ulniish@mail.ru.

**Мальчиков Пётр Николаевич**, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова — филиал ФГБУН Самарского Федерального исследовательского центра РАН. Россия.

446254, Самарская обл., пос. Безенчук, ул. Карла Маркса, 41.

Тел.: (8467)62-11-40; e-mail: samniish@mail.ru.

**Кривобочек Виталий Григорьевич**, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур. Россия.

442730, Пензенской обл., n/o Лунино-1, ул. Сара-

Тел.: 89042668573; e-mail: penzniish-szk@mail.ru.

Никонов Владимир Иванович, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией селекции яровой пшеницы, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского Федерального исследовательского центра РАН. Россия.

452170, Республика Башкортостан, п. Чишмы, ул. Опытная, 33A-2.

Тел.: 83472230708.

**Василова Нурания Зуфаровна**, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией селекции яровой пшеницы, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН». Россия.

 $4200\overline{5}$ 9, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Г. Кайбицкой, 5-35.

Тел.: 83472230708.

**Ганеев Вадим Анварович**, канд. с.-х. наук, директор, ТОО «Научно-производственная фирма «Фитон». Россия.

110908, Республика Казахстан, Костанайская обл., Карабалыкский р-н, с. Научное, ул. Новая, 5-51.

Тел.: 87771914527.

**Ключевые слова:** яровая пшеница; экологическая селекция; экологический вектор; программа "Экада".

## EVALUATION OF THE DIFFERENTIATION ABILITY OF ECOLOGICAL POINTS IN GENERATED ENVIRONMENTAL VECTOR PROGRAM "EKADA»

**Syukov Valeriy Vladimirovich**, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Genetics and Breeding of Spring Soft Wheat, Samara Scientific Research Institute of Agriculture. Russia.

**Zakharov Vladimir Grigorievich**, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the department of Breeding, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture. Russia.

Malchikov Peter Nikolayevich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Resaecher, Samara Scientific Research Institute of Agriculture, Russia

Krivobochek Vitaliy Grigorievich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Penza Scientific Research Institute of Agriculture. Russia.

**Nikonov Vladimir Ivanovich**, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory of Breeding of Spring Wheat, Bashkiria Scientific Research Institute of Agriculture. Russia.

Vasilova Nurania Zufarovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory of Breeding of Wheat, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture. Russia.

Ganeev Vadim Anvarovich, Candidate of Agricultural Sciences, Director, Scientific Industrial Firm "Fiton". Kazakhstan.

**Keywords:** spring wheat; ecological selection; ecological vector; "Ekada" program.

It is presented, that the quantitative characteristics of spring wheat are inherited in a complex process. In their determination, a significant role is played by genetic systems which are expressed depending on environmental factors. The task of ecological selection is to select forms with a wide reaction norm on changing the factors, which are limiting growth and devel-

opment of cenoses. A new method for the dissociation of phenotypic dispersion in a three-factor dispersion analysis is proposed. The method is based on the average squares of variations and the expected structure of the average squares of variations. For the selection of genotypes with wide adaptation, one of the main conditions is a creation of a model ecological gradient. In the article, the example of the "Ekada" program demonstrates the formation of a similar gradient, the so-called "ecological vector". The ecological point, where the factors limiting the growth and development of plants are the most concentrated, is Bezenchuk (B). At the vector points of the Ulyanovsk (U) and Kazan (K), conditions are most favorable for the formation of a high crop. At the center of the vector is Karabalyk (F) with high parameters of the differentiating capacity of the environment, but atypical for the vector as a whole. The points Penza (P) and Chishmy (Ch) change position, approaching the left, then to the right points. Each point is characterized by a set of statistical parameters. An ecological vector  $B \rightarrow (Ch) \rightarrow F \rightarrow (P) \rightarrow U \rightarrow K$  with a different pressure spectrum of the limiting factors of the environment in ontogeny along ecological points is formed. When selecting according to polygenic quantitative characteristics, the selectioner must take into account that individual genes and genotypic systems manifest differently in different combinations of environmental factors, i.e. to select less on a genotype, than on an epigenotype. It is demonstrated, that by the ratio of the share of the genotype-environment and the genotype component of the phenotype by the quantitative trait  $(\chi_{g/e}/\chi_p)$  the selection by quantitative characteristics along the ecological vector is several times more effective than at the local ecological point. In none of the points of the ecological vector, nor on one trait, direct selection is not advisable (in comparison with ecological selection).

**4** 2019

