

Изучение трансгрессивной изменчивости и прогнозирование отбора в популяции гибридов сои второго поколения

А. П. Галиченко¹✉, Т. А. Асеева², Е. М. Фокина¹

¹ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия

² Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия

✉ E-mail: tap198936@gmail.com

Аннотация. Цель исследования – провести селекционно-генетический анализ внутривидовых гибридов сои второго поколения с использованием показателей степени и частоты положительных трансгрессий, величины коэффициента наследуемости и генетического сдвига для прогнозирования отбора в следующем поколении гибридов. **Методы.** Исследования проводили в 2023 г. в лаборатории селекции ФНЦ ВНИИ сои. Оценку проводили по четырем хозяйственно полезным признакам: количество бобов на растении, количество семян с растения, масса семян с растения и масса 1000 семян. **Результаты.** Установлены высокие показатели степени и частоты проявления положительных трансгрессий во всех изучаемых комбинациях скрещивания ($T_c = 61,0 \dots 126,5 \%$, $T_q = 68,0 \dots 89,8 \%$). Коэффициент наследуемости в зависимости от признака и комбинации скрещивания находился в пределах 21,2–86,9 %. Величина генетического сдвига при отборе в третьем поколении гибридов по количеству бобов на растении составила 78,62–115,53 шт., по количеству семян – 168,56–284,68 шт., по массе семян – 33,13–49,42 г, массе 1000 семян – 180,15–225,00 г. Максимальные ожидаемые значения при отборе в следующем поколении зафиксированы по количеству бобов на одном растении, количеству семян с одного растения и массе семян с одного растения в комбинациях: ♀ Сентябрька × ♂ Саска (115,5 шт. бобов, 284,6 шт. семян и 47,8 г семян с одного растения) и ♀ Сентябрька × ♂ Хэйхэ 12 (105,1 шт. бобов, 269,0 шт. семян и 49,4 г семян с одного растения). **Научная новизна.** Впервые в условиях Амурской области изучены генетические параметры отдельных хозяйственно полезных признаков у гибридов сои F_2 девяти комбинаций скрещивания с применением методов количественной генетики для решения селекционных задач.

Ключевые слова: соя, гибрид, трансгрессия, коэффициент наследуемости, генетический сдвиг, прогноз отбора

Для цитирования: Галиченко А. П., Асеева Т. А., Фокина Е. М. Изучение трансгрессивной изменчивости и прогнозирование отбора в популяции гибридов сои второго поколения // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 08. С. 1154–1163. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-08-1154-1163>.

Дата поступления статьи: 06.01.2025, **дата рецензирования:** 24.06.2025, **дата принятия:** 28.07.2025.

Research on transgressive variability and prediction of selection in population of second-generation soybean hybrids

A. P. Galichenko¹✉, T. A. Aseeva², E. M. Fokina¹

¹ Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveshchensk, Russia

² Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

✉E-mail: tap198936@gmail.com

Abstract. Research purpose is to conduct a selection and genetic analysis of second-generation intraspecific soybean hybrids using the indicators of the degree and frequency of positive transgressions, value of the heritability estimate and genetic shift to predict selection in the next generation of hybrids. **Methods.** The research was conducted in 2023 at the selection laboratory of the Federal Scientific Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean. Four economically useful traits were evaluated: number of beans per plant, number of seeds per plant, seed weight per plant and weight of 1000 seeds. **Results.** High indicators of the degree and frequency of positive transgressions were established in all cross combinations under study ($T_d = 61.0...126.5\%$, $T_f = 68.0...89.8\%$). The heritability estimate depending on the trait and the crossing combination was within the range of 21.2–86.9%. The magnitude of the genetic shift during selection in the third generation of hybrids for the number of beans per plant was 78.62–115.53 pcs., for the number of seeds – 168.56–284.68 pcs., for the seed weight 33.13–49.42 g and for the weight of 1000 seeds – 180.15...225.00 g. The maximum expected values during selection in the next generation were recorded for the number of beans per plant, the number of seeds per plant and the weight of seeds per plant in combinations: ♀ Sentyabrinka × ♂ Saska (115.5 beans, 284.6 seeds and 47.8 g of seeds per plant) and ♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 12 (105.1 beans, 269.0 seeds and 49.4 g of seeds per plant). **Scientific novelty.** For the first time in the conditions of Amur region, genetic parameters of several economically useful traits in soybean F_2 hybrids of nine crossing combinations were studied using quantitative genetics methods to solve selection problems.

Keywords: soya, hybrid, transgression, heritability estimate, genetic shift, selection prediction

For citation: Galichenko A. P., Aseeva T. A., Fokina E. M. Research on transgressive variability and prediction of selection in population of second-generation soybean hybrids. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (08): 1154–1163. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-08-1154-1163>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.01.2025, **date of review:** 24.06.2025, **date of acceptance:** 28.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Одной из важнейших задач в селекции всех сельскохозяйственных культур является выведение новых сортов с высокими и устойчивыми показателями урожайности [1; 2]. Селекционные программы по созданию сортов нового поколения наиболее результативны, если основываются на знаниях о наследовании признаков гибридами от исходных родительских форм с использованием селекционно-генетических показателей, какими являются степень и частота проявления положительных трансгрессий, коэффициент наследуемости признаков и величина генетического сдвига. Сопоставление результатов проявления этих величин у гибридного потомства позволяет выявить лучшие генотипы гибридов и более объективно прогнозировать пути повышения результативности отбора в последую-

щих поколениях по отдельным хозяйственно полезным признакам в конкретной гибридной комбинации [3–5].

Трансгрессия – это результат совокупного действия полимерных генов, который проявляется в стабильном росте (положительная трансгрессия) или снижении (отрицательная трансгрессия) величины отдельных полимерно наследующихся показателей у некоторых гибридов в сравнении с предельными (соответственно положительными или отрицательными) выражениями данного признака у исходных родительских форм. Частично это вызвано гетерозисом, который наиболее выражен у гибридов первого поколения и проявляется, когда среднее значение признака у гибридов превышает фенотипические значения обеих родительских форм. Эпистатические взаимодействия родитель-

ских аллелей и эффекты комплементации аддитивных аллелей считаются основными причинами положительной или отрицательной трансгрессии [6–8]. генетический аппарат возникновения трансгрессий охватывает все варианты взаимодействия как между аллелями, так и между генами материнских и отцовских родительских форм. В результате широкого распространения трансгрессивной селекции были получены ценные формы многих сельскохозяйственных культур с улучшенными хозяйственно ценными признаками [9–11].

Оценка коэффициента наследуемости наряду с генетическим сдвигом дает представление о генетической структуре популяции [11]. Величина наследуемости определяет степень изменчивости генотипа во всем фенотипическом многообразии популяции по некоторым хозяйственно полезным признакам. Влияние генотипической изменчивости тем больше, чем выше коэффициент наследуемости, и, наоборот, чем сильнее влияние паратипических показателей, тем ниже наследуемость признака и тем сложнее правильно проанализировать при отборе по фенотипу наследственные особенности гибридного потомства. При высокой наследуемости происходит сильный генетический сдвиг гибридного потомства, при низкой наследуемости – фактически абсолютный возврат к средним значениям исходного поколения [12–14].

Создание и улучшение новых сортов сои посредством отбора зависит от вариабельности исходных генотипов, которая может быть обусловлена либо различной генетической структурой сортов, либо различиями в условиях выращивания. Эффективность отбора проявляется лишь в том случае, если наблюдаемая изменчивость популяции обладает наследственным характером. Таким образом, генетическая изменчивость генофонда становится важной предпосылкой для успешного осуществления программы селекции [15; 16]. Поскольку большинство признаков, влияющих на урожайность, являются полигенными, важно оценить тип вариаций, имеющихся в исходном материале. Следует отметить, что выбор типа селекционной программы для выведения новых сортов во многом зависит от наличия генетической изменчивости в изучаемом виде. Анализ наследственности дает представление о передаче признаков от одного поколения к другому, поскольку последовательность результатов отбора зависит от наследственной части изменчивости. Использование в селекционном процессе генетических и статистических показателей значительно увеличивает эффективность отбора в ранних поколениях. Таким образом, от предоставления селекционеру возможности для оценки таких важных параметров, как изменчивость, наследственность и генетический сдвиг, зависит успех селекционной программы [17; 18].

Целью данного исследования было проведение селекционно-генетического анализа внутривидовых гибридов сои второго поколения с использованием показателей степени и частоты положительных трансгрессий, величины коэффициента наследуемости и генетического сдвига для прогнозирования отбора в следующем поколении гибридов.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в 2023 году в питомнике гибридов сои второго поколения на экспериментальном участке ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, расположенном в с. Садовое Тамбовского округа. Объектом исследования являлись 9 гибридных комбинаций, полученных в результате простых скрещиваний с использованием эколого-географического принципа подбора исходных родительских форм. В качестве материнских форм использовали высокопродуктивные сорта сои селекции института: скороспелый сорт Сентябринка и среднеспелый Куханна; в качестве отцовских форм – сорта иностранного происхождения из американской, европейской и азиатской эколого-географических зон (ЭГЗ).

Посев гибридов осуществляли вручную на двухметровых делянках, площадь питания одного растения 45×10 см. В период вегетации сои проводили фенологические наблюдения, анализ по морфологическим признакам, идентификацию истинных и ложных гибридов и навязывание цветных вязок по срокам созревания. Все растения убирали вручную, в лабораторных условиях выполняли биометрический анализ и индивидуальный обмолот каждого растения [19].

Родительские формы и гибриды F2 изучали по четырем показателям: количество бобов, количество семян, масса семян с одного растения и масса 1000 семян. У гибридных растений определяли степень и частоту положительных трансгрессий изучаемых признаков по методике Г. С. Воскресенской и В. И. Шпота [20], вычисляли коэффициент наследуемости (H^2), который равен удвоенному коэффициенту регрессии между фенотипами родителей и гибридов [12]. По значениям коэффициента наследуемости признаки делятся на низконаследуемые ($H^2 = 0,5 \dots 25$), средненаследуемые ($H^2 = 26 \dots 59$) и высоконаследуемые ($H^2 = 60$ и более) [13].

Используя показатели наследуемости и селекционного дифференциала (S_d), который представляет собой разность средних значений признака отобранной группы и всей популяции, определяли генетический сдвиг (R) от отбора по определенному признаку и его величину при отборе в следующем поколении. Отбор во всех гибридных комбинациях для расчета селекционного дифференциала был проведен с 20-процентной интенсивностью [8; 12].

Таблица 1

Степень и частота трансгрессии у гибридов сои второго поколения, %

Комбинация скрещивания	Количество бобов		Количество семян		Масса семян с одного растения		Масса 1000 семян	
	T _c	T _ч	T _c	T _ч	T _c	T _ч	T _c	T _ч
Американская эколого-географическая зона								
♀ Сентябрька × ♂ Jim	76,9	83,3	94,9	76,7	115,2	80,0	19,8	65,0
♀ Сентябрька × ♂ Саска	99,5	89,8	94,2	82,9	93,4	72,7	6,2	13,6
♀ Сентябрька × ♂ Киото	66,9	72,0	85,5	73,3	87,5	68,0	3,8	16,0
Европейская эколого-географическая зона								
♀ Сентябрька × ♂ Кордоба	70,3	69,6	80,5	70,4	61,0	86,9	3,8	8,7
♀ Сентябрька × ♂ Терек	91,2	76,7	126,5	73,3	111,8	71,7	4,2	16,7
♀ Сентябрька × ♂ Н. С. Катя	88,8	88,1	89,5	86,4	85,5	78,0	7,9	15,2
Азиатская эколого-географическая зона								
♀ Сентябрька × ♂ Hidaka	81,9	79,0	102,2	77,8	81,8	69,1	0	0
♀ Сентябрька × ♂ Хэйхэ 12	111,6	84,5	110,3	80,6	115,8	76,7	5,7	12,6
♀ Сентябрька × ♂ Хэйхэ 43	85,4	85,8	90,0	84,4	93,2	73,6	5,9	18,5

Agrotechnologies

Table 1

Degree and frequency of transgression in second generation soybean hybrids, %

Crossbreeding combination	Number of beans		Number of seeds		Weight of seeds per plant		Weight of 1000 seeds	
	T _d	T _f	T _d	T _f	T _d	T _f	T _d	T _f
American ecological-geographical zone								
♀ Sentyabrinka × ♂ Jim	76.9	83.3	94.9	76.7	115.2	80.0	19.8	65.0
♀ Sentyabrinka × ♂ Saska	99.5	89.8	94.2	82.9	93.4	72.7	6.2	13.6
♀ Sentyabrinka × ♂ Kioto	66.9	72.0	85.5	73.3	87.5	68.0	3.8	16.0
European ecological-geographical zone								
♀ Sentyabrinka × ♂ Kordoba	70.3	69.6	80.5	70.4	61.0	86.9	3.8	8.7
♀ Sentyabrinka × ♂ Terek	91.2	76.7	126.5	73.3	111.8	71.7	4.2	16.7
♀ Sentyabrinka × ♂ N. S. Katya	88.8	88.1	89.5	86.4	85.5	78.0	7.9	15.2
Asian ecological-geographical zone								
♀ Sentyabrinka × ♂ Hidaka	81.9	79.0	102.2	77.8	81.8	69.1	0	0
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 12	111.6	84.5	110.3	80.6	115.8	76.7	5.7	12.6
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 43	85.4	85.8	90.0	84.4	93.2	73.6	5.9	18.5

Результаты (Results)

В результате комплексного анализа гибридного потомства второго поколения выявлены трансгрессивные формы сои по основным элементам структуры урожая: количеству бобов, количеству семян, массе семян с одного растения и массе 1000 семян. Положительные значения степени трансгрессии варьировали в пределах 3,8...126,5 %, частоты трансгрессии – 8,7...89,8 % (таблица 1).

По количеству продуктивных бобов на растении зафиксированы высокие показатели степени и частоты трансгрессии во всех изучаемых комбинациях скрещивания (T_c = 70,3...111,6 %, T_ч = 69,6...89,8 %). Наибольшее количество трансгрессивных форм по данному признаку отмечено у 89,8 % гибридов в комбинации с отцовской формой из американской эколого-географической зоны

♀ Сентябрька × ♂ Саска, превысивших лучшую родительскую форму на 99,5 % и в комбинации с отцовской формой из азиатской эколого-географической зоны ♀ Сентябрька × ♂ Хэйхэ 12, в которой 84,5 % гибридного потомства превзошли лучшего родителя на 111,6 %.

По количеству семян с растения также выявлены высокие показатели степени и частоты трансгрессии во всех изучаемых комбинациях скрещивания (T_c = 80,5...126,5 %, T_ч = 70,4...86,4 %). гибридные популяции трех комбинаций, с отцовскими формами из европейской (♀ Сентябрька × ♂ Терек) и азиатской (♀ Сентябрька × ♂ Hidaka; ♀ Сентябрька × ♂ Хэйхэ 12) эколого-географических зон в 73,3...80,6 % случаев превзошли родительские формы по количеству семян с растения на 102,2...126,5 %.

Таблица 2

Прогноз отбора в популяции гибридов сои по количеству бобов на растении

Комбинация скрещивания	$\bar{x} \pm S_x$, шт.	H^2 , %	Sd , шт/раст	R , шт/раст	Ожидаемое значение признака при отборе в F_3 , шт.
Американская эколого-географическая зона					
♀ Сентябринка × ♂ Jim	71,1 ± 3,2	40,8	19,8	8,1	79,2
♀ Сентябринка × ♂ Саска	88,8 ± 3,5	83,9	31,8	26,7	115,5
♀ Сентябринка × ♂ Киото	78,3 ± 3,6	68,4	30,5	20,9	99,2
Европейская эколого-географическая зона					
♀ Сентябринка × ♂ Кордоба	76,0 ± 2,9	60,6	40,4	24,5	100,5
♀ Сентябринка × ♂ Терек	70,2 ± 3,7	48,3	31,4	15,2	85,4
♀ Сентябринка × ♂ Н. С. Катя	74,6 ± 3,3	46,8	26,9	12,6	87,2
Азиатская эколого-географическая зона					
♀ Сентябринка × ♂ Hidaka	65,2 ± 3,0	41,1	32,6	13,4	78,6
♀ Сентябринка × ♂ Хэйхэ 12	82,4 ± 3,0	75,9	29,9	22,7	105,1
♀ Сентябринка × ♂ Хэйхэ 43	65,7 ± 1,8	67,8	40,3	27,3	93,0

Table 2

Prediction of selection in a population of soybean hybrids based on the number of beans per plant

Crossbreeding combination	$\bar{x} \pm S_x$, pcs.	H^2 , %	Sd , pieces per plant	R , pieces per plant	Expected value of the trait during selection in F_3 , pcs.
American ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Jim	71.1 ± 3.2	40.8	19.8	8.1	79.2
♀ Sentyabrinka × ♂ Saska	88.8 ± 3.5	83.9	31.8	26.7	115.5
♀ Sentyabrinka × ♂ Kioto	78.3 ± 3.6	68.4	30.5	20.9	99.2
European ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Kordoba	76.0 ± 2.9	60.6	40.4	24.5	100.5
♀ Sentyabrinka × ♂ Terek	70.2 ± 3.7	48.3	31.4	15.2	85.4
♀ Sentyabrinka × ♂ N. S. Katya	74.6 ± 3.3	46.8	26.9	12.6	87.2
Asian ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Hidaka	65.2 ± 3.0	41.1	32.6	13.4	78.6
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 12	82.4 ± 3.0	75.9	29.9	22.7	105.1
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 43	65.7 ± 1.8	67.8	40.3	27.3	93.0

Высокие значения степени и частоты трансгрессии изучаемых комбинаций скрещивания зафиксированы по массе семян с одного растения ($T_c = 61,0...115,8$ %, $T_q = 68,0...86,9$ %). Наибольшее количество трансгрессивных форм по данному признаку отмечено у 86,9 % гибридов в комбинации с отцовской формой из европейской эколого-географической зоны ♀ Сентябринка × ♂ Кордоба, превысивших лучшую родительскую форму на 60,0 %. По степени проявления трансгрессии ($T_c = 71,7...80,0$ %) выделено три комбинации с отцовскими формами из американской (♀ Сентябринка × ♂ Jim), европейской (♀ Сентябринка × ♂ Терек) и азиатской (♀ Сентябринка × ♂ Хэйхэ 12) эколого-географических зон, превзошедшие лучшие родительские формы на 111,8...115,8 %.

По массе 1000 семян практически у всех гибридных комбинаций выявлена низкая степень трансгрессии (3,8...7,9 %) с частотой проявления 8,7...18,5 %. У 19,8 % гибридов комбинации с отцовской формой из американской эколого-геогра-

фической зоны ♀ Сентябринка × ♂ Jim отмечено наибольшее количество трансгрессивных форм по данному признаку, превышающих лучшую родительскую форму на 65,0 %. В комбинации ♀ Сентябринка × ♂ Hidaka трансгрессия по данному признаку не проявилась.

В результате оценки показателей наследуемости и значений селекционного дифференциала определен предполагаемый генетический сдвиг от отбора по изучаемым хозяйственно ценным признакам, а также его величина при отборе в следующем поколении гибридов (F_3).

Коэффициент наследуемости в зависимости от признака и комбинации скрещивания варьировал в пределах 21,2...86,9 % (таблицы 2–5). По количеству бобов на растении высокие показатели наследуемости зафиксированы в комбинациях с отцовскими формами из американской (♀ Сентябринка × ♂ Саска – 83,9 %; ♀ Сентябринка × ♂ Киото – 68,4 %), европейской (♀ Сентябринка × ♂ Кордоба – 60,6 %) и азиатской (♀ Сентябринка × ♂ Хэйхэ

12 – 75,9 %; ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43 – 67,8 %) эколого-географических зон (таблица 2). Наибольший генетический сдвиг при отборе наблюдался в комбинациях ♀ Сентябрьринка × ♂ Саска – 26,7 штуки с растения, или 30,1 %; ♀ Сентябрьринка × ♂ Киото – 20,9 штуки с растения, или 26,7 %; ♀ Сентябрьринка × ♂ Кордоба – 24,5 штуки с растения, или 32,2 %; ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 12 – 22,7 штуки с растения, или 27,6 %; ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43 – 27,3 штуки с растения, или 41,5 %. Ожидаемое значение признака при отборе в следующем поколении: 115,5; 99,2; 100,5; 105,1 и 93,0 боба на растении соответственно.

По количеству семян на растении высокий коэффициент наследуемости отмечен в комбинациях ♀ Сентябрьринка × ♂ Jim – 77,7 %, ♀ Сентябрьринка × ♂ Саска – 83,8 %, ♀ Сентябрьринка × ♂ Киото – 77,9 %, ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 12 – 80,2 % и ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43 – 67,6 % (таблица 3). Максимальные значения генетического сдвига при отборе наблюдались в комбинациях ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 12 – 81,7 штуки с растения (43,6 %) и

♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43 – 84,5 штуки с растения (52,0 %), ожидаемое значение признака при отборе в F_3 – 269,0 и 247,0 семян с одного растения соответственно. Следует отметить, что наибольшее значение предполагаемого сдвига при отборе в следующем поколении зафиксировано в комбинации ♀ Сентябрьринка × ♂ Саска – 284,6 семян с одного растения.

Высокий коэффициент наследуемости у внутривидовых гибридов сои второго поколения по признаку массы семян с одного растения зафиксирован в комбинациях с отцовскими формами из американской и азиатской эколого-географических зон: ♀ Сентябрьринка × ♂ Саска – 85,0 %, ♀ Сентябрьринка × ♂ Киото – 72,8 %, ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 12 – 86,9 % и ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43 – 73,8 % (таблица 4). Наибольшие показатели генетического сдвига наблюдались в комбинациях ♀ Сентябрьринка × ♂ Саска – 11,6 г (32,0 %), ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 12 – 12,2 г (32,7 %) и ♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43 – 14,5 г (48,0 %), прогнозируемая величина признака при отборе в следующем поколении составила 47,8 г, 49,4 г и 44,7 г соответственно.

Таблица 3

Прогноз отбора в популяции гибридов сои по количеству семян с растения

Комбинация скрещивания	$\bar{x} \pm S_x$, шт.	H^2 , %	Sd , шт/раст	R , шт/раст	Ожидаемое значение признака при отборе в F_3 , шт.
Американская эколого-географическая зона					
♀ Сентябрьринка × ♂ Jim	158,1 ± 7,9	77,7	64,0	49,7	207,8
♀ Сентябрьринка × ♂ Саска	208,8 ± 9,1	83,8	90,5	75,8	284,6
♀ Сентябрьринка × ♂ Киото	187,0 ± 9,5	77,9	100,2	78,0	265,0
Европейская эколого-географическая зона					
♀ Сентябрьринка × ♂ Кордоба	176,0 ± 7,5	51,1	101,0	51,6	227,6
♀ Сентябрьринка × ♂ Терек	165,5 ± 10,4	45,5	87,3	39,7	205,2
♀ Сентябрьринка × ♂ Н. С. Катя	168,6 ± 7,8	30,5	69,1	21,1	189,7
Азиатская эколого-географическая зона					
♀ Сентябрьринка × ♂ Hidaka	140,1 ± 7,4	31,4	90,6	28,4	168,5
♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 12	187,3 ± 7,7	80,2	101,9	81,7	269,0
♀ Сентябрьринка × ♂ Хэйхэ 43	162,5 ± 4,8	67,6	125,0	84,5	247,0

Table 3

Prediction of selection in a population of soybean hybrids based on the number of seeds per plant

Crossbreeding combination	$\bar{x} \pm S_x$, pcs.	H^2 , %	Sd , pieces per plant	R , pieces per plant	Expected value of the trait during selection in F_3 , pcs.
American ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka r × ♂ Jim	158.1 ± 7.9	77.7	64.0	49.7	207.8
♀ Sentyabrinka × ♂ Saska	208.8 ± 9.1	83.8	90.5	75.8	284.6
♀ Sentyabrinka × ♂ Kioto	187.0 ± 9.48	77.9	100.2	78.0	265.0
European ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Kordoba	176.0 ± 7.5	51.1	101.0	51.6	227.6
♀ Sentyabrinka × ♂ Terek	165.5 ± 10.4	45.5	87.3	39.7	205.2
♀ Sentyabrinka × ♂ N. S. Katya	168.6 ± 7.8	30.5	69.1	21.1	189.7
Asian ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Hidaka	140.1 ± 7.4	31.4	90.6	28.4	168.5
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 12	187.3 ± 7.7	80.2	101.9	81.7	269.0
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 43	162.5 ± 4.8	67.6	125.0	84.5	247.0

По массе 1000 семян наследуемость признака была высокой в комбинациях с участием отцовских форм из американской ♀ Сентабринка × ♂ Jim (62,3 %), европейской ♀ Сентабринка × ♂ Н. С. Катя (69,2 %) и азиатской ♀ Сентабрин-

ка × ♂ Хэйхэ 12 (68,0 %) эколого-географических зон. генетический сдвиг в данных комбинациях составил 21,3 г, 22,2 г и 23,81 г, ожидаемое значение признака при отборе в F_3 – 206,8 г, 198,5 г и 225,0 г соответственно (таблица 5).

Таблица 4
Прогноз отбора в популяции гибридов сои по массе семян с растения

Комбинация скрещивания	$\bar{x} \pm S_x$, шт.	H^2 , %	Sd , шт/раст	R , шт/раст	Ожидаемое значение признака при отборе в F_3 , г
Американская эколого-географическая зона					
♀ Сентабринка × ♂ Jim	29,4 ± 1,7	46,4	11,7	5,4	34,8
♀ Сентабринка × ♂ Саска	36,2 ± 1,7	85,0	13,6	11,6	47,8
♀ Сентабринка × ♂ Киото	32,5 ± 1,8	72,8	12,5	9,1	41,6
Европейская эколого-географическая зона					
♀ Сентабринка × ♂ Кордоба	33,0 ± 1,5	41,8	19,0	7,9	40,9
♀ Сентабринка × ♂ Терек	28,9 ± 1,9	32,0	13,3	4,2	33,1
♀ Сентабринка × ♂ Н. С. Катя	30,7 ± 1,6	47,5	11,5	5,4	36,1
Азиатская эколого-географическая зона					
♀ Сентабринка × ♂ Hidaka	27,8 ± 1,5	37,4	15,0	5,6	33,4
♀ Сентабринка × ♂ Хэйхэ 12	37,2 ± 1,6	86,9	14,0	12,2	49,4
♀ Сентабринка × ♂ Хэйхэ 43	30,2 ± 0,9	73,8	19,6	14,5	44,7

Table 4
Prediction of selection in a population of soybean hybrids based on seed weight per plant

Crossbreeding combination	$\bar{x} \pm S_x$, pcs.	H^2 , %	Sd , pieces per plant	R , pieces per plant	Expected value of the trait during selection in F_3 , pcs.
American ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Jim	29.4 ± 1.7	46.4	11.7	5.4	34.8
♀ Sentyabrinka × ♂ Saska	36.2 ± 1.7	85.0	13.6	11.6	47.8
♀ Sentyabrinka × ♂ Kioto	32.5 ± 1.8	72.8	12.5	9.1	41.6
European ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Kordoba	33.0 ± 1.5	41.8	19.0	7.9	40.9
♀ Sentyabrinka × ♂ Terek	28.9 ± 1.9	32.0	13.3	4.2	33.1
♀ Sentyabrinka × ♂ N. S. Katya	30.7 ± 1.6	47.5	11.5	5.4	36.1
Asian ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Hidaka	27.8 ± 1.5	37.4	15.0	5.6	33.4
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 12	37.2 ± 1.6	86.9	14.0	12.2	49.4
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 43	30.2 ± 0.9	73.8	19.6	14.5	44.7

Таблица 5
Прогноз отбора в популяции гибридов сои по массе 1000 семян

Комбинация скрещивания	$\bar{x} \pm S_x$, шт.	H^2 , %	Sd , шт/раст	R , шт/раст	Ожидаемое значение признака при отборе в F_3 , г
Американская эколого-географическая зона					
♀ Сентабринка × ♂ Jim	185,5 ± 3,2	62,3	34,1	21,3	206,8
♀ Сентабринка × ♂ Саска	175,6 ± 2,3	21,2	36,8	7,8	183,4
♀ Сентабринка × ♂ Киото	170,0 ± 2,0	37,1	25,9	9,6	179,6
Европейская эколого-географическая зона					
♀ Сентабринка × ♂ Кордоба	191,1 ± 1,7	28,4	31,0	8,8	199,9
♀ Сентабринка × ♂ Терек	175,4 ± 2,1	21,0	22,8	4,8	180,2
♀ Сентабринка × ♂ Н. С. Катя	176,3 ± 2,6	69,2	32,0	22,2	198,5
Азиатская эколого-географическая зона					
♀ Сентабринка × ♂ Hidaka	195,7 ± 2,2	24,2	35,1	8,5	204,2
♀ Сентабринка × ♂ Хэйхэ 12	201,2 ± 2,1	68,0	35,0	23,8	225,0
♀ Сентабринка × ♂ Хэйхэ 43	189,0 ± 1,2	23,3	30,5	7,1	196,1

Table 5

Forecast of selection in a population of soybean hybrids based on the weight of 1000 seeds

Crossbreeding combination	$\bar{x} \pm S_x$, pcs.	H^2 , %	S_d , pieces per plant	R , pieces per plant	Expected value of the trait during selection in F_2 , g
American ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Jim	185.5 ± 3.2	62.3	34.1	21.3	206.8
♀ Sentyabrinka × ♂ Saska	175.6 ± 2.3	21.2	36.8	7.8	183.4
♀ Sentyabrinka × ♂ Kioto	170.0 ± 2.0	37.1	25.9	9.6	179.6
European ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Kordoba	191.1 ± 1.7	28.4	31.0	8.8	199.9
♀ Sentyabrinka × ♂ Terek	175.4 ± 2.1	21.0	22.8	4.8	180.2
♀ Sentyabrinka × ♂ N. S. Katya	176.3 ± 2.6	69.2	32.0	22.2	198.5
Asian ecological-geographical zone					
♀ Sentyabrinka × ♂ Hidaka	195.7 ± 2.2	24.2	35.1	8.5	204.2
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 12	201.2 ± 2.1	68.0	35.0	23.8	225.0
♀ Sentyabrinka × ♂ Kheykhe 43	189.0 ± 1.2	23.3	30.5	7.1	196.1

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Высокие показатели степени и частоты проявления положительных трансгрессий по количеству бобов, количеству семян и массе семян с одного растения отмечены во всех изучаемых комбинациях скрещивания ($T_c = 61,0 \dots 126,5$ %, $T_q = 68,0 \dots 89,8$ %). Коэффициент наследуемости находился в пределах 21,2...86,9 %. Значение генетического сдвига при отборе в третьем поколении по количеству бобов на растении достигло 8,1...27,3 штук с растения, по количеству семян – 21,1...84,5 штук с растения, по массе семян – 4,2...14,5 г с растения, массе 1000 семян – 4,8...23,8 г с растения. Следует отметить, что более высокие показатели генетического сдвига по всем изучаемым признакам выявлены в комбинациях гибридов, у которых выше величина коэффициента наследуемости и селекционного дифференциала.

Максимальные показатели степени и частоты положительных трансгрессий, величины коэффициента наследуемости и генетического сдвига, зафиксированы по трем хозяйственно полезным признакам: количеству бобов на одном растении, количеству семян с одного растения и массе семян с одного растения в двух комбинациях: ♀ Сентабрина

× ♂ Саска ($T_c = 93,4 \dots 99,5$ %, $T_q = 72,7 \dots 89,8$ %, $H^2 = 83,8 \dots 85,0$ %, R (по количеству бобов) = 26,7 штук с растения; R (по количеству семян) = 75,8 штук с растения; R (по массе семян) = 11,6 г с растения и ♀ Сентабрина × ♂ Хэйхэ 12 ($T_c = 110,3 \dots 115,8$ %, $T_q = 76,7 \dots 84,5$ %, $H^2 = 75,9 \dots 86,9$ %, R (по количеству бобов) = 22,7 штук с растения; R (по количеству семян) = 81,7 штук с растения; R (по массе семян) = 12,2 г с одного растения. Прогнозируемая величина признаков при отборе в следующем поколении в комбинации ♀ Сентабрина × ♂ Саска составила 115,5 штук бобов, 284,6 штук семян и 47,8 г семян с одного растения, в комбинации ♀ Сентабрина × ♂ Хэйхэ 12 – 105,1 штук бобов, 269,0 штук семян и 49,4 г семян с одного растения.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют прогнозировать наиболее эффективный отбор элитных растений сои в популяции гибридов третьего поколения в комбинациях с отцовскими формами американского и азиатского эколого-географического происхождения. Эти формы обладают широкими значениями генотипического и фенотипического разнообразия, высокими показателями трансгрессивности, наследуемости и генетического сдвига.

Библиографический список

1. Фокина Е. М., Ващенко А. П. Использование нетипичных форм сои в селекционном процессе // Масличные культуры. 2008. № 2 (139). С. 52–55.
2. Anderson E. J., et al. Soybean [Glycine max (L.) Merr.] breeding: history, improvement, production and future opportunities // In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds.) Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes. Springer, Cham. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-23400-3_12.
3. Минькач Т. В., Оборская Ю. В. Наследование продуктивности одного растения у межвидовых гибридов сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2 (62). С. 24–29. DOI: 10.22450/19996837_2022_2_24.
4. Zhao Q., et al. Characterization of the common genetic basis underlying seed hilum size, yield, and quality traits in soybean // Frontiers in Plant Science. 2021. No. 12. Article number 610214. DOI: 10.3389/fpls.2021.610214.
5. Thudi M., et al. Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture // Journal of Plant Physiology. 2020. No. 257. DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153351.
6. Lozinskiy M., et al. Transgressive variability of the main ear grains number in F2 populations in hybridization of soft winter wheat varieties that differ in early ripening // Agrobiologiya. 2021. No. 2. Pp. 95–105. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-167-2-95-105.

7. Shtuts T. N. Manifestation of transgression on the productivity traits of soybean hybrids of the second generation (F2) // *Feeds and Feed Production*. 2019. No. 88. 3–7. DOI: 10.31073/kormovyrobnystvo201988-01.
8. Бутовец Е. С., Васина Е. А., Кукуруза Г. О., Страшненко Т. Н. Селекционно-генетический анализ гибридов сои первого – третьего поколения // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2021. № 4 (60). С. 15–22. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-15-22.
9. Tagad B. A., Girase V. S., Rohini Y. Patil and Bhavsar V. V. Transgressive Segregation and Interrelationship Analysis in Soybean // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. No. 9 (12). Pp. 379–386. DOI: 10.20546/IJCMAS.2020.912.048.
10. Sundaram P., et al. LR-4163 [1–7] Identification of transgressive segregants and variability studies in segregating generations of four crosses in chickpea // *Legume Research*. 2021. No. 46 (1). Pp. 25–31. DOI: 10.18805/LR-4163.
11. Kravchenko A., Hoptsi T., Kyrychenko V., Hudym O., Chuiko D. Transgressive variation in productivity traits in F2 naked oat hybrids // *Scientific Horizons*. 2023. No. 26 (8). Pp. 23–32. DOI: 10.48077/scihor8.2023.23.
12. Фокина Е. М. Эффективность использования нетипичных форм сои в селекционном процессе: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.05. Благовещенск, 2017. 215 с.
13. Карпеня С. Л., Коробко А. В., Яцына О. А. Частная селекция: учебно-методическое пособие для студентов биотехнологического факультета по специальности «Зоотехния» («Производство продукции животного происхождения») с вариативным модулем «Биотехнология и селекция». Витебск: ВГАВМ, 2022. 76 с.
14. Gohil V., Akabari V. Variability studies for seed yield and its components in soybean // *Journal of Genetics, Genomics & Plant Breeding*. 2022. No. 6 (2). Pp. 54–59.
15. Kumari S., Meena B. L., Sharma S. C., Koli N. R., Tak Y., Fozdar P. Study on genetic variability parameters in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes // *Journal of Agriculture and Ecology*. 2022. No. 14. Pp. 72–76. DOI: 10.58628/JAE-2214-210.
16. Parindiyal K., Bhardwaj R., Negi A., Parindiyal K., Rawat A., Gulzar S., Prakash S. Genetic variability parameters study in soybean [*glycine max* (L.) merrill] genotypes // *International Journal on Agricultural Sciences*. 2023. No.14 (01). Pp. 25–28. DOI: 10.53390/IJAS.2023.14106.
17. Cinar V. Assessing genotypic diversity by multivariate analysis and predicting useful selection ranges using decision tree in soybean (*Glycine max* L.) // *South African Journal of Botany*. 2024. No. 174. Pp. 560–570. DOI: 10.1016/j.sajb.2024.09.045.
18. Минькач Т. В. Селихова О. А. Генетический сдвиг при отборе гибридных потомств сои по хозяйственно ценным признакам // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2016. № 2–3. С. 18–20.
19. Галиченко А. П. Наследование количественных признаков и эффект гетерозиса у гибридов сои первого поколения // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. № 1. С. 34–40. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-34-40.
20. Воскресенская Г. С., Шпота В. И. Трансгрессия признаков у гибридов Brassica и методика количественного учета этого явления // *Доклады ВАСХНИЛ*. 1967. № 7. С. 18–20.

Об авторах:

Анна Петровна Галиченко, научный сотрудник лаборатории селекции, Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия; аспирант, Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия; ORCID 0000-0002-4445-3779, AuthorID 1093963. E-mail: tap198936@gmail.com

Татьяна Александровна Асеева, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, директор Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства; Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия; ORCID 0000-0001-8471-0891, AuthorID 726527. E-mail: aseeva59@mail.ru

Евгения Михайловна Фокина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0003-4554-8830, AuthorID 780273. E-mail: fem@vniisoi.ru

References

1. Fokina E. M., Vashchenko A. P. Usage of soybean uncommon forms in breeding. *Oilseed Crops*. 2008; 2 (139): 52–55. (In Russ.)
2. Anderson E. J., et al. Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Breeding: History, Improvement, Production and Future Opportunities. In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds.) *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*. Springer, Cham, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-23400-3_12.

3. Minkach T. V., Oborskaya Yu. V. Productivity inheritance of one plant in interspecific soybean hybrids. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 2 (62): 24–29. DOI: 10.22450/19996837_2022_2_24. (In Russ.)
4. Zhao Q., et al. Characterization of the common genetic basis underlying seed hilum size, yield, and quality traits in soybean. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 610214. DOI: 10.3389/fpls.2021.610214.
5. Thudi M., et al. Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture. *Journal of Plant Physiology*. 2020; 257. DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153351.
6. Lozinskiy M., et al. Transgressive variability of the main ear grains number in F₂ populations in hybridization of soft winter wheat varieties that differ in early ripening. *Agrobiologiya*. 2021; 2: 95–105. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-167-2-95-105.
7. Shtuts T. N. Manifestation of transgression on the productivity traits of soybean hybrids of the second generation (F₂). *Feeds and Feed Production*. 2019; 88: 3–7. DOI: 10.31073/kormovyrobnystvo201988-01.
8. Butovets E. S., Vasina E. A., Kukuruza G. O., Strashnenko T. N. Selective genetic analysis of soybean hybrids of the first – third generations. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2021; 4 (60): 15–22. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-15-22. (In Russ.)
9. Tagad B. A., Girase V. S., Rohini Y. Patil and Bhavsar V. V. Transgressive Segregation and Interrelationship Analysis in Soybean. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020; 9 (12): 379–386. DOI: 10.20546/ijcmas.2020.912.048.
10. Sundaram P., et al. LR-4163 [1-7] Identification of transgressive segregants and variability studies in segregating generations of four crosses in chickpea. *Legume Research*. 2021; 46 (1): 25–31. DOI: 10.18805/LR-4163.
11. Kravchenko A., Hoptsi T., Kyrychenko V., Hudym O., Chuiko D. Transgressive variation in productivity traits in F₂ naked oat hybrids. *Scientific Horizons*. 2023; 26 (8): 23–32. DOI: 10.48077/scihor8.2023.23.
12. Fokina E. M. Efficiency of using atypical forms of soybeans in the breeding process: dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences: 06.01.05. Blagoveshchensk, 2017. 215 p. (In Russ.)
13. Karpenya S. L., Korobko A. V., Yatsyna O. A. *Private selection: educational and methodological manual for students of the Faculty of Biotechnology in the specialty "Zootechnics" ("Production of products of animal origin") with a variable module "Biotechnology and selection"*. Vitebsk: VGAVM. 2022; 76 p. (In Russ.)
14. Gohil V., Akabari V. Variability studies for seed yield and its components in soybean. 2022; 6 (2): 54–59.
15. Kumari S., Meena B. L., Sharma S. C., Koli N. R., Tak Y., Fozdar P. Study on genetic variability parameters in soybean [Glycine max (L.) Merrill] genotypes. *Journal of Agriculture and Ecology*. 2022; 14: 72–76. DOI: 10.58628/JAE-2214-210.
16. Parindiyal K., Bhardwaj R., Negi A., Parindiyal K., Rawat A., Gulzar S., Prakash S. Genetic variability parameters study in soybean [glycine max (L.) merrill] genotypes. *International Journal on Agricultural Sciences*. 2023; 14 (01): 25–28. DOI: 10.53390/IJAS.2023.14106.
17. Cinar V. Assessing genotypic diversity by multivariate analysis and predicting useful selection ranges using decision tree in soybean (Glycine max L.). *South African Journal of Botany*. 2024; 174: 560–570. DOI: 10.1016/j.sajb.2024.09.045.
18. Minkach T. V. Selikhova O. A. Genetic shifts in selection of hybrid offspring soybeans to economic-valuable signs. *Russian Agricultural Science*. 2016; 2–3: 18–20. (In Russ.)
19. Galichenko A. P. Inheritance of quantitative traits and the effect of heterosis in first-generation soybean hybrids. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; 1: 34–40. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-34-40. (In Russ.)
20. Voskresenskaya G. S., Shpota V. I. Transgression of characters in Brassica hybrids and methods for quantitative accounting of this phenomenon. *Reports of the All-Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1967; 7: 18–20. (In Russ.)

Authors' information:

Anna P. Galichenko, researcher at the breeding laboratory, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveshchensk, Russia; postgraduate, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia;

ORCID 0000-0002-4445-3779, AuthorID 1093963. E-mail: tap198936@gmail.com

Tatyana A. Aseeva, doctor of agricultural sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, director of the Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia; ORCID 0000-0001-8471-0891, AuthorID 726527. E-mail: aseeva59@mail.ru

Evgeniya M. Fokina, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the breeding laboratory, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveshchensk, Russia; ORCID 0000-0003-4554-8830, AuthorID 780273. E-mail: fem@vniisoi.ru