

## ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.853.52: 631.526: 632.938

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29



### Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей

Е. А. Васина, Е. С. Бутовец, Л. М. Лукьянчук

*Федеральный научный центр агроботехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки, Уссурийск, Россия*

*Автор, ответственный за переписку:* Екатерина Сергеевна Бутовец, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru)

**Актуальность.** Работа посвящена изучению образцов сои, адаптированных к условиям Приморского края, по ценным хозяйственным признакам для использования в селекционной программе, направленной на создание сортов с высокой продуктивностью, качеством семян и устойчивых к неблагоприятным факторам среды.

**Материалы и методы.** Тестирование коллекционных образцов сои проводилось в 2019–2021 гг. в Федеральном научном центре агроботехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки. Исследовали 213 образцов разного географического происхождения, в качестве стандарта использовали сорт 'Приморская 4'.

**Результаты.** По итогам испытания были выбраны перспективные для селекции генотипы сои, выделяющиеся продуктивностью, скороспелостью, высоким содержанием белка и масла в семенах, устойчивостью к болезням и неблагоприятным условиям произрастания. По продуктивности превышали стандарт более чем на 35,0% сорта 'Местная' (Россия), 'Цзилинь' (Китай), 'Montreal' (Франция), 'XP 977-1,9' (США). Сорта '№ 075-2' (США), 'K0152' (Украина), 'Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' и 'Адсой' (Германия) характеризовались ранним созреванием (100 дней). Сорта 'Местная' (25,9%) и 'НС Атлас' (26,0%) представляли интерес для селекции на высокую масличность, 'Журавушка' (39,2%), 'ХН 4' (41,9%), 'Торлица' (41,9%) и 'XP 977-1,9' (39,5%) – на повышенную белковость семян. Устойчивостью к септориозу отличались сорта 'Рi 6D 4182', 'ХН 4', 'Скеля' и 'НС Атлас'. По результатам оценки адаптивного потенциала наибольшую устойчивость к условиям региона продемонстрировали сорта: 'Приморская 4', 'Торлица', 'Кассиди'.

**Ключевые слова:** коллекция, сорт, соя, продуктивность, белок, масло, стрессоустойчивость

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану НИР по теме № 0812-2019-0024 «Получить новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):19-29. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

**Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory**

Evgeniya A. Vasina, Ekaterina S. Butovets, Lyudmila M. Lukyanchuk

*Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia***Corresponding author:** Ekaterina S. Butovets, [otdelsoy@mail.ru](mailto:otdelsoy@mail.ru)

**Background.** A study of the soybean gene pool adapted to the conditions of Primorsky Territory in search of useful agronomic traits is essential for further use in breeding programs.

**Materials and methods.** Soybean accessions from the germplasm collection were tested in 2019–2021 at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika. The study included 213 accessions of various origin. Cv. 'Primorskaya 4' served as the reference. An objective assessment of the potential of the said research material was made.

**Results.** Three years of experiments resulted in selecting promising soybean genotypes with a set of important agronomic traits for breeding programs. Compared to the reference 'Primorskaya 4', an increase of more than 35% in productivity was observed in the cultivars 'Mestnaya' (Russia), 'Jilin' (China), 'Montreal' (France), and 'XP 977-1.9' (USA). Cvs. 'No. 075-2' (USA), 'K0152' (Ukraine), 'Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' and 'Adsoi' (Germany) were characterized by earliness (100 days). Cvs. 'Mestnaya' and 'HS Atlas' may be interesting for breeders due to their highest oil content: 25.9% and 26.0%, respectively. The highest protein content was found in cvs. 'Zhuravushka' (39.2%), 'XN 4' (41.9%), 'Torlitsa' (41.9%) and 'XP 977-1.9' (39.5%). Cvs. 'Pi 6D 4182', 'XN 4', 'Skelya' and 'HS Atlas' manifested resistance to *Septoria* brown spot. The results of the assessment for adaptability potential showed that the following cultivars of different origin had the highest resistance to environmental stresses: 'Primorskaya 4' (–2.5), 'Torlitsa' (–2.0) and 'Kassidi' (–3.0).

**Keywords:** collection, cultivar, soybean, productivity, protein, oil, stress resistance

**Acknowledgements:** the research was performed within the framework of the state task according to Theme No. 0812-2019-0024 "To develop new crop genotypes with high productivity and resistance to abiotic and biotic environmental factors". The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Vasina E.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):19-29. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

## Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является самой популярной в мире белково-масличной культурой с широким спектром применения. Значение сои в народном хозяйстве не переоценено, особенно сейчас, когда при постоянном росте населения планеты возрастает роль сельскохозяйственных культур, используемых в пищу (Vashchenko et al., 2010). Значительный спрос со стороны пищевой промышленности на высококачественное растительное сырье является основанием для появления селекционных проектов по созданию сортов сои, обладающих комплексом адаптационных свойств и технологических преимуществ. Важная роль при этом отводится успешному подбору генетических источников урожайности и качества зерна, устойчивости к болезням, неблагоприятным эдафическим и климатическим условиям, которые будут использоваться при конструировании генотипа (Grigorieva, 2011; Novikova et al., 2018).

Как правило, далеко не все образцы мирового генофонда сои пригодны для использования в селекции из-за низкой продуктивности и адаптации, биологической и генетической несовместимости (Butovets et al., 2020; Zhou et al., 2019). Уверенно гарантировать селекционную значимость коллекционных образцов сои, способных повысить генетический потенциал урожайности вновь созданных сортов, допустимо только после многолетнего полевого изучения (Katyuk et al., 2016; Fokina, Razantzev, 2019; Ashiev et al., 2019; Kalitskaya et al., 2021; Butovets et al., 2022; Nekrasov, 2020; Gureeva, Fomina, 2006; Fomenko et al., 2006; Galichenko, Kametskaya, 2020).

В ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки ежегодно происходит пополнение коллекции новыми генотипами сои различного происхождения, которые подвергаются всесторонней оценке. Выявленные источники ценных признаков вовлекаются в селекционный процесс и используются в скрещиваниях при создании сортов сои, отвечающих требованиям сельскохозяйственного производства Приморского края – сортов, обладающих высокой продуктивностью, повышенным содержанием белка и масла в семенах, устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды.

В данной работе представлены результаты изучения образцов, поступивших в коллекцию в 2016–2018 гг.

*Цель исследований* – изучение образцов сои, адаптированных к условиям Приморского края, по ценным хозяйственным признакам для использования в селекционной программе.

## Материалы и методы

Изучение коллекционных образцов сои проходило в 2019–2021 гг. в лаборатории селекции сои ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки».

Сумма активных температур (выше 10°C) в крае колеблется в пределах 2400–2600°C, гидротермический коэффициент (ГТК) – 1,6–2,0. В период исследований погодные условия были контрастными, что позволило объективно оценить образцы сои. По данным агрометеорологической станции «Тимирязевский» (ФГБУ «Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»), сумма осадков в мае 2019 г. составила 77,0 мм, августе – 226,5 мм. Низкий температурный фон в начальные периоды онтогенеза сои не

способствовал активному развитию, что вызвало формирование низкорослых растений и невысокую продуктивность. Погодные условия 2020 г. характеризовались повышенным температурным режимом и периодами избыточного увлажнения по сравнению со среднемноголетней нормой. В июне сумма осадков составила 193,5 мм (среднемноголетнее – 81,0), в третьей декаде августа – 75,6 мм (среднемноголетнее – 45,0), в сентябре – 129,2 мм (среднемноголетнее – 104,0). Благоприятное сочетание влаги и тепла способствовало активному росту и развитию сои. Погодные условия 2021 г. резко отличались от среднемноголетней нормы относительно продолжительными периодами без осадков и повышенным температурным режимом. Сочетание повышенной температуры воздуха и отсутствия осадков с III декады июня по II декаду августа негативно отразилось на процессе развития сои (формировались низкорослые растения, наблюдался низкий процент завязываемости бобов).

Почва экспериментального участка лугово-бурья отбеленная с тяжелым механическим составом (Ivanov, 1979).

Исследовали коллекционные образцы сои ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». В качестве стандарта использовали среднеспелый сорт 'Приморская 4', допущенный к возделыванию в Дальневосточном регионе. Опыт организован согласно методике полевого опыта (Dospekhov, 2012). Выращивание культуры проводилось в соответствии с агротехникой, принятой для Приморского края (Chaika et al., 2009). Норма высева семян – 500 тыс. шт./га. Площадь одной деланки – 1,8 м<sup>2</sup>. Посев и уборку осуществляли вручную. Анализ структуры урожая сои выполняли по 20 растениям каждого образца.

Устойчивость сои к грибным патогенам выявляли на фоне естественного развития заболевания по методическим указаниям (Korsakov et al., 1979). Оценка образцов по хозяйственно ценным признакам осуществляли согласно методическим указаниям по селекции и семеноводству сои (Korsakov et al., 1975).

Содержание белка и масла в семенах сои определяли на приборе Inframatic 9200 (Perten Instruments AB, Швеция) в лаборатории агрохимических анализов научного центра.

Статистическую обработку данных выполняли по «Методике полевого опыта» (Dospekhov, 2012) в программе Exel for Windows. Существенность различий между выборками определяли с помощью НСР (наименьшая существенная разница), силу связей между признаками рассчитывали на основе парного корреляционного анализа.

Анализ образцов по компенсаторной способности, стрессоустойчивости, продуктивности и гибкости выполняли по методике A. A. Rossielle, J. Hemblin в изложении А. А. Гончаренко (Goncharenko, 2005; Yusova et al., 2020). Стрессоустойчивость вычисляли по разнице между значениями признака ( $X_{\min} - X_{\max}$ ). Показатели этого признака имеют отрицательный знак и показывают уровень устойчивости сортов к стрессовым условиям произрастания. Чем меньше разрыв между максимальной и минимальной продуктивностью, тем выше стрессоустойчивость сорта и тем шире диапазон его адаптационных возможностей. Характеристику по стрессоустойчивости дополняли, рассчитывая величину  $(X_{\min} + X_{\max})/2$ , показывающую генетическую гибкость сорта и его компенсаторную способность в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях. Генотипическую измен-

чивость, указывающую размах варьирования продуктивности, анализировали сравнивая диапазон изменчивости минимального ( $X_{\min}$ ) и максимального значения ( $X_{\max}$ ).

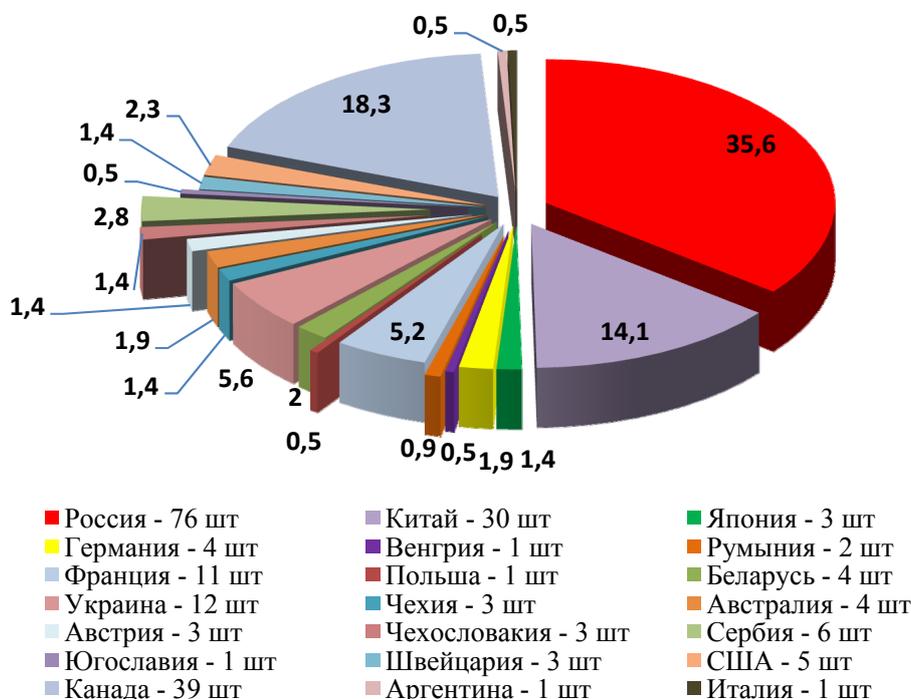
По методу, предложенному S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина, оценивали индекс условий среды (Ij) (Pakudin, 1979). Индекс условий среды (Ij) определяет изменчивость условий возделывания и может принимать положительное или отрицательное значение. Лучшие условия для роста и развития растений складываются в годы с положительным знаком индекса, худшие – с отрицательным.

### Результаты

Исследуемая коллекция состояла из 213 образцов сои; 35,6% было представлено российскими сортами, из них 81,4% – дальневосточной селекции. Большую часть в выборке занимал исходный материал из Китая и Канады (рисунок).

тивность, высота растений и содержание масла в семенах незначительно повышается при увеличении продолжительности периода вегетации ( $r < 0,32$  – связь слабая) (табл. 1). Подобная зависимость признаков у сои была обнаружена и другими авторами (Davletov et al., 2020; Seferova et al., 2018).

Между показателями продуктивности (масса семян, число бобов и семян с растения) выявлены прямые достоверные сильные связи, коэффициент корреляции составил 0,79 и 0,84. Аналогичные результаты исследования были получены нами в более ранних работах, в которых присутствовала подобная связь продуктивности с числом бобов и семян на растении ( $r = 0,72-0,88$ ) (Butovets et al., 2020). Обратную существенную связь наблюдали между высотой прикрепления нижнего боба и продуктивностью (см. табл. 1). Обнаруженные между признаками корреляционные зависимости (как прямые, так и обратные) упрощают работу с коллекцией и способствуют объективному отбору генотипов сои для включения в селекционный процесс.



**Рисунок.** Распределение исследованных образцов сои по происхождению, %

**Figure.** Distribution of the tested soybean accessions based on their origin, %

Важным признаком, определяющим возможность выращивания сортов сои в конкретных агроклиматических условиях, является период вегетации (в. п.) (Grigorieva, 2011; Davletov et al., 2020). В нашем опыте раннеспелыми (в. п. 100 дней) были сорта из Америки ('№ 075-2'), Украины ('K0152') и Германии ('Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' и 'Адсой'). Эти образцы представляют интерес для селекции как источники более раннего созревания.

Наибольшее значение из всех изучаемых признаков в селекции сои имеет продуктивность (масса семян с растения). Для объективной оценки ценности исходного материала необходимо выявление взаимосвязей продуктивности с другими хозяйственными признаками. По результатам корреляционного анализа между средними значениями признаков за три года отмечено, что продук-

За период испытания по ряду ценных хозяйственных признаков были отобраны для использования в селекционных программах перспективные генотипы сои (табл. 2). Большая часть выделенных сортов (145 образцов, или 68,2% коллекции) относилась к средней группе спелости (период вегетации от 111 до 115 дней). Все сорта характеризовались среднерослостью. Из них по продуктивности превышали районированный стандартный сорт 'Приморская 4' 16 образцов, 4 сорта превосходили стандарт более чем на 35%. Максимальным значением этого признака характеризовался сорт французской селекции 'Montreal'.

Урожайность сои напрямую зависит от показателя «сохранность растений к моменту уборки», который характеризует адаптационную способность культуры в конкретных условиях возделывания. Погодно-эдафи-

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции ( $r^2$ ) между хозяйственными признаками коллекционных образцов сои, 2019–2021 гг., Приморский край**Table 1.** Correlation coefficients ( $r^2$ ) among agronomic characters of soybean accessions, 2019–2021, Primorsky Territory

Признак	Масса семян с растения, г	Продолжительность периода вегетации, дни	Устойчивость к грибным болезням, %
Масса семян с растения, г	–	0,25	0,10
Высота растений, см	0,50	0,26	–0,09
Высота прикрепления нижнего боба, см	–0,47	0,06	0,09
Число бобов, шт./раст.	0,79*	0,07	–0,18
Число семян, шт./раст.	0,84*	0,05	0,20
Содержание в семенах белка, %	–0,15	–0,18	0,11
Содержание в семенах масла, %	0,18	0,25	0,15

Примечание: \* – коэффициент корреляции достоверен при  $p \leq 0,001$ ; шт./раст. – штук на растении

Note: \* – the correlation coefficient is statistically significant at  $p \leq 0,001$ ; pcs/plant – pieces per plant

**Таблица 2.** Характеристика перспективных образцов сои (среднее за 2019–2021 гг.), Приморский край**Table 2.** Characteristics of promising soybean accessions (mean value for 2019–2021), Primorsky Territory

Сорт	Продуктивность, г	Масса 1000 семян, г	Высота растений, см	Период вегетации, дни	Содержание в семенах, %		Сохранность растений к моменту уборки, %
					масла	белка	
Приморская 4, стандарт	8,7	160	68,1	114	22,9	38,2	75
<b>Россия</b>							
Приморская 1395	10,1	135	79	115	24,7	36,5	80
Приморская 1629	10,9	185	81	113	24,3	34,6	81
Витязь 50	11,2	208	51	113	22,5	37,2	75
Местная	12,0	205	45	111	25,9	33,7	57
Журавушка	10,2	185	50	111	21,6	39,2	66
ДВ 206	11,2	220	48	113	23,2	37,5	59
Октябринка 70	10,4	207	70	107	22,3	38,0	58
Pi 6D 4182	11,3	195	53	115	24,2	35,1	54
<b>Китай</b>							
XN 4	11,5	198	53	115	20,2	41,9	60
Цзилинь	12,2	210	46	115	24,1	36,2	55
<b>Франция</b>							
Лиссабон	9,8	140	57	105	22,8	35,8	61
Montreal	13,8	150	69	113	22,4	36,3	50

Таблица 2. Окончание  
Table 2. The end

Сорт	Продуктивность, г	Масса 1000 семян, г	Высота растений, см	Период вегетации, дни	Содержание в семенах, %		Сохранность растений к моменту уборки, %
					масла	белка	
<b>Украина</b>							
Сузирья	9,9	175	49	104	21,8	37,4	57
Торлица	9,2	160	48	103	20,6	41,9	45
Алиса	11,5	140	54	103	22,1	35,8	41
Скеля	11,1	155	78	107	24,6	35,6	43
Мальвина	10,0	145	57	113	21,4	38,1	40
<b>Сербия</b>							
НС Атлас	10,2	210	45	112	26,0	33,4	62
<b>США</b>							
ХР 977-1,9	12,2	175	73	113	22,2	39,5	63
<b>Канада</b>							
Кассиди	9,5	155	72	114	24,5	37,5	63
0330	9,2	145	55	105	22,7	34,2	59
НСР <sub>0,05</sub>	2,0	17,2	14,1	3,5	1,8	1,2	16,4

Примечание: НСР – наименьшая существенная разность

Note: HCP – least significant difference (LSD)

ческие условия Приморского края для ряда тестируемых образцов сои были малоблагоприятными, о чем свидетельствует низкая сохранность растений на делянке, которая в среднем за три года испытаний не превысила 81,0%. Высокая урожайность, превышающая стандарт на 48,9–62,2%, отмечена у образцов 'ХР 977-1,9' (378 г/м<sup>2</sup>), 'Приморская 1629' (371 г/м<sup>2</sup>), 'Витязь 50' (370 г/м<sup>2</sup>), 'НС Атлас' (347 г/м<sup>2</sup>). Данные образцы отличались высокой продуктивностью и наибольшей сохранностью растений сои к моменту уборки. У сорта 'Цзилинь' (354 г/м<sup>2</sup>) лучшие показатели урожайности обеспечивались только за счет высокой продуктивности.

Несколько сортов российской селекции ('Витязь 50', 'Местная', 'ДВ 206', 'Октябринка 70'), китайской ('Цзилинь') и сербской ('НС Атлас') имели высокие значения «массы 1000 семян» (более 205 г). Эти образцы представляют ценность для ведения селекции сои на крупносемянность (см. табл. 2).

По содержанию масла в семенах около половины сортов (40,9%) превышали стандарт на 0,3–3,1%. Выделились по этому признаку образцы 'Местная' и 'НС Атлас'. Высокое содержание белка (выше стандарта на 1,0–3,7%) отмечено у сортов из России ('Журавушка'), Китая ('ХН 4'), Украины ('Торлица') и США ('ХР 977-1,9'). Отобранный материал привлекает внимание как источник для селекции сортов сои с повышенным качеством семян.

В рамках селекционной программы существует необходимость оценки образцов по устойчивости к грибным патогенам и отбора из них источников, резистентных к этим болезням. Для поиска образцов, устойчивых к септориозу, церкоспорозу и пероноспорозу, представленный набор сортов был распределен по эколого-географическим группам (ЭГГ).

Согласно шкале, разработанной по методике Н. И. Корсакова (Korsakov et al., 1979), устойчивостью к вредоносному на Дальнем Востоке патогену сои *Septoria glycinis* Hemmi (возбудитель септориоза) характеризовались пять сортов ('Рi 6D 4182', 'ХН 4', 'Скеля', 'НС Атлас') и стандарт 'Приморская 4'), 17 образцов оказались среднеустойчивыми (табл. 3). К церкоспорозу (*Cercospora sojina* Naga) проявили высокую устойчивость 40,9% сортов, у шести образцов сои степень поражения была ниже стандарта 'Приморская 4' до 2,1%. Устойчивыми к пероноспорозу (*Peronospora manshurica* (Naum.) Syd. ex Gaum.) были все сорта, за исключением двух образцов из азиатской и европейской групп ('Журавушка' и 'Мальвина'), которые имели среднюю степень устойчивости. В дальнейшем сорта, которые проявили устойчивость, можно использовать в селекционном процессе как источники устойчивости к местным популяциям грибных патогенов.

По результатам исследований можно сделать предварительный вывод, что наиболее перспективными для

Таблица 3. Иммунологическая характеристика генофонда сои, 2019–2021 гг.

Table 3. Immunological characteristics of the soybean gene pool, 2019–2021

Сорт	Септориоз		Церкоспороз		Пероноспороз	
	степень поражения, %	иммунологическая характеристика	степень поражения, %	иммунологическая характеристика	степень поражения, %	иммунологическая характеристика
<b>Азиатская ЭГГ</b>						
Приморская 4, стандарт	23,7	У	8,6	УУ	13,2	У
Приморская 1395	30,7	С	8,0	УУ	21,0	У
Приморская 1629	32,3	С	6,5	УУ	15,5	У
Витязь 50	27,7	С	10,0	УУ	15,0	У
Местная	29,0	С	14,0	У	12,7	У
ДВ 206	28,3	С	14,0	У	14,0	У
Журавушка	33,3	С	11,5	У	26,0	С
Октябрина 70	35,0	С	12,0	У	18,0	У
Pi 6D 4182	21,7	У	17,5	У	13,5	У
XN 4	22,7	У	9,0	УУ	13,5	У
Цзилинь	34,0	С	7,5	УУ	17,5	У
<b>Европейская ЭГГ</b>						
Лиссабон	34,3	С	22,5	У	20,0	У
Сузирья	38,3	С	15,0	У	14,0	У
Торлица	45,7	С	8,0	УУ	14,5	У
Алиса	40,0	С	13,0	У	13,5	У
Скеля	21,7	У	7,5	УУ	12,5	У
Мальвина	29,3	С	12,5	У	32,5	С
Montreal	29,3	С	6,5	УУ	14,5	У
НС Атлас	23,3	У	13,0	У	13,3	У
<b>Американская ЭГГ</b>						
ХР 977 – 1,9	27,0	С	12,5	У	15,0	У
Кассиди	29,3	С	22,5	У	12,3	У
0330	28,3	С	20,0	У	14,3	У

Примечание: УУ – высокоустойчивый, У – устойчивый, С – среднеустойчивый

Note: UU – highly resistant, U – resistant, C – moderately resistant

интродукции устойчивых к септориозу и высокоустойчивых к церкоспорозу форм являются сорта азиатской и европейской ЭГГ. Поиск источников устойчивости к пероноспорозу возможен среди сортов трех групп.

Учитывая специфические особенности климата Приморского края, немаловажным является выявление образцов сои, адаптивных к изменяющимся погодным условиям, и вычисление статистических параметров, характеризующих устойчивость генотипов к биотическим и биотическим стрессорам.

За годы испытаний метеорологические условия носили разнообразный характер, что дало возможность объективно оценить тестируемые образцы коллекции. Индекс условий среды (Ij) в период изучения был контрастным и изменялся от +1,4 до –2,4. Среднее значение продуктивности в опыте 2019 г. равнялось 8,7 г, в 2021 г. – 5,4 г. Лучшими условиями для развития сои характеризовался 2020 г. Он отличался от других лет исследования повышенной температурой и избыточным увлажнением. В этот год индекс среды составлял наи-

большее положительное значение (1,4), а средняя продуктивность образцов сои имела самые высокие показатели – 9,2 г.

Наибольшую устойчивость к стрессовым условиям произрастания продемонстрировали сорта: 'Приморская 4' (-2,5), 'Торлица' (-2,0), 'Кассиди' (-3,0) (табл. 4). Максимальной генотипической изменчивостью и наименьшей стрессоустойчивостью (от -12,5 до -14,7) обладали образцы 'Алиса', 'Витязь 50', 'Цзилинь', 'Приморская 1629'. В годы, более благоприятные для роста и развития сои, они способны формировать высокую продуктивность.

## Выводы

Благоприятные условия для реализации потенциала продуктивности коллекционных сортов сои сложились в 2020 г.: индекс среды по сравнению с другими годами исследования достигал наибольшего положительного значения (1,4). По результатам анализа адаптивного потенциала образцов высокую устойчивость к стрессовым условиям произрастания продемонстрировали сорта различного происхождения: 'Приморская 4' (стрессоустойчивость = -2,5), 'Торлица' (-2,0), 'Кассиди' (-3,0).

**Таблица 4. Адаптивные показатели образцов сои по продуктивности**  
**Table 4. Adaptability parameters of soybean accessions according to their productivity**

Образец	Страна-оригинатор	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	Генотипическая изменчивость
Приморская 4, ст.	Россия (Приморский край)	-2,5	8,5	7,2-9,7
Приморская 1395	Россия (Приморский край)	-8,9	10,2	5,7-14,6
Приморская 1629	Россия (Приморский край)	-12,5	11,1	4,8-17,3
Витязь 50	Россия (Приморский край)	-14,2	12,8	5,7-19,9
Местная	Россия (Хабаровский край)	-7,5	11,1	7,3-14,8
ДВ 206	Россия (Хабаровский край)	-8,6	11,0	6,7-15,3
Журавушка	Россия (Амурская область)	-6,2	9,3	6,2-12,4
Октябрина 70	Россия (Амурская область)	-10,2	12,0	6,9-17,1
Pi 6D 4182	Россия (Амурская область)	-7,7	11,3	7,4-15,1
XN 4	Китай	-10,6	10,2	4,9-15,5
Цзилинь	Китай	-13,1	11,1	4,5-17,6
Лиссабон	Франция	-10,2	10,7	5,6-15,8
Montreal	Франция	-11,8	14,4	8,5-20,3
Сузирья	Украина	-11,6	10,2	4,4-16,0
Торлица	Украина	-2,0	9,1	8,1-10,1
Алиса	Украина	-14,7	12,7	5,3-20,0
Скеля	Украина	-9,1	11,8	7,2-16,3
Мальвина	Украина	-4,5	9,8	7,6-12,1
НС Атлас	Сербия	-8,7	9,6	5,3-14,0
XP 977-1,9	США	-10,6	13,3	8,0-18,6
Кассиди	Канада	-3,0	9,2	7,7-10,7
0330	Канада	-4,5	9,8	7,6-12,1

Примечание: индекс условий среды (Ij): +0,9 в 2019 г.; +1,4 в 2020 г.; -2,4 в 2021 г.

Note: index of environmental factors (Ij): +0.9 in 2019; +1.4 in 2020; -2.4 in 2021

Показатель «генетическая гибкость» характеризует компенсаторную способность сорта в контрастных условиях выращивания. Высокой генотипической гибкостью (от 12,0 до 14,4 ед.) отличались сорта 'Montreal', 'XP 977-1,9', 'Витязь 50', 'Алиса' и 'Октябрина 70'.

Сильная положительная связь выявлена между продуктивностью и числом бобов ( $r = 0,79$ ) и семян на растении ( $r = 0,84$ ). Слабые прямые и обратные зависимости определены между элементами структуры урожая и устойчивостью к болезням сои ( $r$  от -0,18 до 0,20).

По итогам испытания коллекции сои для использования в селекционной программе были выбраны перспективные по ряду хозяйственно ценных признаков генотипы. В сравнении со стандартным сортом 'Приморская 4', высокая продуктивность (> 35,0%) отмечена у сортов 'Местная' (Россия), 'Цзилинь' (Китай), 'Montreal' (Франция), 'ХР 977-1,9' (США). Ранним созреванием (100 дней) характеризовались образцы сои '№ 075-2' (США), 'K0152' (Украина), 'Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' и 'Ад-сой' (Германия). Наибольшее содержание масла в семенах обнаружено у сортов 'Местная' (25,9%) и 'НС Атлас' (26,0%). Высокое содержание белка в семенах выявлено у сортов из России ('Журавушка', 39,2%), Китая ('ХН 4', 41,9%), Украины ('Торлица', 41,9%) и США ('ХР 977-1,9', 39,5%). Устойчивостью к септориозу характеризовались образцы 'Рi 6D 4182', 'ХН 4', 'Скеля' и 'НС Атлас'.

### References / Литература

- Ashiev A.R., Khabibullin K.N., Skulova M.V., Kravchenko N.S. The estimation of soybean initial material according to grain quality on homeostasis. *Grain Economy of Russia*. 2019;5(65):45-49. [in Russian] [Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В., Кравченко Н.С. Оценка исходного материала сои по качеству зерна на гомеостатичность. *Зерновое хозяйство России*. 2019;5(65):45-49]. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-45-49
- Butovets E.S., Lukuanchuk L.M., Vasina E.A. Comparative assessment of promising soybean varieties at the final selection stage. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022;353:219-229. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8\_26
- Butovets E.S., Vasina E.A., Lukuanchuk L.M. Screening of soybean germplasm under conditions of the Primorsky territory. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(8):23-27. [in Russian] [Бутовец Е.С., Васина Е.А., Лукьянчук Л.М. Скрининг гермоплазмы сои в условиях Приморского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(8):23-27]. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10803
- Chaika A.K., Tilba V.A., Moiseenko A.A., Vashchenko A.P., Sinegovskaya V.T., Emelyanov A.N., Kraskovskaya N.A., Gubin A.V., Nikishin V.M., Fomenko N.D., Gaiduchenko A.N., Mashchenko N.V., Chaika N.V., Kapustin Yu.S., Stupin V.M., Morokhovets V.N. Adaptive and innovative technologies for cultivation of soybean and maize in the Russian Far East: guidelines. (Adaptivnye i progressivnye tekhnologii vozdelvaniya soi i kukuruzy na Dalnem Vostoke: metod. rekomendatsii). Vladivostok: Dalnauka; 2009. [in Russian] [Чайка А.К., Тильба В.А., Моисеенко А.А., Ващенко А.П., Синеговская В.Т., Емельянов А.Н., Красковская Н.А., Губин А.В., Никишин В.М., Фоменко Н.Д., Гайдученко А.Н., Машченко Н.В., Чайка Н.В., Капустин Ю.С., Ступин В.М., Мороховец В.Н. Адаптивные и прогрессивные технологии возделывания сои и кукурузы на Дальнем Востоке: метод. рекомендации. Владивосток: Дальнаука; 2009).
- Davletov F.A., Dmitriyev A.M., Gaynullina K.P., Akhmadullina I.I. The results of studies on the collection of soybeans for the purposes of selection. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2020;1(81):49-53. [in Russian] [Давлетов Ф.А., Дмитриев А.М., Гайнуллина К.П., Ахмадуллина И.И. Результаты изучения коллекции сои для селекционных целей. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020;1(81):49-53].
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial with fundamentals of statistical processing of research results (Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). Moscow: Kniga po trebovaniyu; 2012. [in Russian] [Доспехов В.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию; 2012].
- Fokina E.M., Razantzvey D.R. Prospects for the use of soybean collection material used in breeding studies in Priamurye (Amur region). *Far East Agrarian Bulletin*. 2019;2(50):64-70. [in Russian] [Фокина Е.М., Рязанцев Д.Р. Перспективы использования коллекционного материала сои в селекционных исследованиях Приамурья. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2019;2(50):64-70]. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-12022
- Fomenko N.D., Belyaeva G.N., Lyashenko N.V., Shevchenko N.A. Valuable material of the soybean gene pool at the All-Russian Research Institute of Soybean (Tsenny material soi genofonda VNII soi). In: *Adaptive Technologies in Horticulture of Amur Province*. Blagoveshchensk: Far East Agrarian University; 2006. p.106-110. [in Russian] [Фоменко Н.Д., Беляева Г.Н., Ляшенко Н.В., Шевченко Н.А. Ценный материал сои генофонда ВНИИ сои. В кн.: *Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области*. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет; 2006. С.106-110].
- Galichenko A.P., Kalitskaya N.G. The assessment of the collection samples of soybean of various ecological and geographical origins in the conditions of the Amur region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020;9(162):46-52. [in Russian] [Галиченко А.П., Калицкая Н.Г. Оценка в условиях Амурской области коллекционных образцов сои различного эколого-географического происхождения. *Вестник КрасГАУ*. 2020;9(162):46-52]. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52
- Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2005;(6):49-53. [in Russian] [Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005;(6):49-53].
- Grigorieva A.V. Estimation of soybean collection samples according to main economically-valuable features in conditions of Rostov region's southern zone. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2011; 2(148-149):86-88. [in Russian] [Григорьева А.В. Оценка коллекционного материала сои по основным хозяйственно ценным признакам в условиях Южной зоны Ростовской области. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2011;2(148-149):86-88].
- Gureeva E.V., Fomina T.A. Estimation of the collection models of soya as source material for the selection. *Legumes and Groat Crops*. 2016;1(17):40-45. [in Russian] [Гуреева Е.В., Фомина Т.А. Оценка коллекционных образцов сои как исходного материала для селекции. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016;1(17):40-45].
- Ivanov G.I. Soil formation in the south of the Russian Far East. (Pochvoobrazovaniye na yuge Dalnego Vostoka). Moscow: Nauka; 1976. [in Russian] [Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. Москва: Наука; 1976].
- Kalitskaya N.G., Galichenko A.P., Fokina E.M. Studying the soybean white and purple forms genetic collection by economically useful traits. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021;11(176):17-23. [in Russian] [Калицкая Н.Г., Галиченко А.П., Фокина Е.М. Изучение генетической коллекции болоцветковых и фиолетовоцветковых форм сои по хозяйственно полезным признакам. *Вестник*

- КрасГАУ. 2021;11(176):17-23). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-11-17-23
- Katyuk A.I., Zuev E.V., Anisimkina N.V. Sources of economically valuable traits for soybean breeding in conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2016;3(167):22-26. [in Russian] (Катюк А.И., Зуев Е.В., Анисимкина Н.В. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции сои в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2016;3(167):22-26).
- Korsakov N.I. (ed.). Guidelines for studying soybean resistance to fungal diseases (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu ustoichivosti soi k gribnym boleznyam). Leningrad; 1979. [in Russian] (Методические указания по изучению устойчивости сои к грибным болезням / под ред. Н.И. Корсакова. Ленинград; 1979).
- Korsakov N.I. (ed.). Soybean: guidelines for breeding and seed production (Soya: metodicheskiye ukazaniya po seleksii i semenovodstvu). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Соя: методические указания по селекции и семеноводству / под ред. Н.И. Корсаков. Ленинград: ВИР; 1975).
- Nekrasov A.Y. Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):48-52. [in Russian] (Некрасов А.Ю. Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):48-52). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52
- Novikova L.Yu., Seferova I.V., Nekrasov A.YU., Perchuk I.N., Shelenga T.V., Samsonov M.G. et al. Impact of weather and climate on seed protein and oil content of soybean in the North Caucasus. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):708-715. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Сеферова И.В., Некрасов А.Ю., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Самсонов М.Г. и др. Влияние погодных-климатических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(6):708-715). DOI: 10.18699/VJ18.414
- Pakudin V.Z. Evaluating environmental plasticity of cultivars (Otsenka ekologicheskoy plastichnosti sortov). In: M.A. Fedin, V.A. Dragavtsev (eds). *Genetic analysis of quantitative traits using mathematical and statistical methods (Geneticheskiy analiz kolichestvennykh priznakov s pomoshchyu matematiko-statisticheskikh metodov)*. Moscow; 1979. p.40-44. [in Russian] (Пакудин В.З. Оценка экологической пластичности сортов. В кн.: *Генетический анализ количественных признаков с помощью математико-статистических методов* / под ред. М.А. Федина, В.А. Драгавцева. Москва; 1979. С.40-44).
- Seferova I.V., Boyko A.P., Perchuk I.N., Shelenga T.V., Sholukhova T.A. The results of testing soybean accessions at Adler Experiment Station of VIR in 2013–2015. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):143-151. [in Russian] (Сеферова И.В., Бойко А.П., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Шолухова Т.А. Результаты изучения образцов сои на Адлерской опытной станции ВИР в 2013–2015 гг. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):143-151). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-143-151
- Vashchenko A.P., Mudrik N.V., Fisenko P.P., Dega L.A., Chaika N.V., Kapustin Yu.S. Soybean in the Russian Far East (Soya na Dalnem Vostoke). Vladivostok: Dalnauka; 2014. [in Russian] (Ващенко А.П., Мудрик Н.В., Фисенко П.П., Дегя Л.А., Чайка Н.В., Капустин Ю.С. Соя на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука; 2014).
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasiukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V. Spring grain quality of Omsk oat varieties in the extreme environmental conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;2(55):84-96. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Васиukeвич В.С., Анисков Н.И., Сафонова И.В. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2020;2(55):84-96). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96
- Zhou Z., Lakhssassi N., Cullen M.A., El Baz A., Vuong T.D., Nguyen H.T. et al. Assessment of phenotypic variations and correlation among seed composition traits in mutagenized soybean populations. *Genes*. 2019;10(12):975. DOI: 10.3390/genes10120975

#### Информация об авторах

**Евгения Александровна Васина**, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, otdelsoy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3385-995X>

**Екатерина Сергеевна Бутовец**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. зав. лаборатории, Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, otdelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2879-3570>

**Людмила Михайловна Лукьянчук**, научный сотрудник, Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, otdelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7584-4652>

#### Information about the authors

**Evgeniya A. Vasina**, Associate Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otdelsoy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3385-995X>

**Ekaterina S. Butovets**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Laboratory, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otdelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2879-3570>

**Lyudmila M. Lukyanchuk**, Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otdelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7584-4652>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.05.2022; одобрена после рецензирования 10.08.2022; принята к публикации 01.12.2022.  
The article was submitted on 06.05.2022; approved after reviewing on 10.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.