

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

Е.В. ГОЛОВИНА, доктор сельскохозяйственных наук, E-mail: kat782010@mail.ru

О.В. ЛЕУХИНА, научный сотрудник, E-mail: oxana_leukhina@mail.ru

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

Аннотация. Продуктивность определяется не генами количественных признаков, а эффектами взаимодействия генотип – среда, которые представляют собой эмерджентные свойства высоких уровней организации (онтогенетического, популяционного, фитоценотического) и отсутствуют на молекулярном уровне. Ценность представляют сорта, сочетающие высокие биологические, хозяйственные и технологические свойства, обладающие в тоже время экологической стабильностью и пластичностью. Учитывая вышесказанное, цель исследований состояла в изучении продуктивности, адаптивности, экологической пластичности и стабильности коллекционных сортообразцов сои.

В 2022-2024 гг. изучены 10 коллекционных образцов сои различного происхождения в условиях ЦЧР. Проведена оценка их продуктивности, адаптивности и стрессоустойчивости в контрастных погодных условиях.

В результате исследований установлено: благоприятные погодные условия для формирования высокой продуктивности сложились в 2022 году, характеризующемся достаточной влагообеспеченностью по сравнению с слабо засушливыми 2023 и 2024 годами. Индекс условий в 2022 г. положительный $I_j = +1,56$.

В результате комплексной агроэкологической оценки 10 коллекционных сортообразцов выявлены сорта Баргузин, Оникс 57, СК Дока и СК Фарта с высокой продуктивностью зерна, характеризующиеся значительными пластичностью, адаптивностью и генетической гибкостью.

Высокую стабильность проявили сорта Белгородская 7, Кора и Чара; значительную гомеостатичность – Белгородская 7 и Кора; низкую вариабельность – Осмонь, Кора и Чара; высокую стрессоустойчивость – Чара, Кора и Осмонь; коэффициент выравненности В выше 70% у всех сортов, исключая Баргузин, СК Фарта и Шатиловскую 17.

Наиболее ценными образцами высокоинтенсивного типа, отзывчивыми на улучшение внешних условий, с высоким уровнем адаптивности по сумме рангов являются сорта Кора и Осмонь. Сорта Белгородская 7, СК Дока, Оникс 57 и Чара в достаточной степени адаптированы к почвенно-климатическим условиям ЦЧР. Перечисленные образцы могут служить источниками хозяйственно полезных признаков в селекционном процессе.

Таким образом, сорта, созданные в 2011-2018 гг. (Белгородская 7, Чара, Осмонь) проявили высокую стабильность, гомеостатичность, стрессоустойчивость и низкую вариабельность. Более современные сорта (Баргузин, СК Дока, СК Фарта, Оникс 57), полученные в 2020-2026 гг., отличаются значительными пластичностью, адаптивностью и генетической гибкостью, что позволило им сформировать продуктивность зерна на 18 % выше, чем у сортов предыдущих лет в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: соя, сорт, продуктивность, пластичность, стабильность, адаптивность.

Для цитирования: Головина Е.В., Леухина О.В. Сравнительная оценка показателей адаптивности сортов сои в условиях ЦЧР. Зернобобовые и крупяные культуры. 2026. № 3 (59):28-37 DOI: 10.24412/2309-348X-2026-3-28-37

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ADAPTABILITY INDICATORS OF SOYBEAN

E.V. Golovina, O.V. Leukhina

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS, Orel

Abstract. Productivity is determined not by the genes of quantitative traits, but by the effects of the genotype-environment interaction, which represent emergent properties of high levels of organization (ontogenetic, population, and phytocenotic) and are absent at the molecular level. Varieties that combine high biological, economic and technological properties, while at the same time possessing ecological stability and plasticity, are valuable. Considering the above, the purpose of the research was to study the productivity, adaptability, ecological plasticity and stability of soybean cultivars.

From 2022 to 2024, 10 collection soybean accessions of various origins were studied in the Central Black Earth Region. Their productivity, adaptability, and stress tolerance under contrasting weather conditions were assessed. The research found that:

Favorable weather conditions for the formation of high productivity developed in 2022, characterized by sufficient moisture supply compared to the slightly dry years of 2023 and 2024. The conditions index in 2022 is positive $I_j = +1.56$.

As a result of a comprehensive agroecological assessment of 10 collection samples, the following varieties were identified: Barguzin, Onyx 57, SK Doka and SK Farta with high grain productivity (9.32-10.91 g/plant), characterized by significant plasticity ($b_i=1.46-2.07$), adaptability ($KA=103.58-121.25\%$) and genetic flexibility (9.24-10.33 g/plant).

The Belgorodskaya, Kora and Chara varieties showed high stability ($\sigma^2_d=0.17-0.52$); significant homeostaticity ($Hom=47.24-53.29$) – Belgorodskaya and Kora; low variability ($CV=7.75-8.37\%$) – Osmon, Kora and Chara; high stress resistance from -1.20 to -1.39 – Chara, Kora and Osmon; the uniformity coefficient B is above 70% for all varieties, excluding Barguzin, SK Farta and Shatilovskaya 17.

The most valuable high-intensity varieties, responsive to improved environmental conditions, with a high level of adaptability based on the sum of their ranks, are the Kora and Osmon varieties. The Belgorodskaya 7, SK Doka, Onyx 57, and Chara varieties are sufficiently adapted to the soil and climatic conditions of the Central Black Earth Region. The listed samples can serve as sources of economically useful traits in the breeding process.

Thus, the varieties created in 2011-2018 (Belgorodskaya 7, Chara, Osmon) demonstrated high stability, homeostaticity, stress resistance and low variability. More modern varieties (Barguzin, SK Doka, SK Farta, Onyx 57), obtained in 2020-2026, are distinguished by significant plasticity, adaptability and genetic flexibility, which allowed them to form grain productivity 18% higher than that of previous years' varieties in conditions of a changing climate.

Keywords: soybean, variety, productivity, plasticity, stability, adaptability.

Введение

Площади посева сои ежегодно увеличиваются на 5-6%, благодаря широкой интродукции в новые регионы РФ (Центральный и Центральнo-Черноземный) посредством возделывания вновь созданных отечественных сортов северного экотипа, созревающих при сумме активных температур 1700-1900°C за 90-120 сут., и вследствие глобального и локального потепления климата, позволившего за последние 40 лет продвинуть производство сои в России на 200-250 км в северо-западном направлении. Однако в последнее время для центральных регионов России характерны резкие колебания метеоусловий, приводящие к возникновению засух, постоянному или временному переувлажнению почвы, что отрицательно сказывается на продуктивности сои [1, 2, 3, 4]. В связи с этим проблема адаптивности сортов сои к климатическим условиям Центральнo-Черноземного региона весьма актуальна.

Установлено, что продуктивность и урожайи определяются не генами количественных признаков, а эффектами взаимодействия генотип – среда, которые представляют собой эмерджентные (вновь возникающие) свойства высоких уровней организации (онтогенетического, популяционного, фитоценотического) и отсутствуют на молекулярном уровне. Влияние внешних условий на формирование и проявление признака происходит в два этапа: 1. среда определяет функционирующий аллельный набор признака из аллельного набора особи; 2. среда определяет конкретную реализацию признака из заданного аллельного набора [5, 6].

Изучение адаптивных возможностей растений актуально в связи с тем, что циклические изменения климата и загрязнение атмосферы приводят к ухудшению условий произрастания и, как следствие, к снижению продуктивности [7, 8].

Таким образом, большую ценность представляют сорта, сочетающие высокие биологические, хозяйственные и технологические свойства, обладающие в тоже время экологической стабильностью и пластичностью.

Цель исследований – изучение продуктивности, адаптивности, экологической пластичности и стабильности коллекционных сортообразцов сои.

Материал и методы исследования

В 2022-2024 гг. изучены 10 коллекционных образцов сои различного происхождения в условиях ЦЧР (табл. 1). Семь сортов индетерминантного типа роста, Белгородская 7 и Чара – полудетерминантного типа роста и Оникс 57 – детерминантного типа роста. Проведена оценка их продуктивности, адаптивности и стрессоустойчивости. Площадь делянок 10 м², повторность трехкратная, норма высева 600 тыс./га. Экологическую пластичность и адаптивность сортов рассчитывали по S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966) в изложении В.З. Пакудина, Л.М. Лопатиной (1984).

Таблица 1

Сорта сои, изученные в опыте

Сорт	Год районирования	Оригинатор	Тип роста стебля
Баргузин	2022	ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК	Индетерминантный
Белгородская 7	2011	ФГБОУ ВО БГАУ	Полудетерминантный
Кора	2020	ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК	Индетерминантный
Лира	2003	ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК	Индетерминантный
Оникс 57	2026	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	Детерминантный
Осмонь	2018	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	Индетерминантный
СК Дока	2020	ООО Компания «Соевый комплекс»	Индетерминантный
СК Фарта	2020	ООО Компания «Соевый комплекс»	Индетерминантный
Чара	2013	ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК	Полудетерминантный
Шатиловская 17	2020	ФГБНУ ФНЦ ЗБК	Индетерминантный

Для определения **средней урожайности** по опыту использована формула:

$$Y_{cp} = \sum \sum Y_{ij} / v \times n,$$

где $\sum \sum Y_{ij}$ – сумма урожайности сои по сортам и годам изучения; v – количество сортов в опыте; n – количество лет ведения опыта.

Условия конкретного года, выраженные через индекс, определены по формуле:

$$I_j = (\sum Y_j / v) - (\sum \sum Y_{ij} / v \times n),$$

где $\sum Y_j$ – сумма урожайности всех сортов за j -й год.

Коэффициент экологической пластичности, выраженный через коэффициент регрессии b_i , вычисляли по формуле:

$$b_i = \sum Y_{ij} \times I_j \sum (I_j)^2,$$

где ΣY_{ij} – сумма произведения урожайности i -го сорта в j -м году на индекс условий среды j -го года; $\Sigma (I_j)^2$ – сумма квадратов индексов условий среды.

Теоретическую урожайность определяли по формуле:

$$Y_{ij} = Y_i + b_i \times I_j,$$

где Y_i – урожайность i -го сорта в среднем за три года изучения; $b_i \times I_j$ – произведение коэффициента регрессии i -го сорта на индекс условий среды конкретного года.

Разница или отклонения фактической урожайности от рассчитанной теоретической получены в результате применения формулы:

$$\delta_{ij} = Y_{ij \text{ факт}} - Y_{ij \text{ теор}},$$

где $Y_{ij \text{ факт}}$ – фактическая урожайность i -го сорта в j -м году; $Y_{ij \text{ теор}}$ – теоретическая урожайность i -го сорта в j -м году.

Стабильность сортов сои, или **среднее квадратичное отклонение**, вычислено по формуле:

$$\sigma_{ij} = \Sigma \delta_{ij}^2 / n-2,$$

где $\Sigma \delta_{ij}^2$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической.

Гомеостатичность сортов определялась по методике В. В. Хангильдина и М. А. Литвиненко [9]:

$$\text{Ном} = \bar{X}_i^2 / \sigma,$$

где $\bar{X}_i^2$ – средняя продуктивность i -го сорта за годы испытания; σ – среднее квадратичное отклонение.

В качестве показателя стабильности продуктивности сортообразцов используются **коэффициенты вариации CV** и **выравненности В** по Б. А. Доспехову:

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \%,$$

где s – стандартное отклонение;

$\bar{X}$ – среднее значение массы зерна, г.

$$В = 100 - CV.$$

Коэффициент адаптивности (КА) рассчитывался по методике Л. А. Животкова и др. (1994):

$$КА = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_{ij}} \times 100 \%,$$

где $\bar{X}_i$ – средняя продуктивность сорта за годы исследований;

$\bar{X}_{ij}$ – средняя продуктивность изучаемых сортов за годы исследований.

Приспособительные возможности сортов к стрессу определяли через **стрессоустойчивость**: $Y_{\min} - Y_{\max}$ и **генетическую гибкость** сортов: $(Y_{\min} - Y_{\max}) / 2$.

В 2022 г. в мае температура была на 2-3°C ниже нормы, осадков выпало 121-156% нормы (табл. 2). В июне – августе в генеративный период (бутонизация – налив бобов) погодные условия были благоприятными для сои: температура выше нормы на 1,5-6,0°C, увлажнение достаточное. ГТК=2,2.

В 2023 г. в мае и 1-ой декаде июня (посев, всходы, 1 настоящий лист) сложились неблагоприятные условия: температура ниже нормы на 0,5-1,0°C, осадки отсутствовали или составляли от 4,0% до 50,0% нормы. В 3-ей декаде июня – 1-ой декаде июля (бутонизация – цветение) количество осадков и температура в пределах нормы. Во 2-3-ю декады июля (налив бобов) температура ниже нормы на 0,9°C, осадки выпадали неравномерно. ГТК=1,3.

В 2024 г. в течение вегетации осадки распределялись неравномерно. В мае, в 1-2 декаде июня, в 1 декаде июля их количество было в пределах нормы или выше. В 3 декаде июня (бутонизация), во 2 декаде июля (начало плодообразования) выпало осадков 44,0-64,0 % от климатической нормы. В 3 декаду июля и в 1 декаду августа (налив бобов) температура ниже нормы на 0,7-1,4°C. ГТК=1,4. Таким образом, погодные условия за годы исследований были контрастными: от слабо засушливых в 2023 и 2024 гг. до влажных в 2022 г., что позволило дать объективную оценку адаптивности и стрессоустойчивости сортообразцов сои.

Таблица 2

Агрометеорологические условия, г. Орел.

Показатели	Месяцы					$\Sigma t \geq 10^{\circ}\text{C}$	ГТК= $\frac{\Sigma \text{осадков}}{\Sigma \text{эффект. } t t \times 10}$
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь		
Средняя температура воздуха за месяц, °С							
Средняя многолетняя	13,8	16,8	18,0	17,0	11,7		
2022 г.	11,5	19,1	19,1	21,8	9,9	1778,7	2,2
2023 г.	11,6	17,1	19,2	20,3	15,3	2011,8	1,3
2024 г.	12,8	19,5	22,2	19,8	19,5	2294,0	1,4
Количество осадков за месяц, мм						Σ осадков	
Среднее многолетнее	51,0	73,0	81,0	63,0	67,0		
2022 г.	51,1	52,5	63,5	32,2	111,0	393,6	
2023 г.	16,8	55,9	77,3	43,9	0,0	241,5	
2024 г.	65,9	67,4	79,5	39,2	10,0	229,4	

Результаты и обсуждение

Двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверность различий, как по годам, так и между сортами (табл. 3). Наибольшее влияние на продуктивность оказали сортовые особенности – 61,32%, воздействие погодных факторов – на уровне 38,68%. Дисперсии факторов А и В достоверно влияют на продуктивность, что подтверждает критерий Фишера (F) $F_{\text{факт}} > F_{\text{критич}}$.

Таблица 3

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов, ss	Степени свободы, df	Среднее квадратичное, MS	Доля вкладов факторов, %	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{критич}}$	$P_{\text{знач}}$
Годы (А)	27,60	9	3,07	38,68	3,15	2,46	0,38
Сорта (В)	43,76	2	21,88	61,32	8,17	3,56	0,003

В таблице 4 представлены данные по продуктивности сортов сои за 3 года, необходимые для дальнейших расчетов пластичности и стабильности. Продуктивность в среднем по сортам в 2022 г. выше на 18% и 14% по сравнению с 2023 и 2024 гг. Средняя продуктивность по опыту составила 9,00 г/раст.

Индекс условий среды (I_j) отражает реакцию сорта на условия возделывания в конкретном году. В нашем опыте с учетом индекса условий среды наиболее благоприятные условия сложились во влажном 2022 г. ($I_j = +1,56$), в засушливые 2023 и 2024 гг. индекс условий среды составил $-1,39$ и $-0,17$ соответственно. В качестве контроля правильности расчетов используется ΣI_j , которая должна равняться нулю.

Для характеристики реакции генотипа на изменение условий среды используются коэффициент регрессии (b_i), определяющий пластичность, и степень дисперсии или индекс стабильности (Bd^2), дающий представление о стабильности продуктивности зерна (табл. 5). Коэффициент регрессии выше 1 говорит о высокой отзывчивости сортов Баргузин, Оникс 57, СК Дока, СК Фарта и Шатиловская 17 на благоприятные условия среды. Образцы Кора, Лира, Осмонь, Чара, у которых коэффициент регрессии значительно ниже 1, слабо реагируют на положительное изменение условий возделывания.

Таблица 4

Фактическая и теоретическая продуктивность зерна коллекционных сортов сои, г/растение

Сорт	Фактическая продуктивность				ΣY_i	Теоретическая продуктивность			Отклонение от фактической продуктивности		
	2022	2023	2024	Y_i		2022	2023	2024	2022	2023	2024
Баргузин	13,10	6,51	13,13	10,91	32,74	14,12	8,03	10,56	-1,02	-1,52	2,57
Белгородская7	9,09	6,76	8,24	8,03	24,09	9,21	6,97	7,90	-0,12	-0,21	0,34
Кора	9,36	8,24	9,58	9,06	27,18	9,57	8,60	9,00	-0,21	-0,36	0,06
Лира	8,74	8,37	7,10	8,07	24,21	8,32	7,85	8,04	0,42	0,52	-0,94
Оникс 57	12,63	8,52	8,02	9,72	29,17	11,98	7,69	9,47	0,65	0,83	-1,45
Осмонь	9,11	8,28	9,67	9,02	27,06	9,36	8,71	8,85	-0,25	-0,43	0,82
СК Дока	11,58	6,94	9,96	9,49	28,48	11,85	7,38	8,32	-0,27	-0,44	1,64
СК Фарта	12,11	6,37	9,49	9,32	27,97	12,28	6,67	7,85	-0,17	-0,3	1,64
Чара	7,84	7,45	6,64	7,31	21,93	7,54	7,10	7,20	0,30	0,35	-0,56
Шатиловская 17	11,98	8,66	6,46	9,03	27,10	10,97	7,29	8,07	1,01	1,37	-1,61
Y_j	10,55	8,61	9,03								
ΣY_j	105,5	76,1	88,29								
I_j	+1,56	-1,39	-0,17								
НСР ₀₅	2,62	1,57	1,70								

О стабильности реакции сортов судили по коэффициенту стабильности (Bd^2), рассчитанному по дисперсии отклонений фактической продуктивности зерна от теоретически ожидаемой. Чем меньше коэффициент, тем выше стабильность. Наиболее стабильными оказались сорта Белгородская 7 и Кора с коэффициентом стабильности 0,17, Чара – 0,52 и Осмонь – 0,92. Наименьшей стабильностью характеризуются сорта Баргузин с коэффициентом стабильности 9,96, Шатиловская 17 – 5,49, СК Дока – 2,95 и СК Фарта – 2,81.

Таблица 5

Адаптивность и стрессоустойчивость коллекционных сортов сои

Сорт	Пластичность b_i	Стабильность Bd^2	Гомеостатичность Hom	К-т адаптивности $KA, \%$	К-т вариации $CV, \%$	К-т выравнивания $B, \%$	Стрессоустойчивость $Y_{min}-Y_{max}$	Генетическая гибкость $(Y_{min}+Y_{max})/2$
Баргузин	2,07	9,96	1,10	121,25	34,94	65,06	-6,62	9,82
Белгородская 7	0,76	0,17	47,24	89,24	14,68	85,32	-2,33	7,93
Кора	0,33	0,17	53,29	100,69	7,93	92,07	-1,34	8,91
Ли́ра	0,16	1,33	6,07	89,69	10,66	89,34	-1,64	7,92
Оникс 57	1,46	3,21	3,03	108,02	26,02	73,98	-4,61	10,33
Осмонь	0,22	0,92	9,80	100,25	7,75	92,25	-1,39	8,98
СК Дока	1,52	2,95	3,22	105,47	24,81	75,19	-4,64	9,26
	1,91	2,81	3,32	103,58	30,82	69,18	-5,74	9,24
Чара	0,15	0,52	14,06	81,24	8,37	91,63	-1,20	7,24
Шатиловская 17	1,25	5,49	1,65	100,36	30,76	69,24	-5,52	9,22

Снижение варьирования урожайности в изменяющихся условиях внешней среды связано с гомеостатичностью. **Гомеостатичность** – это способность растительного организма поддерживать своё состояние и развитие в неблагоприятных условиях путем саморегуляции. Высокая гомеостатичность (Hom) отмечена у сортов Кора 53,29, Белгородская 7 – 47,24, Чара – 14,06. Сорта Шатиловская 17, Баргузин, Оникс 57, СК Фарта и СК Дока показали низкую гомеостатичность на уровне 1,10-3,22.

Коэффициент адаптивности (KA) характеризует общую норму реакции определенной выборки сортов на различные условия среды по годам. Если коэффициент адаптивности превышает 100 %, то сорт считается устойчивым к стрессорам различной напряженности и потенциально высокопродуктивным [10]. В нашем опыте этот показатель варьировал от 81,24% у сорта Чара до 121, 25% у сорта Баргузин. У сортов Баргузин, Кора, Оникс 57, Осмонь, СК Дока, СК Фарта и Шатиловская 17 коэффициент адаптивности выше 100%. Менее адаптивные сорта Белгородская 7, Ли́ра и Чара.

Коэффициент вариации (CV) используется в качестве показателя стабильности продуктивности сортов. В наших исследованиях низкая вариабельность продуктивности зерна наблюдалась у сортов Осмонь – 7,75%, Кора – 7,93 %, Чара – 8,37%. Высокая изменчивость у сортов СК Дока – 24,81%, Оникс 57 – 26,02, Шатиловская 17– 30,76%, СК Фарта – 30,82%.

В качестве меры относительной стабильности можно использовать коэффициент выравнивания (B), дополняющий значение коэффициента вариации до 100%. Коэффициент выравнивания или агрономической стабильности определяет уровень хозяйственной ценности сорта. Возделывание сортов, у которых этот показатель выше 70%, считается экономически целесообразным. Этому требованию соответствовало большинство сортов, исключая сорта Баргузин, СК Фарта и Шатиловская 17.

Стрессоустойчивость – это способность сорта переносить длительное или краткое действие отрицательных условий возделывания. Уровень стрессоустойчивости определяют по разности между минимальной ($Y_{\min}$) и максимальной ($Y_{\max}$) урожайностью. Этот показатель имеет отрицательное значение, и чем меньше разница между максимальным и минимальным уровнем, тем выше стрессоустойчивость сорта и шире диапазон его приспособительных возможностей. В наших исследованиях стрессоустойчивость изменялась от -1,2 г/растение у сорта Чара до -6,62 у сорта Баргузин. Высокая стрессоустойчивость от -1,2 до -1,64 г/растение отмечена у сортов Чара, Кора, Лира и Осмонь. Низкая стрессоустойчивость наблюдалась у сортов Оникс 57, СК Дока, СК Фарта, Шатиловская 17, Баргузин от 4,61 до -6,62 г/растение.

Генетическая гибкость – это способность сортов адаптироваться к различным условиям среды, не снижая продуктивность. Этот показатель отражает среднюю урожайность сорта в контрастных условиях. Чем выше значение генетической гибкости, тем больше степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды. В наших исследованиях стрессоустойчивые сорта характеризовались пониженной гибкостью. Сорта с низкой стрессоустойчивостью напротив отличались высокой гибкостью, что позволило им сформировать высокую продуктивность в благоприятных условиях 2022 г. Наибольшая генетическая гибкость 9,22-10,33 г/растение отмечена у сортов Оникс 57, Баргузин, СК Дока, СК Фарта, Шатиловская 17.

Для определения уровня адаптивности применили ранжирование практической ценности от 1 до 8 (2 сорта заняли третье место и 2 сорта – четвертое место); адаптивный потенциал определяли по сумме рангов (табл. 6). Низкое значение суммы рангов характеризует генотип сорта как высокоадаптивный. Наиболее высокий уровень адаптивности наблюдался у сортов Кора и Осмонь. Сорта Белгородская 7, СК Дока, Оникс 57 и Чара отнесены к генотипам с высоким адаптивным потенциалом.

Таблица 6

Ранжирование сортов сои по показателям адаптивности, рассчитанных различными способами

Сорт	b_i	Bd^2	Ном	КА, %	CV, %	В, %	$Y_{\min}-Y_{\max}$	$(Y_{\min}+Y_{\max})/2$	Сумма рангов
Баргузин	1	9	10	1	10	10	10	2	51 (7)
Белгородская 7	6	1	2	9	5	5	5	8	41 (3)
Кора	7	1	1	5	2	2	2	7	27 (1)
Лира	9	4	5	8	4	4	4	9	47 (5)
Оникс 57	4	7	8	2	7	7	6	1	42 (4)
Осмонь	8	3	4	7	1	1	3	6	33 (2)
СК Дока	3	6	7	3	6	6	7	3	41 (3)
СК Фарта	2	5	6	4	9	9	9	4	48 (6)
Чара	10	2	3	10	3	3	1	10	42 (4)
Шатиловская 17	5	8	9	6	8	8	8	5	57 (8)

Заключение

Благоприятные погодные условия для формирования высокой продуктивности сложились в 2022 году, характеризующемся достаточной влагообеспеченностью по сравнению со слабо засушливыми 2023 и 2024 годами. Индекс условий в 2022 г. положительный $I_j = +1,56$.

В результате комплексной агроэкологической оценки 10 коллекционных сортообразцов выявлены сорта Баргузин, Оникс 57, СК Дока и СК Фарта с высокой продуктивностью зерна (9,32-10,91 г/растение), характеризующиеся значительными пластичностью ($b_i=1,46-2,07$), адаптивностью (КА=103,58-121,25%) и генетической гибкостью (9,24-10,33 г/растение).

Высокую стабильность проявили сорта Белгородская 7, Кора и Чара ($\sigma_d^2=0,17-0,52$); значительную гомеостатичность ($Hom=47,24-53,29$) – Белгородская 7 и Кора; низкую вариабельность ($CV=7,75-8,37\%$) – Осмонь, Кора и Чара; высокую стрессоустойчивость от -1,20 до -1,39 – Чара, Кора и Осмонь; коэффициент выравненности В выше 70% у всех сортов, исключая Баргузин, СК Фарта и Шатиловскую 17.

Наиболее ценными образцами высокоинтенсивного типа, отзывчивыми на улучшение внешних условий, с высоким уровнем адаптивности по сумме рангов являются сорта Кора и Осмонь. Сорта Белгородская 7, СК Дока, Оникс 57 и Чара в достаточной степени адаптированы к почвенно-климатическим условиям ЦЧР. Перечисленные образцы могут служить источниками хозяйственно полезных признаков в селекционном процессе.

Таким образом, сорта, созданные в 2011-2018 гг. (Белгородская 7, Чара, Осмонь) проявили высокую стабильность, гомеостатичность, стрессоустойчивость и низкую вариабельность. Более современные сорта (Баргузин, СК Дока, СК Фарта, Оникс 57), полученные в 2020-2026 гг., отличаются значительными пластичностью, адаптивностью и генетической гибкостью, что позволило им сформировать продуктивность зерна на 18% выше, чем у сортов предыдущих лет в условиях меняющегося климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по Гранту 075-15-2021-546.

Литература

1. Иванов С.В., Рамазанова С.А., Гучетль С.З. и др. Использование молекулярно-генетических маркеров для идентификации генов чувствительности к фотопериоду в селекционном материале сои. // Масличные культуры. – 2024. – Вып. 2 (198). – С. 3-9.
2. Бельштина М.Е., Кобозева Т.П., Заренкова Н.В и др. // Структура, продуктивность и кормовая ценность надземной биомассы сои северного экотипа в условиях Центрального Нечерноземья. // Агронаука. – 2024. – № 1. – С. 5-15.
3. Головина Е.В., Зайцев В.Н. Влияние погодных условий на водный режим, пигментный комплекс и продуктивность сои. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – №2 (18). – С. 111-116.
4. Головина Е.В. Система защитных механизмов растений сои в связи с адаптацией к контрастным погодным условиям ЦЧР. // В сборнике: Механизмы регуляции продукционного процесса растений: от молекул до экосистем. Материалы Международной научной конференции. V чтения, посвященные памяти профессора Ефремова Степана Ивановича. Орёл. – 2022. – С. 30-38.
5. Драгавцев В.А., Михайленко И.М., Проскуряков М.А. Неканонический подход к решению задачи наследственного повышения засухоустойчивости у растений (на примере хлебных злаков). // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 3. – С. 487-500.
6. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // American Journal of Plant Sciences. 2020. – Vol. 11. – P. 1-10.
7. Головина Е.В. Исследование засухоустойчивости и водного обмена сортов сои северного экотипа. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – №1 (33). – С. 45-49. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11154
8. Кузнецова Н.Ф. Засухи в лесостепной зоне Центрально-Черноземного района и критерии оценки их интенсивности. // Изв. Саратов. ун-та: Новая серия: Сер. Науки о Земле. – 2019. – № 3 (19). С. 142-148.
9. Манукян И.Р. Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа. // Аграрный вестник Урала. – 2025. – Т. 25. – № 2. – С. 164-175.

References

1. Ivanov S.V., Ramazanova S.A., Guchetl' S.Z. et al. Use of molecular genetic markers for identification of photoperiod sensitivity genes in soybean breeding material. *Maslichnye kul'tury*. 2024, Iss. 2 (198), pp. 3-9. (In Russian)
2. Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zarenkova N.V et al. Structure, productivity and feed value of aboveground biomass of soybean of the northern ecotype in the conditions of the Central Non-Black Earth Region, *Agronauka*, 2024, no. 1, pp. 5-15. (In Russian)
3. Golovina E.V., Zaitsev V.N. The influence of weather conditions on water regime, pigment complex and productivity of soybeans, *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2016, no.2 (18), pp. 111-116. (In Russian)
4. Golovina E.V. The system of defense mechanisms of soybean plants in connection with adaptation to the contrasting weather conditions of the Central Black Earth Region, in: Mechanisms of regulation of the production process in plants: from molecules to ecosystems. Proceedings of the International Scientific Conference. V Readings dedicated to the memory of Professor Stepan Ivanovich Efremov. Orel, 2022, pp. 30-38. (In Russian)
5. Dragavtsev V.A., Mikhailenko I.M., Proskuryakov M.A. A non-canonical approach to solving the problem of hereditary increase in drought resistance in plants (using cereals as an example), *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2017, Vol. 52, no. 3, pp. 487-500. (In Russian)
6. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.), *American Journal of Plant Sciences*. 2020, Vol. 11, P. 1-10.
7. Golovina E.V. Study of drought resistance and water exchange of soybean varieties of the northern ecotype. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2020, no.1 (33), pp. 45-49. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11154 (In Russian)
8. Kuznetsova N.F. Droughts in the forest-steppe zone of the Central Black Earth region and criteria for assessing their intensity. *Izv. Sarat. un-ta: Novaya seriya: Ser. Nauki o Zemle*. 2019, no. 3 (19), pp. 142-148. (In Russian)
9. Manukyan I.R. Comparative assessment of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarnyi vestnik Urala*, 2025, Vol. 25, no. 2, pp. 164-175. (In Russian)