

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ “ГЕНОТИП X СРЕДА”, СТРАТЕГИИ СЕЛЕКЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ В РАМКАХ КАЗАХСТАНСКО-СИБИРСКОЙ СЕТИ УЛУЧШЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

**Гомес-Бессера У. <sup>1</sup>, Моргунов А.И. <sup>2</sup>, Аbugалиева А.И. <sup>1</sup>**

**1 – Научно-производственный центр земледелия и растениеводства МСХ РК, Алматы, Казахстан; 2 – СИММИТ-ЦАЗ, г. Астана, Казахстан**

**GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION, BREEDING STRATEGIES AND GENETIC GAINS FOR YIELD AND GRAIN PROTEIN CONTENT IN THE KAZAKHSTAN-SIBERIA NETWORK ON SPRING WHEAT IMPROVEMENT**

**Gomez-Becerra, H.F. <sup>1</sup>, Morgounov, A.I., <sup>2</sup> and Abugalieva, A.I. <sup>1</sup>**

**1 - Research and Production Center of Farming and Crop Science, Almaty, Kazakhstan  
2 - CIMMYT-CAC, Astana, Kazakhstan**

50 генотипов пшеницы из Казахстана и Сибири по сети улучшения яровой пшеницы КАСИБ, выращенные в 2003-2004 гг. в 14 географических пунктах Казахстана и Сибири России, были оценены с точки зрения взаимодействия генотипа и среды по урожайности и содержанию белка в зерне. Также был сделан расчет теоретически ожидаемых генетических улучшений этих признаков после одного цикла отбора. Результаты показали, что местоположение на 75% влияет на показатель урожайности яровой пшеницы по региону. При сравнении двух стратегий адаптивности (общей и специфической адаптивности) первая показала лучшие результаты, чем вторая. Челябинск оказался географическим пунктом с наиболее благоприятными условиями для генетического улучшения линий. По содержанию белка в зерне примерно в 35% вариантов доминировал генотип, в то время как воздействие среды сказалось на этом показателе в 46% случаев.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, генотип, среда, содержание белка, продуктивность, генетическое улучшение, адаптивность.

**Введение**

Казахстан традиционно разделен на два сельскохозяйственных региона - (1) северный с условиями, пригодными для возделывания яровой пшеницы, и (2) – южный регион, пригодный для возделывания озимой пшеницы. На севере (на широте между 48 и 55 параллелями) яровая пшеница возделывается на степных землях в засушливых регионах. Количество выпадающих осадков составляет в среднем не более 300 мм в год, а средняя зимняя температура около – 20° мороза. В южном регионе (на широте между 42 и 48 параллелями) озимая пшеница выращивается в условиях орошения и на богаре при более высоком, чем на севере, уровне выпадающих осадков (Longmire and Moldashev, 1999). На севере вследствие сравнительно сухого климата и природного плодородия земель, занимаемых яровой пшеницей, зерно имеет высокое содержание белка - от 15 до 18%. По своему качеству в сравнении с другими регионами Азии и Европы зерно этого региона характеризуется также высоким содержанием клейковины (Shegevaev, 1997, со ссылкой на Longmire and Moldashev, 1999). Таким образом, яровая пшеница Казахстана потенциально способна занять место между краснозерной яровой североамериканской пшеницей и австралийской пшеницей высшего качества (Longmire and Moldashev, 1999).

Внутри вышеупомянутых протяженных агроландшафтов ученые Казахстана выделили большое число микрозон (около 60). Во времена СССР перед селекционерами ставились задачи идентификации и районирования сортов пшеницы, наиболее подходящих для каждой микрозоны. Однако сегодня на фермерских полях число широко адаптированных сортов не превышает и шестидесяти (Longmire and Moldashev, 1999), а по западным стандартам адаптивности их число не достигнет и двадцати (CIMMYT, 1993 со ссылкой на Longmire и Moldashev, 1999).

Цели данного исследования: 1) определить взаимодействие генотипа и среды для наилучшего проявления сортов в различных местах/средах; 2) классифицировать среды, в которых кроссоверное взаимодействие не обнаружено или проявилось на низком уровне; 3) выявить генетические улучшения сортов по признакам урожайности и содержанию белка в зерне; 4) определить соотношение между главным эффектом генотипа и некоторыми хозяйственно-ценными признаками, уровнем болезней и погодными условиями; 5) сделать сравнение специфической и общей стратегий адаптивности на сортовую продуктивность.

**Материалы и методы**

Данные испытаний по 4 и 5-му КАСИБ (KASIB-SBWBYT) представляли собой набор из 50

генотипов, включая сорта и перспективные селекционные линии. Оценку питомника проводили в 2003 и 2004 годах в 14 географических пунктах: Карабалык (Казахстан), Караганда (Казахстан), Павлодар (Казахстан), Актобе (Казахстан), Шортанды (Казахстан), Петропавловск (Казахстан), Алматы (Казахстан), Отар (Казахстан), Восточный Казахстан (Казахстан), Омск (Сибирь, Россия), Курган (Россия), Барнаул (Алтайский край, Россия), Челябинск (Россия) и Красноуфимск (Россия) в двух повторностях. Помимо урожайности и содержания в зерне белка в ходе опытов в отдельных пунктах были собраны данные по другим хозяйственно-ценным признакам (высоте, дате колошения и созревания, массе 1000 зерен) и фитопатологическим характеристикам (чувствительности к бурой, желтой ржавчинам и септориозу). Генотипические показатели в каждом опыте были получены путем усреднения данных, полученных по отдельным пунктам. Из метеорологических данных фиксировали сезонный уровень выпавших осадков в отдельных пунктах и использовали его в качестве среднего показателя.

**Модель анализа основных аддитивных эффектов и мультипликативных взаимодействий (АОАЭМВ)**

Влияние среды на генотип анализировали путем проведения испытаний на урожайность и содержание белка с использованием Анализа основных аддитивных эффектов и мультипликативных взаимодействий (АОАЭМВ). Модель АОАЭМВ теоретически допускает наличие аддитивных компонентов для основного эффекта генотипов ( $\alpha_i$ ) и сред ( $\beta_j$ ), а также существование мультипликативных компонентов для выражения их взаимодействия ( $\phi_{ij}$ ). Таким образом, степень отзывчивости генотипа  $i$  на среду  $j$  можно вычислить по формуле:

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{k=1}^m \lambda_k \gamma_{ik} \delta_{jk} + \rho_{ij} + \epsilon_{ij}, \quad (1)$$

где  $\mu$  — основной показатель,  $\alpha_i$  — основной эффект  $i$ -го генотипа,  $\beta_j$  — основной эффект  $j$ -ой среды;  $\phi_{ij}$  — показатель взаимодействия генотипа  $i$  и среды  $j$ , выраженный как:

$$\sum_{k=1}^m \lambda_k \gamma_{ik} \delta_{jk}, \quad (2)$$

где  $\lambda_k$  — длина вектора,  $\gamma_{ik}$  — суммарный вектор множества генотипов,  $\delta_{jk}$  — суммарный вектор множества сред,  $\rho_{ij}$  — разность АОАЭМВ;  $\epsilon_{ij}$  — погрешность измерений.

Применение модели анализа к данному случаю позволяет составить графики, отображающие взаимоотношения между различными местоположениями или генотипами в конкретном многосредовом испытании. Все вычисления проделаны в программе IRRISTAT 4,3

(разработана Международным институтом риса в 1998-2003 гг.) с использованием “кросс-сайт” анализа, анализа изменчивости, методов регрессии, корреляции и программы MS Excel.

**Генетические улучшения и определение стратегии адаптивности**

Величина прогнозируемого урожая во всех средах  $E$  может быть вычислена по формуле Falconer (1989) и Cooper (1996):

$$\Delta G = i h^2 s_p, \quad (3)$$

где  $i$  — стандартизированный дифференциал отбора,  $h^2$  — значение общей наследуемости;  $s_p$  — квадратный корень вычисляемого значения фенотипической изменчивости по средам. В частности:

$$h^2 = s_g^2 / [s_g^2 + (s_{g_l}^2 / E) + (s_e^2 / E R)], \quad (4)$$

где  $s_g^2$ ,  $s_{g_l}^2$  и  $s_e^2$  — величины изменчивости компонентов самого генотипа, его взаимодействия со средой и суммарной погрешности;  $E$  и  $R$  — численные значения отборов в средах и повторностей эксперимента, задаваемые произвольно;  $s_p$  — член уравнения (3), равный квадратному корню знаменателя.

**Результаты и обсуждение**

Показатели изменчивости урожайности (в тоннах на гектар) по АОАЭМВ для 47 генотипов, испытанных в 14 пунктах и 22 средах (среда - совокупность пунктов за год) суммарно за 2003-2004 гг. представлены в таблице 1, отражающей

**Таблица 1. Изменчивость значений урожайности для генотипа (Г), местоположения (М) и их взаимодействия (ГМ) по данным КАСИБ в 2003-04 гг.**

**Table 1. Genotype (G), location (L) and genotype X location (GL) Variance Terms for Yield for the KASIB Performance Trials, 2003, 2004 and the Combined 2003-04**

Год Year	Источ-ник Source	df	SS‡	Процент от суммы (G+L+GL) % of G+L+GL
2003	М	12	364,04	74,10
	Г	37	48,14	9,79
	ГМ	444	79,11	16,10
2004	М	11	496,27	77,30
	Г	39	49,28	7,67
	ГМ	429	96,39	15,01
2003 и 2004*	М	21	854,54	77,76
	Г	39	71,05	6,46
	ГМ	819	173,22	15,76

‡ SS — суммы квадратов; \* — суммарные изменения за 2003-04 гг., где М объединяет все местоположения в году, т.е. ГМ взаимодействие равнозначно ГС взаимодействию.

относительные колебания генотипа (Г), местоположения (М) и различий при их взаимодействии. Местоположение (М) наиболее сильно влияло на урожайность, изменчивость которой по каждому году в отдельности и в общем за оба года на 74% превысила суммарное значение Г+М+ГМ (74,1%, 77,3% и 77,76% соответственно в 2003, 2004 году и в общем за 2003-2004 гг.). Взаимодействие “генотип х местоположение” (ГМ) оказывало большее влияние на урожайность, чем сам генотип, и соответствовало значениям 16,1% и 9,79% в 2003 году, 15,01% и 7,67% в 2004 году и 15,76% и 6,46% — суммарно за оба года. Более выраженное ГМ взаимодействие относительно эффекта генотипа (Г) (соответственно в 1,64; 1,95 и 2,43 раза в 2003, 2004 и суммарно за 2003-2004 гг.) указывает на возможное существование различных мега-сред (Yan *et al.*, 2000).

Биplot, составленный по данным 4-го и 5-го КАСИБ (KASIB-SBWBYT, 2003-2004 гг.), показан

на рисунке 1. Сортообразцы 37 и 39 (сорта Степная-1 и Актобе-32) были наиболее стабильными по ОК2 (ОК2 — вертикальная ось координат биplotа); и наоборот, сортообразец 19 (Алтайская-50) — наименее стабильным. Среда, обозначенная как “Омск 2004”, имела наибольшие колебания значений, что соответствовало наибольшей длине вектора. И, наоборот, среда “Челябинск-2004” проявила себя лучше других в оба года.

Результаты по отдельным годам и суммарно за 2003-2004 гг. указывают на четкие различия в урожае как между пунктами в одном году, так и по годам в одном пункте. Лишь такие пункты, как Шортанды, Караганда, Павлодар и Актобе, имели схожие модели в оба года. Другим общим фактом являются показатели урожайности генотипа 19 (сорт Алтайская-50) как наименее адаптированного к условиям всего изучаемого региона.

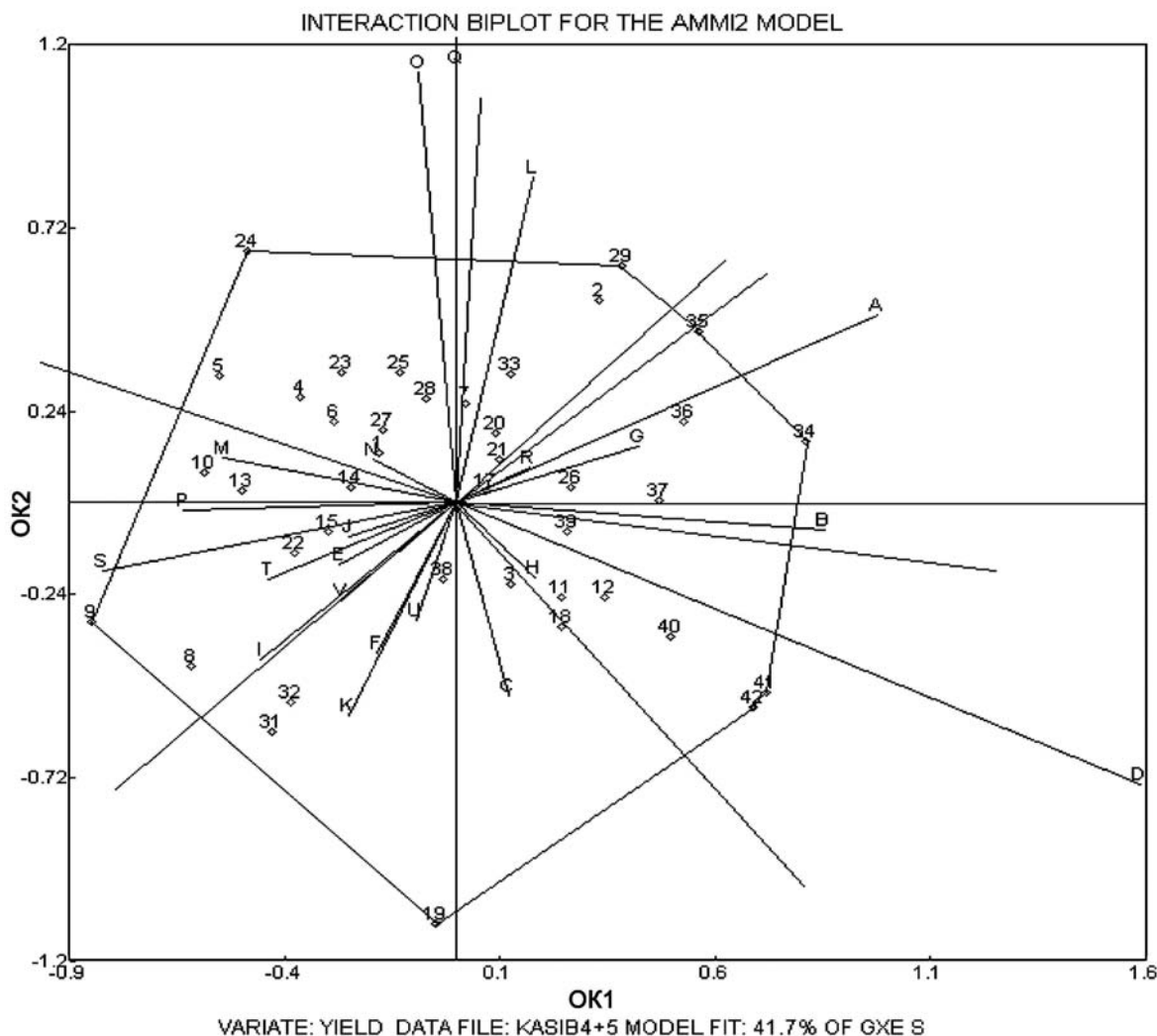
**Таблица 2. Коэффициенты корреляции между значениями генотипов по ОК1 и ОК2, хозяйственно-ценными признаками и уровнем поражения болезнями**

**Table 2. Correlation Coefficients Between Genotype PC1 and PC2 Scores, Agronomic Traits and Disease Incidence Ratings**

Признак <i>Trait</i>	2003 год	2004 год
<b>Число генотипов <i>Number of Genotypes</i></b>	<b>28</b>	<b>35</b>
Взаимосвязь значений генотипа по ОК 1 с хозяйственно-ценными признаками		
Урожай	-0,326	0,652**
Содержание белка в зерне	0,524**	-0,367*
Высота растения	-0,460*	0,613**
Дата колошения	-0,439*	0,341*
Дата созревания	-0,326	0,368*
Масса 1000 зерен	0,169	-0,117
Взаимосвязь значений генотипа по ОК1 с уровнем поражения болезнями		
Бурая ржавчина	-0,056	-0,190
Желтая ржавчина	-0,192	0,286
Септориозная пятнистость листьев	-0,034	-0,358*
Взаимосвязь значений генотипа по ОК2 с хозяйственно-ценными признаками		
Урожай	0,014	0,538**
Содержание белка в зерне	0,196	-0,043
Высота растения	-0,269	0,296
Дата колошения	-0,539**	0,549**
Дата созревания	-0,598**	0,551**
Масса 1000 зерен	-0,234	-0,074
Взаимосвязь значений генотипа по ОК2 с уровнем поражения болезнями		
Бурая ржавчина	-0,254	-0,122
Желтая ржавчина	0,242	-0,212
Септориозная пятнистость листьев	-0,001	-0,084

\* Значимо при значении вероятности 0,05 ;

\*\* Значимо при значении вероятности 0,01



**Рис. 1.** Биплот «Генотип x Среда» по урожайности для 40 генотипов и 22 сред в 4-м и 5-м KASIB-SBWBYT (2003-2004 гг.). Каждая среда есть совокупность зон в одном году. Полные обозначения: A=Алтай 2004, B=Челябинск 2004, C=Курган 2004, D=Сибирь 2004, E=Актюбе 2004, F=Карабалык 2004, G=Шортанды 2004, H=Алматы 2004, I=Павлодар 2004, J=Петропавловск 2004, K=Караганда 2004, L=Алтай 2003, M=Челябинск 2003, N=Курган 2003, O=Сибирь 2003, P=Актюбе 2003, Q=Карабалык 2003, R=Шортанды 2003, S=Алматы 2003, T=Павлодар 2003, U=Петропавловск 2003, V=Караганда 2003.

**Fig 1.** The GE Biplot of 40 Genotypes and 22 Environments Based on the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> KASIB-SBWBYT (2003 and 2004) Yield Data. Here Each Environment is the Combination of Location by Year. The Full Environments Names are: A= Altay 2004, B= Chelyabinsk 2004, C= Kurgan 2004, D= Siberia 2004, E= Aktube 2004, F= Karabalyk 2004, G= Shortandy 2004, H= Almaty 2004, I= Pavlodar 2004, J= Petropavlovsk 2004, K= Karaganda 2004, L=Altay 2003, M= Chelyabinsk 2003, N= Kurgan 2003, O= Siberia 2003, P= Aktube 2003, Q= Karabalyk 2003, R= Shortandy 2003, S= Almaty 2003, T= Pavlodar 2003, U= Petropavlovsk 2003, V= Karaganda 2003.

**Кроссоверные взаимодействия и их отображение в системе координат OK1 и OK2**

Согласно АОАЭМВ по каждому году и суммарно за 2003-04 гг. значения по ОК1 и ОК2 для генотипов и местоположений были как отрицательными, так и положительными. Как следствие, генотип, имеющий значительные

положительные взаимодействия по ОК1 с одними геопунктами, должен иметь такие же сильные отрицательные взаимодействия с другими. Аналогичное объяснение применимо для взаимодействий генотипа и местоположения (геопункта) по ОК2. Таким образом, значения генотипа по ОК1 и ОК2 указали на неоднозначный

**Таблица 3. Ожидаемое генетическое повышение урожайности по региону в стратегиях специфической и общей адаптивности ( $\Delta G_w$ ) при выявлении двух субрегионов для селекции яровой пшеницы в Казахстане и Сибири**

**Table 3. Predicted Yield Gain over the Region from a Specific Adaptation Strategy ( $\Delta G_s$ ) Relative to Wide Adaptation ( $\Delta G_w$ ) for Definition of Two Subregions for Spring Bread Wheat Breeding in Kazakhstan and Siberia**

Стратегия адаптивности <i>Adaptation Strategy</i>	Отбор внутри субрегиона <i>Selection within Subregion</i>	<i>E</i>	<i>P</i>	$h^2$	<i>sp</i>	$\Delta G$ (т/га) для субрегионов $\Delta G$ (T/ha) for subregions	$\Delta G$ (т/га) по региону $\Delta G$ (t/ha) over Region	Отношение $\Delta G_s / \Delta G_w$ , % $\Delta G_s / \Delta G_w$ Ratio (%)
Специфическая		6					0,365	96,06
Субрегион А	Прямой	4	0,83	0,71	0,36	0,423		
Субрегион Б	Прямой	2	0,17	0,16	0,29	0,079		
Общая		6		0,73	0,31		0,380	

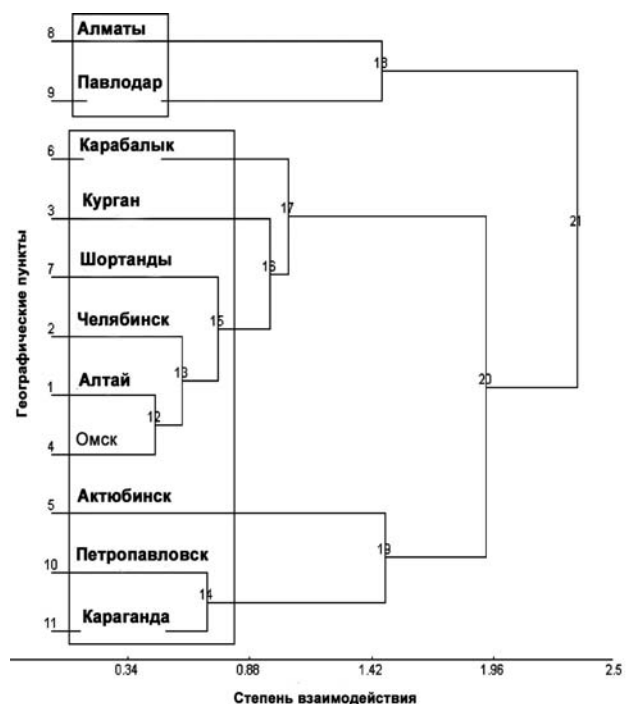
*E* = число отобранных сред; *P* = доля целевого региона;  $h^2$  = общая наследуемость; *sp* = фенотипическое стандартное отклонение, подсчитанное для сред и четырех повторностей эксперимента;  $\Delta G$  - прогнозируемое повышение урожайности за один цикл отбора (стандартизированный дифференциал отбора, равный 1,64 для 10%-ого отбора, примененного к 20-ти элитным популяциям)

отклик генотипа на среду, который являлся основным источником изменчивости любых кроссоверных ГМ взаимодействий. Для удобства такой непропорциональный отклик генотипа назван кроссоверным ГМ взаимодействием (Yan and Hunt, 2001).

Следовательно, в 2003-2004 гг. генотипы 29, 35, 34, 41, и 42 (соответственно сорта Лютесценс-54, Лютесценс 30-94, Лютесценс 29-94, ГВК 1369/2 и ГВК 1857/9) и среды, обозначенные как "Алтай 2004", "Челябинск 2004", "Курган 2004", "Омск 2004", "Шортанды 2004", "Карабалык 2003", "Шортанды 2003" и "Алматы 2004" (с положительными начальными эффектами), в контрасте с сортообразцами 24, 9, и 19 (сорта Чебаркульская, Иргина и Алтайская-50) и средами: "Актобе 2004", "Карабалык 2004", "Павлодар 2004", "Петропавловск 2004", "Караганда 2004", "Алтай 2003", "Челябинск 2003", "Курган 2003", "Сибирь 2003", "Актобе 2003", "Алматы 2003", "Павлодар 2003", "Петропавловск 2003" и "Караганда 2003" (с отрицательными начальными эффектами, расположенные в противоположном секторе графика), составили четкую модель кроссоверного взаимодействия.

Коэффициенты корреляции между значениями генотипов по ОК1 и ОК2 и другими переменными различаются по годам (см. Табл. 2). Это объясняется тем, что, во-первых, в 2003 и 2004 годах были обнаружены существенные взаимосвязи ( $P=0,05$  и  $0,01$ ) между значениями по ОК1 и такими признаками, как содержание белка в зерне, высота растения, день колошения, дата созревания и поражение септориозной пятнистостью листьев, хотя некоторые из них (время созревания и заболевание септориозной пятнистостью листьев) имели значимость лишь

в одном из лет испытаний. Во-вторых, некоторые взаимосвязи были положительными в одном году и отрицательными в другом (содержание белка, высота растения, дата колошения и дата



**Рис. 2. Схема взаимосвязи между пунктами в 4-м и 5-м КАСИБ-SBWBUT, построенная с использованием генотип-средовой ячейки по усредненным данным для 11 пунктов и 40 генотипов**

**Fig. 2. Pattern Analysis Dendrogram of Relationship among Sites in the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> KASIB-SBWBUT Using Genotype-Environment Cell Means Balanced Data Set for 11 sites and 40 genotypes**

**Таблица 4. Анализ изменений главных аддитивных эффектов и мультипликативных взаимодействий для содержания белка (%) в генотипах, испытываемых в 2003 и 2004 годах и в среднем за два года**

**Table 4. Additive Main Effects and Multiplicative Interactions Analysis of Variance for Grain Protein Content (%) of the Genotypes Across the Locations in 2003 and 2004 and the Compiled Data for 2003 and 2004**

Источник Source	df	SS	MS	Выражено (%) Explained (%)
2003 год				
Генотип	31	163,043	5,25945	40,31
Местоположение	4	136,469	34,1171	33,65
Генотип x Место	124	104,88	0,845802	25,93
Всего	159	404,391		
2004 год				
Генотип	39	256,649	6,58075	31,8
Местоположение	4	438,921	109,73	54,38
Генотип x место	156	111,5	0,714743	13,81
Всего	199	807,07		
2003 и 2004 годы				
Генотип	27	243,739	9,02737	34,28
Местоположение	7	327,792	46,8274	46,1
Генотип x место	189	139,42	0,73767	19,6
Всего	223	710,95		

В анализе изменений в 2003 и 2004 гг. среда эквивалентна сумме комбинаций местоположений в году

созревания), вследствие чего каких-либо выводов по этому вопросу пока не сделано. Логическая взаимосвязь между значениями генотипа по ОК1, ОК2 и общим количеством сезонных осадков не была установлена. Коэффициенты корреляции связали повышенный уровень осадков с меньшим урожаем в 2003 году и, наоборот, меньший уровень осадков с большим урожаем в 2004 году. Этот необычный факт можно объяснить тем, что общее количество выпавших осадков в 2004 году учитывали по данным из 4-х зон, в то время как в 2003 году использовали данные по 12-ти зонам (данные не включены), что и вызвало сдвиг в пользу 2004 года. Более надежное заключение может быть получено на основе длительного учета среднемесячного количества выпавших осадков и значений температуры воздуха в качестве средовых показателей.

#### **Классификация мест**

Дендрограмма, построенная на основе модельного анализа с использованием генотип-средовой ячейки, представляет собой набор данных по годам испытания (Рис. 2), сгруппированных по двум субрегионам: крупному субрегиону "А", объединившему такие пункты, как Карабалык, Курган, Шортанды, Челябинск, Алтай, Омск, Актобе, Петропавловск и Караганда, и малому субрегиону "Б", связавшему Алматы и Павлодар. Модельный анализ показывает, что субрегион "А", в свою очередь, делится на две микрозоны: к первой

относятся такие пункты, как Актобе, Петропавловск и Караганда, характеризующиеся более засушливым климатом, укороченным стеблем растений и более низким урожаем; вторая микрозона субрегиона "А" демонстрирует сходство между Омском, Алтаем и Челябинском на севере, где наблюдаются высокие урожаи и большее влагообеспечение, и в меньшей степени между Шортанды, Курганом и Карабалыком. Что касается субрегиона "Б", то по нему четкая модель не выявлена, т.к. в него одновременно попали Павлодар (засушливый и холодный северный регион) и Алматы (юг Казахстана с теплым и более влажным климатом). Этот факт могли вызвать особые условия, сложившиеся в этих зонах в одном из изучаемых лет либо специфика проведения испытаний. Для того, чтобы разобраться, действительно ли погодные условия сформировали в субрегионе "Б" свою, отличающуюся от других мест мега-среду, необходим дальнейший анализ на основе многолетних экспериментов.

#### **Стратегия специфической адаптивности против общей адаптивности**

С целью определения способности районированных сортов из субрегионов "А" и "Б" превзойти показатели урожайности широко адаптированных сортов при применении положительных ГМ-взаимодействий было проведено сравнение двух стратегий. Таблица 3 показывает, что при использовании стратегии общей адаптивности урожайность за один цикл отбора на 40% выше, чем в стратегии

**Таблица 5. Ожидаемое генетическое повышение содержания белка в зерне по региону в стратегии общей адаптивности ( $\Delta G_w$ ) для селекции мягкой яровой пшеницы в Казахстане и Сибири**

**Table 5. Predicted Genetic Gain of Grain Protein Content over the Region from a Wide Adaptation strategy ( $\Delta G_w$ ) for Spring Bread Wheat Breeding in Kazakhstan and Siberia**

Стратегия адаптивности <i>Adaptation Strategy</i>	<i>E</i>	<i>h</i> <sup>2</sup>	<i>sp</i>	$\Delta G$ по региону <i><math>\Delta G</math> (%) over Region</i>
Общая	6	0,91	1,06	1,6

*E* = число отобранных сред; *P* = доля целевого региона; *h*<sup>2</sup> = общая наследуемость; *sp* = фенотипическое стандартное отклонение, подсчитанное для сред и четырех повторностей эксперимента;  $\Delta G$  - ожидаемое повышение содержания белка за один цикл отбора (стандартизированный дифференциал отбора, равный 1,64 для 10%-ого отбора, примененного к 20-ти элитным популяциям).

**Таблица 6. Десять наиболее урожайных и высокобелковых генотипов по данным 4-го и 5-го КАСИБ. Данные получены из расчетов**

**Table 6. Top Ten Yielding and High Grain Protein Content (HGPC) Genotypes from 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> KASIB. Data Obtained from Predicted Means**

Номер генотипа <i>Genotypic Code</i>	Название генотипа <i>Name of Genotype</i>	Урожай (т/га) <i>Yield (t/ha)</i>	Содержание белка в зерне, % <i>Grain Protein Content (%)</i>
<b>10 самых высокоурожайных генотипов</b>			
29	Лютесценс-54	3,16	15,01
35	Лютесценс-30-94	3,11	14,71
34	Лютесценс 29-94	3,01	15,07
21	Терция	2,97	16,03
28	Лютесценс-13	2,91	16,06
2	Омская-35	2,86	15,55
5	Соната	2,85	15,73
41	GVK 1369/2	2,85	15,09
27	Шортандинская-95	2,85	15,95
20	Ариа	2,85	15,41
<b>10 самых высокобелковых генотипов</b>			
9	Иргина	2,01	18,28
45	Е-756	2,10	17,91
10	Красноуфимская-90	2,26	17,71
43	Е-607	2,08	17,57
8	Ирен	2,33	17,52
3	Лютесценс 148-97-16	2,38	17,25
1	Омская-34	2,51	17,10
25	Астана	2,70	16,86
30	Эритроспермум-78	2,54	16,56
4	Чернява-13	2,60	16,43

специфической адаптивности (380 кг/га против 365 кг/га за цикл). Интересно отметить, что, несмотря на большую величину ГМ-взаимодействия в сравнении с эффектом генотипа (что говорит о возможном существовании мега-сред в субрегионах), стратегия специфической адаптивности не имела преимуществ перед стратегией общей адаптивности. Это объясняется низкой урожайностью в субрегионе "Б" (не более 80 кг/га за цикл), опровергая предположение о

наличии в нем уникальной мега-среды и доказывая, что кластеризация в субрегионе "Б" контрастных геопунктов вызвана лишь особенностями собранных данных за 2003-2004 годы; однако для подтверждения данной гипотезы требуется дальнейший анализ.

#### **Содержание белка в зерне**

Результаты анализа различий в содержании белка для 40 генотипов, испытанных в 6-ти пунктах и 8-ми средах (совокупность

местоположений в году), суммарно за 2003-2004 гг. представлены в таблице 4. Анализ показал варьирование содержания белка для генотипа, местоположения и их взаимодействия. В 2003 году основной причиной изменений являлся генотип, доля которого составила 40% от общего влияния Г+М+ГМ. Местоположение являлось основной причиной изменчивости этого показателя в 2004 году и в среднем за 2003-2004 годы, достигая соответственно 54% и 46% от общего показателя Г+М+ГМ. ГМ взаимодействие не превышало значения самого генотипа. Значение ГМ в 2003, 2004 годах и в среднем за оба года составляло соответственно 25,93%; 13,81% и 19,6% против 40,31%; 31,8% и 34,28% для Г+М+ГМ. Низкое ГМ взаимодействие относительно генотипа (меньше в 0,64; 0,43 и 0,57 раз в 2003, 2004 г. и в общем за 2003-2004 гг.) свидетельствует о важности генотипа как источника изменений и подчеркивает несостоятельность предположения о существовании субрегиональных мега-сред для объяснения этого явления.

Повторяя те же стадии анализа, что и для урожайности, была подсчитана изменчивость и генетические улучшения для признака "содержание белка" по результатам одного цикла отбора, но с тем отличием, что здесь применяли лишь стратегию общей адаптивности (Табл. 5).

#### Выводы

Данное исследование подчеркивает значимость для опытов места их проведения (т.е. среды, когда анализируются сводные данные за 2003-2004 годы), т.к. на этот фактор приходится 75% всех колебаний урожайности зерна мягкой яровой пшеницы в Казахстане и Сибирском регионе России. Большая степень взаимодействия генотипа и среды в сравнении с проявлением самого генотипа указывает на лучший отклик сорта на среду и говорит о наличии двух субрегионов, которые, однако, не создали единой модели по результатам двух лет испытаний. Условия 2003 года проявились в низком урожае, укорочении растения, более ранних сроках созревания, большей массе 1000 зерен и более высоком содержании белка в зерне. Наоборот, условия 2004 года выразились в лучшей урожайности, большей высоте растений, удлинении сроков созревания, меньшей массе 1000 зерен и более низком содержании белка. Корреляционный анализ с использованием фенотипических и средовых переменных позволяет дать биологическое объяснение ГМ взаимодействиям. Например, слабая отрицательная связь между урожаем зерна и заболеванием растений подразумевает, что более урожайные генотипы должны быть более восприимчивы к болезням; в то же время использование усредненного значения количества выпавших осадков в сезоне в

качестве средовой переменной для данных, собранных во время испытаний в некоторых районах, привело к нетипичному выводу о том, что меньший уровень выпавших осадков приводит к большему урожаю. В этой связи рекомендуется проведение дальнейшего анализа с учетом многолетнего количества осадков, температуры и состава почвы как средовых переменных. Применение стратегии общей адаптивности дает лучшие результаты (на 4% больше ожидаемого генетического улучшения урожайности за один отборочный цикл), чем при использовании стратегии специфической адаптивности, где в наиболее выгодном свете предстал Челябинск, что позволило выделить его в качестве ключевого геопункта для целей селекции. Касательно содержания белка в зерне пшеницы, выявлено, что генотип играет практически такую же важную роль, что и местоположение (35% и 46% соответственно). Ожидаемое увеличение содержания белка в зерне составило 1,6% по региону в целом за один отборочный цикл. Десять наиболее урожайных и высокобелковых сортов пшеницы представлены в таблице 6.

#### Использованная литература

- Annicchiarico, P. 2002. Genotype X environment interactions. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO plant production and protection paper 174. Rome.
- Falconer, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics, p. 318-355. Third edition. New York, Longman.
- International Rice Research Institute. 2003. IRRISTAT 4.0 for windows. Tutorial manual, Manila, Philippines.
- Longmire, J., and Moldashev, A. 1999. Changing competitiveness of the wheat sector of Kazakhstan and sources of future productivity growth. CIMMYT economics paper 99-06. Mexico DF.: CIMMYT.
- Results of the Kazakhstan-Siberia Network Trials for Spring Wheat Improvement. 2003. - CIMMYT, MOA of RK and the Siberian Branch of the Russian Academy of Agriculture Science (in Russian).
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. Crop Sci. 40:597-605.
- Yan, W., and L.A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. Crop Sci. 41:19-25.



### Признательность

Авторы выражают признательность всем НИУ, ученым и специалистам, участвующим в Казахстанско-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ), за хорошее

### Тұжырым

2003-2004 жылдары Қазақстан мен Ресейдің Сібір аймақтарының 14 географиялық пунктерінде жаздық бидайды жақсартудың Қазақстан және Сібірдің бидайларының 50 генотипі өнімділігімен дәндегі белок құрамына байланысты қоршаған ортамен генотип қарым-қатынастары бағаланды.

Сонымен бірге осы белгілері сұрыптаудың бір циклындағы генетикалық жақсартудың күтілген теориялық мүмкіндіктеріне есеп жасалды. Нәтижелердің көрсетуі бойынша аймақтағы жаздық бидай өнімінің 75 % -ына орналасу орнының әсері көрсетілді. Екі стратегиялық бейімделушілікті салыстырғанда (кең адаптивті тар адаптивті стратегиясымен салыстыру стратегиясында) біріншісі екіншісіне қарағанда жақсы нәтиже көрсетті. Челябинск линияларының генетикалық жақсаруына ең жақсы жағдай жасаған географиялық пункт болып шықты. Дән құрамында 35 % белогы бар нұсқаның генотипі артықшылық көрсетті. осы жағдайда қоршаған орта әсерінің жағдайы бұл көрсеткішке 46 % әсер етті.

### Resume

50 spring wheat genotypes from the Kazakhstan-Siberia network on spring wheat improvement (KASIB) grown in 14 locations across Kazakhstan and the Siberian region of Russia in 2003-2004 were evaluated for genotype by environment interactions for two important traits: grain yield and grain protein content. In addition to yield and grain protein content, several agronomic (height, heading date, maturity date, and 1000 kernels weight) and pathological traits (resistance to leaf rust, yellow rust and septoria leaf blotch) were recorded at all or some locations. The theoretical genetic gains of these traits after one selection cycle were also calculated.

The objectives of the study were to determine: (i) the GEI (genotype by environment interaction) for the best cultivars performance in different locations/ environments; (ii) the sites clustering with non-COI (crossover interaction) or low level of COI; (iii) the genetics gains, for yield and grain protein content; (iv) the correlation between genotype main effect and some agronomic traits, disease scores and weather data; (v) compare a specific-adaptation breeding strategy versus a wide-adaptation strategy for yield.

Genotype by environment was analyzed independently by trials for both yield and protein content using the Additive Main Effects and Multiplicative Interactions Analysis (AMMI). The AMMI analysis of variance of grain yield (ton ha<sup>-1</sup>) of the 47 genotypes tested in 14 locations and 22 environments (location by year) and the AMMI analysis of variance of grain protein content (%) of the 40 genotypes tested in total of 6 locations and 8 environments (location by year) for the combined data 2003-2004 showed the relative magnitude of Genotype, Location and GL variance terms.

The results showed the magnitude of the location effect which accounts for about 75% of the total variance of spring bread wheat grain yield across the region. The larger Genotype X Location in comparison with Genotype effects indicated the better response of some cultivar to different location suggesting the existence of two subregions. When compared two adaptation strategies (wide adaptation strategy vs. specific adaptation strategy), the adoption of a wide adaptation strategy showed better results (4% more of the expected genetic gain for grain yield per selection cycle) than specific adaptation. Regarding with the sites classification, Chelyabinsk performed as the most representative site, and thus, it could be selected as "key location" for breeding purposes.

In the case of grain protein content, the genotype played an important role, almost in the same magnitude of location, for about 35% of the total variance, while location accounted for 46% of the total variance. The expected genetic gain for grain protein content was calculated in 1.6% over the region after one selection cycle.