

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.853.52:631.526:632.938
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-47-58



Адаптационные показатели перспективных сортов сои в условиях юга Дальнего Востока

Е. С. Бутовец, Л. М. Лукьянчук

Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Сергеевна Бутовец, otdelsoy@mail.ru

Актуальность. Работа посвящена оценке перспективных сортов сои по ценным хозяйственным признакам, выявлению адаптационных способностей к условиям Приморского края, установлению влияния погодно-климатических факторов на формирование белка и масла в семенах сои.

Материалы и методы. Тестирование сортов сои, находящихся на заключительном этапе селекции, проводили в 2021–2023 гг. в Федеральном научном центре агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (г. Уссурийск). Исследовали 32 сорта сои, в качестве стандарта использовали сорт 'Приморская 4'.

Результаты. По итогам испытания выделены перспективные сорта сои с высоким уровнем урожайности, содержания белка и масла в семенах, устойчивостью к неблагоприятным условиям произрастания. По урожайности превышали стандарт на 32,4 и 38,6% сорта Приморская 1690 и Приморская 1693. Наибольшим содержанием масла в семенах (24,8–25,2%) обладали сорта Приморская 1674, Приморская 1685, Приморская 1687 и Приморская 1690; белка (более 40,0%) – Приморская 1659, Приморская 1675 и Приморская 1691. Устойчивостью к стрессовым условиям произрастания характеризовались Приморская 1674, Приморская 1679, Приморская 1684, Приморская 1692, Приморская 1702, Приморская 1705. Выделено 40,6% генотипов с низкой экологической пластичностью. Высокий коэффициент адаптивности отмечен у сортов Приморская 1697, Приморская 1698, Приморская 1690, Приморская 1693. Установлено влияние погодно-климатических факторов на формирование питательных веществ в семенах сои: более высокий процент белка накапливается при наличии краткосрочных осадков в сочетании с повышенным температурным фоном окружающей среды; масла – при повышенном температурном фоне.

Ключевые слова: соя, Приморский край, урожайность, белок, масло, устойчивость к стрессам

Благодарности: работа выполнена в рамках комплексных планов научных исследований подпрограммы Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг. «Развитие селекции и семеноводства масличных культур» согласно тематическому плану НИР по теме № FNGW-2022-0012.

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

Для цитирования: Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Адаптационные показатели перспективных сортов сои в условиях юга Дальнего Востока. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):47-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-47-58

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-47-58

Adaptive characteristics of promising soybean cultivars under the conditions of the south of the Russian Far East

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

Background. Promising soybean breeding material was evaluated for a number of agronomic traits and adaptability to the conditions of Primorsky Territory. The effect of local weather and climate factors on the accumulation of protein and oil in soybean seeds is discussed.

Materials and methods. Thirty-two promising soybean cultivars were tested at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika in 2021–2023. Cv. 'Primorskaya 4' served as the reference.

Results. The best soybean cultivars were selected on the basis of the trials for high yields, high protein and oil content in seeds, and resistance to unfavorable growing conditions. Soybean cvs. Primorskaya 1690 and Primorskaya 1693 exceeded the reference in yield by 32.4% and 38.6%, respectively. The highest oil content in seeds (24.8–25.2%) was observed in Primorskaya 1674, Primorskaya 1685, Primorskaya 1687, and Primorskaya 1690. The highest protein content (over 40.0%) was found in the seeds of Primorskaya 1659, Primorskaya 1675, and Primorskaya 1691. Resistance to stressful growing conditions was demonstrated by Primorskaya 1674, Primorskaya 1679, Primorskaya 1684, Primorskaya 1692, Primorskaya 1702, and Primorskaya 1705. Low environmental plasticity was manifested by 40.6% of the genotypes. Primorskaya 1697, Primorskaya 1698, Primorskaya 1690, and Primorskaya 1693 stood out for their high adaptability. The effect of local weather and climate factors on the accumulation of nutrients in soybean seeds was confirmed. Short-term precipitation combined with high temperatures resulted in higher protein content. Oil accumulation was facilitated by high temperatures accompanied by either deficient or excessive moisture content in soil.

Keywords: soybean, Primorsky Territory, yield, protein, oil, resistance to stressors

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the integrated research plans under the subprogram of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture in 2017–2030 "The development of the breeding and seed production of oil crops", Topic No. FNGW-2022-0012.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Adaptive characteristics of promising soybean cultivars under the conditions of the south of the Russian Far East. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):47-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-47-58

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – популярная масличная культура в современном сельскохозяйственном производстве, потребность в которой увеличивается с каждым годом. Исключительный химический состав семян сои является базисом многогранности использования культуры в различных целях – в технической, пищевой и перерабатывающей промышленности, медицине, кормопроизводстве (Nekrasov, 2018; Galichenko, Fokina, 2022).

Культуру возделывают на многих континентах планеты с различными природно-климатическими зонами, нередко с контрастным, неустойчивым характером климата в период вегетации (Yuzbashkandi, Khalilian, 2020; Tsekhmeistruk et al., 2021; Dos Santos et al., 2022). В настоящее время в России наблюдается стабильная положительная динамика производства сои. Значительные посевы культуры локализованы в Дальневосточном регионе, который включает территории, разнообразные по экологическим факторам – влагообеспеченности, длине дня, почвенному покрову, температурному режиму и солнечной инсоляции (Zaitsev et al., 2020).

Рентабельное возделывание сои и интенсификация земледелия требуют использования урожайных сортов, адаптированных к конкретным погодно-эдафическим условиям выращивания, знания особенностей формирования продукционных показателей и качества семян (Watson et al., 2017; Li M. et al., 2020; Fokina, Belyaeva, 2022). При этом механизмом достижения ряда требуемых параметров в сорте служит селекционное улучшение культуры, способное обеспечить совокупность высоких показателей в одном генотипе (Rani, Kumar, 2022).

Селекционный процесс сои состоит из нескольких этапов: от передачи генетической информации (гибридизации) подобранных родительских форм до дальнейшей оценки созданных генотипов и отбора перспективных образцов (Jerphther et al., 2017; Butovets et al., 2023b). В свою очередь, климатические факторы (температурный режим и уровень влагообеспеченности) оказывают большое влияние на реализацию потенциала сортов, формирование количественных и качественных показателей. Для выполнения поставленных задач в лаборатории селекции сои Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки создали

гибриды сои с высокими показателями хозяйственно ценных признаков. В процессе селекционного отбора и анализа выявлен ряд перспективных образцов сои, имеющих стабильные и однородные признаки, для всесторонней оценки.

Цель исследования – оценить перспективные сорта сои по ценным хозяйственным признакам, уровень их адаптации к условиям Приморского края; установить влияние климатических факторов на формирование белка и масла в семенах сортов сои.

Материалы и методы

Изучение и оценку новых перспективных сортов сои проводили в 2021–2023 гг. в лаборатории селекции сои Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, на участках, расположенных вблизи г. Уссурийск. В период изучения метеорологические условия были разнообразными, что позволило объективно провести оценку. По информационным данным агрометеорологической станции «Тимирязевский» (Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды), погодные условия 2021 г. в некоторой степени отрицательно повлияли на формирование урожайности культуры за счет повышенного температурного фона и длительных периодов отсутствия осадков в сравнении со среднемноголетними значениями (данные за последние 30 лет) – сумма осадков за месяц с июля по сентябрь была ниже на 32,1–58,9 мм (табл. 1). Благоприятное сочетание влаги и тепла в 2022 и 2023 г. позитивно отразилось на урожайности культуры. В отдельные декады (с июня по сентябрь 2022 г.) отмечено избыточное увлажнение, сумма осадков за месяц превышала среднемноголетние данные на 24,7–101,0 мм. С июня по август 2023 г. месячная сумма осадков превышала среднемноголетние значения на 34,5–336,7 мм. Наибольшее количество выпавших осадков наблюдалось в первой (76,3 мм) и третьей (89,6 мм) декадах июня (среднемноголетнее – 25,0 мм), первой декаде июля – 96,4 мм (среднемноголетнее – 31,0 мм), весь август – 115,6–220,5 мм (среднемноголетнее – 31,0–48,0 мм). Среднемесячная температура воздуха за период вегетации сои превышала среднемноголетние значения на 1,4–2,3°C.

Таблица 1. Метеорологические условия в период вегетации сои (2021–2023 гг., п. Тимирязевский, г. Уссурийск)

Table 1. Weather conditions during the soybean growing season (2021–2023, Timiryazevsky Settlement, Ussuriysk)

Месяц / Month	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C				Количество осадков, мм / Precipitation, mm			
	среднемноголетняя / long-term average	2021	2022	2023	среднемноголетняя / long-term average	2021	2022	2023
май	12,3	13,0	13,0	13,8	71,0	65,3	56,5	24,1
июнь	16,7	17,7	16,9	18,6	74,0	78,7	117,7	194,0
июль	20,6	23,7	21,4	22,4	48,0	15,9	214,0	147,5
август	21,1	22,1	21,6	22,5	125,0	79,7	149,7	461,7
сентябрь	15,8	16,9	16,1	18,1	79,0	20,1	108,8	6,2
октябрь	10,8	11,2	9,6	11,6	23,0	20,1	31,6	3,5

Почва экспериментального участка лугово-бурья отбеленная с тяжелым механическим составом, характерным для данного региона (Kostenkov, Oznobikhin, 2006).

Изучали и оценивали сорта сои селекции Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки на заключительном этапе селекционного процесса. Среднеспелый сорт сои 'Приморская 4', разрешенный к возделыванию в Дальневосточном регионе, использовали в качестве стандарта. В соответствии с агротехникой, принятой для Приморского края, проводилось возделывание сои (Chaika et al., 2009). Расположение делянок в опыте систематическое. Норма высева семян – 500 тыс. шт./га. Площадь одной делянки – 22,0 м², повторность трехкратная. Посев и уборку делянок осуществляли механизированным способом. Дата посева по годам – 17–19 мая. Оценку, учеты по хозяйственным признакам выполняли по методике (Korsakov, 1975). В лаборатории агрохимических анализов научного центра на приборе Inframatic 9200 (Pertin Instruments AB, Швеция) определяли содержание белка и масла в семенах сои.

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel (Dospikhov, 2012).

Выявление устойчивости к стрессу и генетической гибкости сортов по урожайности выполняли по методике А. А. Rossielle, J. Hemblin в изложении А. А. Гончаренко (Goncharenko, 2005). Стрессоустойчивость к условиям произрастания определяли по разнице между величинами признака ($X_{\min} - X_{\max}$). Чем меньше разрыв между максимальными и минимальными значениями, тем выше устойчивость сорта к стрессу и способность к адаптации. Показатель «генетическая гибкость» отражает среднюю урожайность сорта в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях, считается дополнением к характеристике стрессоустойчивости и рассчитывается по формуле $(X_{\min} + X_{\max})/2$. Чем выше степень соответствия между генотипом и разнообразными факторами среды, тем выше этот показатель.

Оценку экологической пластичности (b_i) и стабильности реакции сорта (S^2d_i) по урожайности проводили по методу S. A. Eberhart и W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина с соавторами (Zykin et al., 2011). Экологическая пластичность (b_i) урожайности характеризует реакцию сортов на улучшение условий возделывания, принимает значение больше/меньше единицы или равное ей. Чем выше коэффициент (b_i), тем сорт отзывчивей и требовательней к высокому уровню агротехники. При b_i меньше единицы реакция сорта на изменение условий среды слабее в сравнении с другими генотипами. Данные сорта дают большую урожайность при минимуме затрат. Коэффициент b_i , равный единице, – абсолютное соответствие изменения урожайности сорта и условий выращивания. Экологическая стабильность (S^2d_i) – отклонение фактического урожая от теоретического, рассчитанного на основе средней урожайности и индекса среды. Чем выше этот показатель, тем более стабилен сорт.

Коэффициент адаптивности (КА), основанный на сравнении данных по урожайности отдельного сорта со средним значением в опыте в определенный год испытания, рассчитывали по формуле Л. А. Животкова с соавторами: $X_{ij}/X \cdot 100$, где X_{ij} – урожайность сорта (i) в год испытания (j); X – среднесортная урожайность за год (Zhivotkov et al., 1994). Сорта с коэффициентом адаптации более 100% считаются наиболее адаптивными.

Результаты

В результате изучения перспективных сортов сои на заключительном этапе селекции была дана оценка по ряду хозяйственных признаков (табл. 2).

Практически все тестируемые сорта сои в опыте относились к средней группе спелости (период вегетации от 111 до 119 дней), за исключением образцов Приморская 1657, Приморская 1689, Приморская 1690 (среднепоздняя группа, 120–121 день) и Приморская 1674 (среднеранняя группа, 110 дней). Большинство сортов (84,4%) характеризовалось средней высотой растений (от 51 до 75 см). По урожайности 71,9% сортов превосходили стандарт 'Приморская 4' на 0,1–8,8 ц/га. За период изучения максимальными значениями признака в среднем по годам характеризовались Приморская 1690 и Приморская 1693, превышая стандарт на 32,4 и 38,6% соответственно.

Значения «масса 1000 семян» выше стандарта (до 23,2%) имели 43,7% сортов сои, наиболее высокий показатель (более 200 г) наблюдали у генотипа Приморская 1659 (см. табл. 2). Данный набор сортов сои по уровню накопления питательных веществ в семенах в большей степени характеризовался относительно повышенным содержанием масла (более 22,0%). Сорта Приморская 1674, Приморская 1685, Приморская 1687 и Приморская 1690 были наиболее маслянистыми (содержание масла в семенах – 24,8–25,2%). Большая часть сортов (78,1%) по содержанию белка в семенах превысила стандарт на 0,1–2,7%, максимальными значениями (более 40,0%) отличались Приморская 1659, Приморская 1675 и Приморская 1691. Выделившиеся по вышеперечисленным параметрам сорта сои представляют интерес для использования в дальнейшей селекционной программе. По результатам изучения один сорт сои – Приморская 1675 – будет передан на испытание в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений.

Урожайность – главный показатель сорта, который контролируется на генетическом уровне и крайне зависит от условий окружающей среды. Принимая во внимание специфичность климата Приморского края и контрастность погодных условий в годы испытания, возникает необходимость установления адаптационных способностей сортов сои и выявления параметров, определяющих устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам (табл. 3).

Из данного набора сортов сои отмечена наибольшая устойчивость показателя «урожайность» к стрессовым условиям произрастания у генотипов: Приморская 1674 (–12,9), Приморская 1679 (–12,5), Приморская 1684 (–13,2), Приморская 1692 (–12,7), Приморская 1702 (–12,2), Приморская 1705 (–12,4).

Максимальная генетическая гибкость (от 30,3 до 35,9 ед.) и наименьшая устойчивость к стрессу (от –26,0 до –29,3 ед.) наблюдались у сортов Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1696, Приморская 1697, что характеризует их способность формировать высокую урожайность при более благоприятных условиях развития культуры и компенсаторные возможности при произрастании в менее благоприятных условиях.

Адаптивность сортов к условиям произрастания также выявляют по пластичности и стабильности показателя (см. табл. 3). По итогам оценки перспективных сортов сои по реакции на смену условий испытания выделили 40,6% генотипов с низкой экологической пластичностью

Таблица 2. Характеристика хозяйственных признаков сортов сои (средние значения за 2021–2023 гг., Приморский край, г. Уссурийск)
Table 2. Agronomic characteristics of soybean cultivars (average values for 2021–2023, Ussuriysk, Primorsky Territory)

Сорт	Урожайность, ц/га			Масса 1000 семян, г	Период вегетации, дни	Высота растений, см	Содержание в семенах, %	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.				белка	масла
‘Приморская 4’, стандарт	15,1	31,6	21,8	22,8	113	73	37,6	23,4
Приморская 1657	16,8	31,0	21,0	22,9	120	75	38,6	23,9
Приморская 1659	13,7	26,3	28,3	22,7	113	64	40,3	22,8
Приморская 1674	14,9	27,8	17,2	19,9	110	60	36,5	25,1
Приморская 1675	16,0	33,3	31,8	27,0	112	59	40,2	23,5
Приморская 1676	15,8	31,6	26,8	24,7	112	55	38,2	24,3
Приморская 1679	14,3	26,8	14,3	18,4	115	58	36,5	24,5
Приморская 1680	17,8	36,8	18,5	24,3	117	66	37,7	24,3
Приморская 1681	15,6	30,6	15,9	20,7	115	52	38,0	24,1
Приморская 1682	15,0	31,3	22,4	22,9	116	52	38,1	23,5
Приморская 1683	14,5	26,6	34,9	25,3	115	63	39,4	22,9
Приморская 1684	14,8	28,0	27,0	23,4	115	59	38,4	23,3
Приморская 1685	18,3	34,5	19,2	24,0	117	62	37,1	24,9
Приморская 1686	16,1	32,6	20,3	23,0	116	56	36,8	24,1
Приморская 1687	15,7	32,9	22,5	23,5	114	55	37,0	24,8
Приморская 1688	16,3	32,3	21,4	23,3	113	47	37,9	24,2
Приморская 1689	20,3	39,3	16,9	25,5	121	51	36,6	24,6
Приморская 1690	22,8	48,5	19,2	30,2	120	61	36,2	25,2

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Сорт	Урожайность, ц/га			Масса 1000 семян, г	Период вегетации, дни	Высота растений, см	Содержание в семенах, %	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.				белка	масла
Приморская 1691	15,5	31,6	29,2	183	116	56	40,0	23,1
Приморская 1692	13,7	25,4	26,4	174	114	52	38,8	23,5
Приморская 1693	23,0	48,9	22,9	167	119	54	38,0	24,1
Приморская 1694	18,1	37,3	24,9	164	117	52	38,8	23,7
Приморская 1695	20,0	39,3	24,0	153	116	63	39,3	23,8
Приморская 1696	21,1	43,6	17,0	161	114	49	38,6	23,3
Приморская 1697	20,8	48,0	23,1	165	115	45	38,8	24,0
Приморская 1698	17,6	37,8	30,5	178	116	57	39,6	23,3
Приморская 1699	19,4	38,4	20,7	167	112	49	39,3	23,5
Приморская 1700	18,9	38,2	14,8	157	112	46	38,6	24,5
Приморская 1701	16,2	33,5	16,8	147	113	57	38,6	23,7
Приморская 1702	14,0	26,2	24,2	170	113	67	39,2	23,2
Приморская 1703	19,1	39,4	18,2	164	114	65	39,1	23,5
Приморская 1704	17,2	32,6	15,1	162	114	52	39,2	23,7
Приморская 1705	13,9	26,3	16,4	151	112	58	38,3	23,6
НСР _{0,05}	2,1	3,8	3,5	22,6	4,5	9,6	1,7	0,8

Примечание: НСР – наименьшая существенная разность
Note: НСР – least significant difference (LSD)

Таблица 3. Параметры адаптации сортов сои по урожайности (2021–2023 гг., Приморский край, г. Уссурийск)
Table 3. Adaptability parameters of soybean cultivars by yield (2021–2023, Ussuriysk, Primorsky Territory)

Сорт сои	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	Экологическая		Коэффициент адаптивности
			пластичность (b_i)	стабильность (S^2d_i)	
‘Приморская 4’, стандарт	-16,5	23,3	0,94	2,3	93,8
Приморская 1657	-14,2	23,9	0,84	<u>0,0</u>	94,2
Приморская 1659	-14,6	21,0	0,57	75,5	93,4
Приморская 1674	<u>-12,9</u>	21,3	0,78	1,3	81,9
Приморская 1675	-17,3	24,6	0,85	73,3	111,1
Приморская 1676	-15,8	23,7	0,83	26,0	101,6
Приморская 1679	<u>-12,5</u>	20,6	0,79	8,2	75,7
Приморская 1680	-19,0	27,3	1,20	14,5	100,0
Приморская 1681	-15,0	23,1	0,95	10,3	85,2
Приморская 1682	-16,3	23,1	0,92	4,5	94,2
Приморская 1683	-20,4	24,7	0,45	179,7	104,1
Приморская 1684	<u>-13,2</u>	21,4	0,64	48,5	96,3
Приморская 1685	-16,2	26,4	1,00	9,0	98,7
Приморская 1686	-16,5	24,3	0,98	<u>0,2</u>	94,6
Приморская 1687	-16,8	24,1	0,99	2,1	96,7
Приморская 1688	-16,0	24,3	0,94	<u>0,1</u>	95,9
Приморская 1689	-22,4	28,1	1,26	49,8	104,9
Приморская 1690	-29,3	33,8	1,69	76,7	124,3
Приморская 1691	-16,1	23,5	0,81	51,4	104,5
Приморская 1692	<u>-12,7</u>	20,0	0,55	54,6	89,7
Приморская 1693	-26,0	35,9	1,65	36,3	130,0
Приморская 1694	-19,2	27,7	1,11	1,0	109,9
Приморская 1695	-19,3	29,6	1,16	1,6	114,0
Приморская 1696	-26,6	30,3	1,49	70,8	112,0
Приморская 1697	-27,2	34,4	1,24	7,6	116,0
Приморская 1698	-20,2	27,7	1,08	31,3	117,7
Приморская 1699	-19,0	28,9	1,19	11,1	107,4
Приморская 1700	-23,4	26,5	1,29	59,0	98,3
Приморская 1701	-17,3	24,8	1,09	12,2	90,9
Приморская 1702	<u>-12,2</u>	20,1	0,62	28,0	88,1
Приморская 1703	-21,2	28,8	1,30	28,9	105,0
Приморская 1704	-17,5	23,8	1,01	27,1	88,9
Приморская 1705	<u>-12,4</u>	20,1	0,75	0,75	77,4

Примечание: нижним подчеркиванием обозначены лучшие значения в испытании

Note: the best results in the trials are underscored

($b_i < 1$), которые показали лучшие результаты при неблагоприятных условиях возделывания, но только один сорт (Приморская 1657) имел стабильный характер (S^2d_i близкое к нулю). Восемь тестируемых сортов хорошо отзывались на изменение условий среды ($b_i = 1$), при этом Приморская 1686 и Приморская 1688 обладали стабильностью. Остальные генотипы продемонстрировали себя как пластичные ($b_i > 1$) с нестабильным поведением (S^2d_i от 1,6 до 76,7 ед.), то есть они проявляют высокий потенциал урожайности при улучшении условий выращивания и зависят от условий года, что создает сложность в предсказании их поведения.

Коэффициент адаптивности, обеспечивающий получение достоверной и объективной информации о потенциале адаптации конкретного сорта по признаку «урожайность» в условиях выращивания, в исследованиях варьировал от 75,7 до 130,0% (см. табл. 3). Высокий коэффициент адаптивности ($> 100,0\%$) имели 43,7% изучаемых сортов сои, максимальные значения отмечены у генотипов Приморская 1697, Приморская 1698, Приморская 1690, Приморская 1693.

Накопление качественного и количественного состава питательных веществ в семенах сои определяется генотипом, при этом на уровень варьирования признака оказывают влияние погодно-климатические условия в период вегетации культуры. Показателями оценки погодных условий являются количество осадков и температура воздуха, а совокупным значением, одновременно учитывающим оба параметра, – гидротермические коэффициенты (ГТК). Для благоприятного роста и развития сои необходимы оптимальные значения ГТК, которые складываются при 1,3–2,0. В целях демонстрации реакции перспективных сортов сои на условия окружающей среды использовали селекционный материал, имеющий

коэффициент адаптации по урожайности в среднем за три года более 100,0%.

Для анализа воздействия климатических факторов на массовую долю белка и масла в зерне применяли гидротермический коэффициент, характеризующий усредненное состояние термовлагообеспеченности территории в период формирования и налива семян (II и III декады августа, I и II декады сентября) (рис. 1). Были рассчитаны средние значения ГТК за указанный период.

Периоды недостаточного и избыточного увлажнения (ГТК от 0,02 до 10,2) в фазу формирования семени сои оказали различное воздействие на биохимический состав перспективных сортов. Наибольший процент белка в семенах сои в опыте сформировался в 2022 г. при среднем ГТК = 2,6; более низкий – в 2021 г. (ГТК = 0,8); самый низкий – в 2023 г. (ГТК = 3,9) (рис. 2). У отдельных генотипов (Приморская 1675, Приморская 1691 и Приморская 1698) отмечали повышение белка в семенах при увеличении количества влаги в почве. Сорт Приморская 1690 характеризовался стабильным уровнем показателя по годам – как в засушливый период, так и в избыточно увлажненный. Отсюда следует предположение, что для формирования более высокого процента белковости сое в условиях Приморского края необходимы краткосрочные осадки в сочетании с повышенным температурным фоном окружающей среды во второй половине августа и первой половине сентября, каковые условия сложились в 2021 и 2022 г.

Достаточно высокий процент содержания масла в семенах сортов сои был сформирован в годы изучения с контрастными стрессовыми условиями в период накопления питательных веществ – повышенный температурный фон как с недостатком влаги (2021 г.), так и избытком (2023 г.) (рис. 3).

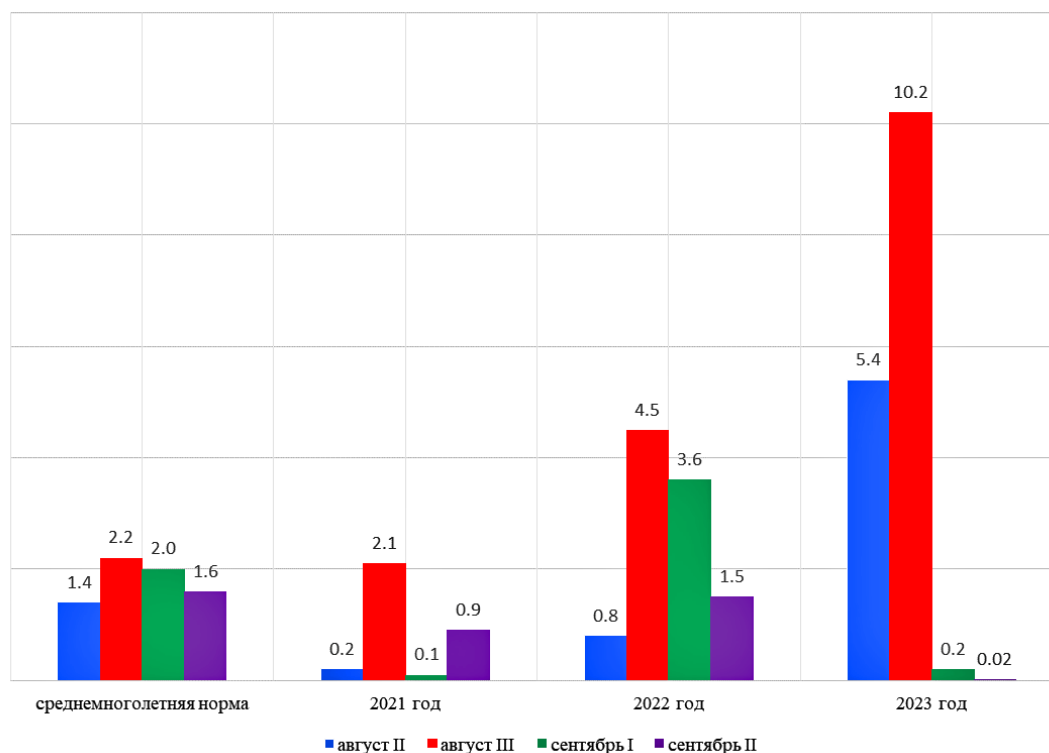


Рис. 1. ГТК в период формирования белка и масла в семенах сои (Приморский край, г. Уссурийск)

Fig. 1. HTC during the formation of protein and oil in soybean seeds (Ussuriysk, Primorsky Territory)

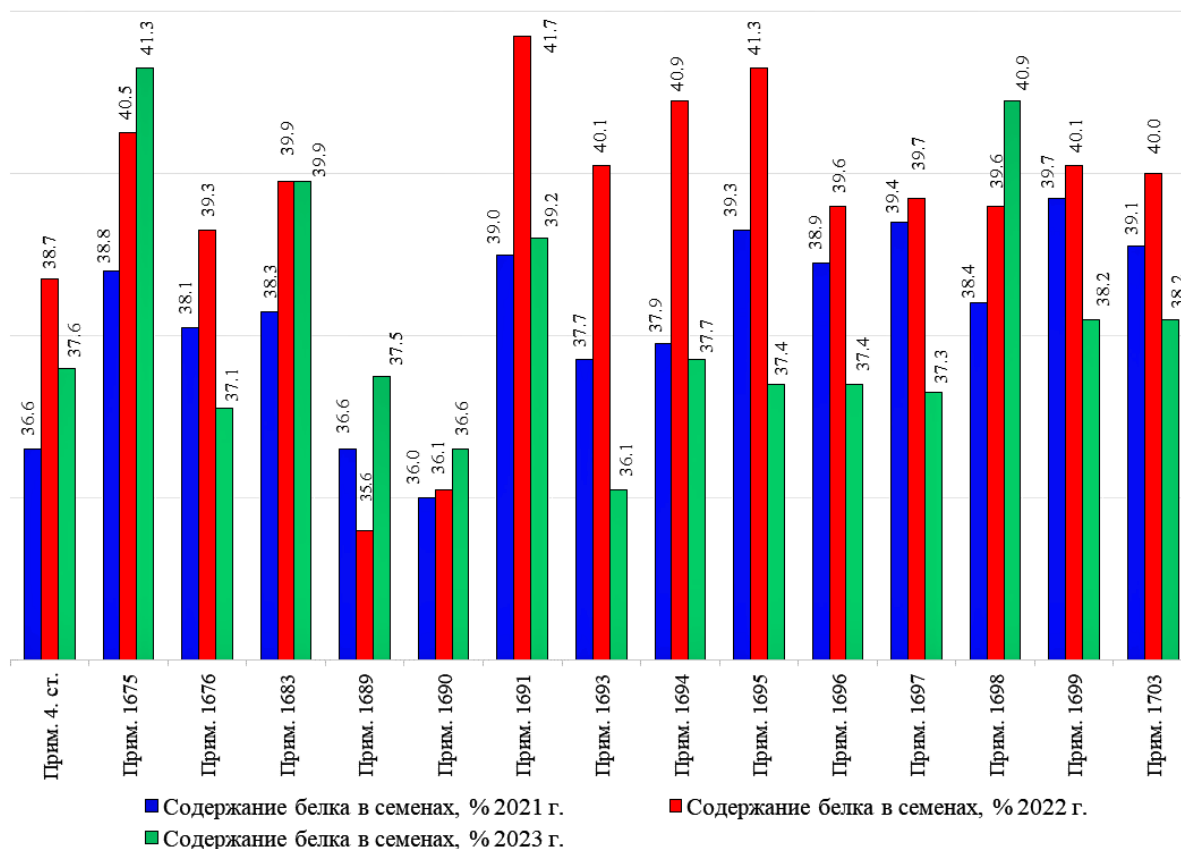


Рис. 2. Уровень накопления белка в семенах сортов сои, % (Приморский край, г. Уссурийск)
Fig. 2. Levels of protein accumulation in the seeds of soybean cultivars, % (Ussuriysk, Primorsky Territory)

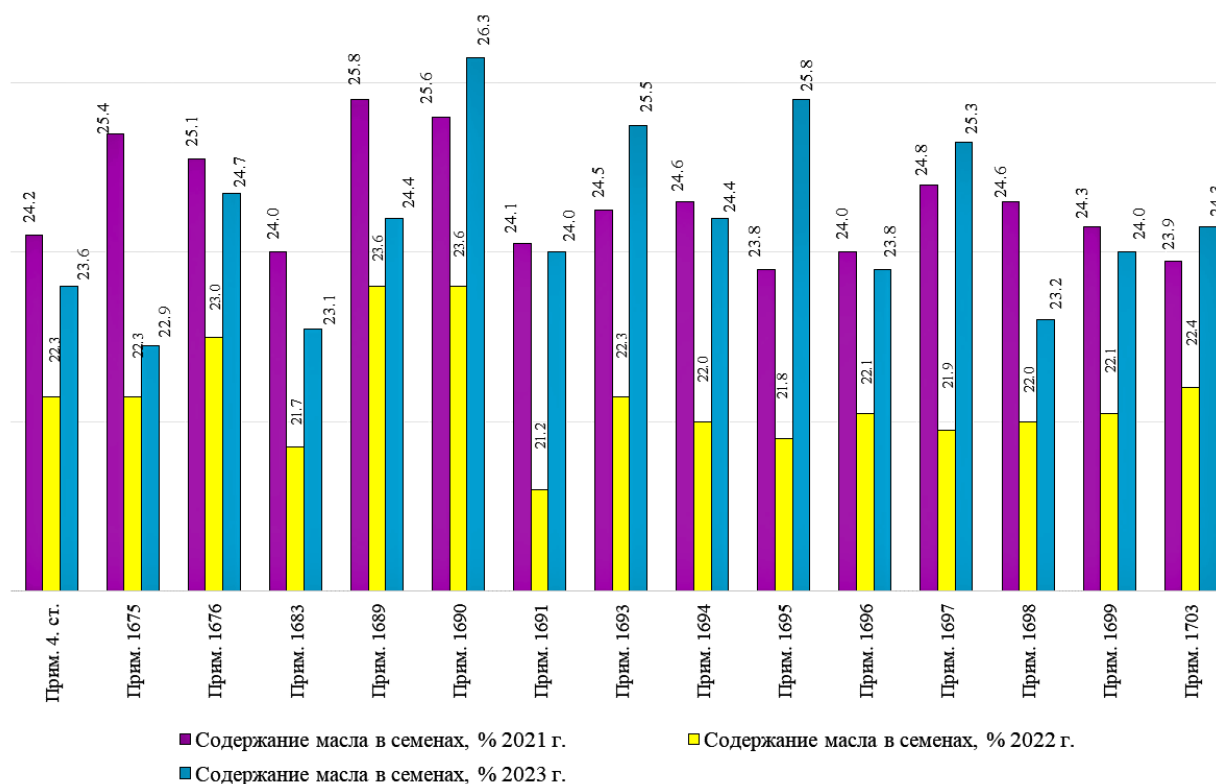


Рис. 3. Уровень накопления масла в семенах сортов сои, % (Приморский край, г. Уссурийск)
Fig. 3. Levels of oil accumulation in the seeds of soybean cultivars, % (Ussuriysk, Primorsky Territory)

Отдельные сорта сои в данной выборке формировали более высокое содержание масла в семенах: в конкретных условиях недостаточного увлажнения (ГТК 0,8) – Приморская 1675, Приморская 1689, Приморская 1698, а избыточного (ГТК 3,9) – Приморская 1693 и Приморская 1695. Способность сорта Приморская 1690 формировать стабильный уровень белка в семенах не была характерна для накопления масла – показатель варьировал по годам от 23,6 до 26,3%.

Обсуждение

Достижение многофункциональности использования сои в различных отраслях применения возможно селекционным путем, сочетая в сорте необходимые параметры (Matiu et al., 2017). Основные показатели, которыми должен обладать сорт, – высокая урожайность и качественный состав семян, адаптация к условиям окружающей среды, устойчивость к болезням (Yusova et al., 2020; Li C. et al., 2020; De Oliveira Aparecido et al., 2021). Поэтому создание и выявление перспективного материала сои по комплексу высоких значений признака является приоритетным направлением в селекции.

По результатам изучения перспективных сортов сои на заключительном этапе селекции по ряду хозяйственных признаков установлено, что практически все тестируемые сорта сои относятся к средней группе спелости. По урожайности 71,9% сортов превосходили стандарт от 0,1 до 8,8 ц/га. Выделившиеся сорта сои по определенным параметрам с высокими значениями представляют интерес как источники для включения в селекционную программу: урожайности – Приморская 1690 и Приморская 1693; показателя «масса 1000 семян» – Приморская 1659; содержания масла в семенах – Приморская 1674, Приморская 1685, Приморская 1687 и Приморская 1690; содержания белка – Приморская 1659, Приморская 1675 и Приморская 1691.

Наибольшую устойчивость к стрессовым условиям Приморского края демонстрировали сорта сои с относительно низкой урожайностью. Подобные результаты и выводы были получены учеными, которые проводили исследования в условиях Тюменской области (Sozonova, Ivanenko, 2019).

Для формирования более высокого процента белковости в семенах сое необходимы краткосрочные осадки в сочетании с повышенным температурным фоном окружающей среды в период накопления питательных веществ. Высокий процент содержания масла в семенах сои формируется при повышенном температурном фоне. Аналогичные результаты были получены нами при анализе сортов сои различного эколого-географического происхождения в другом временном промежутке исследования (Butovets et al., 2023a).

Заключение

По итогам изучения перспективных сортов сои на заключительном этапе селекции дана оценка по ряду хозяйственных признаков. Тестируемые сорта сои в основном относились к средней группе спелости, максимальными значениями урожайности характеризовались Приморская 1690 и Приморская 1693 (превысили показатели стандарта 'Приморская 4' на 32,4 и 38,6% соответственно). Показатель «масса 1000 семян» выше стандарта имели 43,7% сортов сои, высокое значение (более 200 г) наблюдали у генотипа Приморская 1659. Наи-

большим содержанием масла в семенах (24,8–25,2%) обладали сорта Приморская 1674, Приморская 1685, Приморская 1687, и Приморская 1690; белка (более 40,0%) – Приморская 1659, Приморская 1675 и Приморская 1691. Один сорт сои – Приморская 1675 – будет передан на испытание в Госсорткомиссию. При установлении адаптационных способностей сортов сои по показателю «урожайность» выявлен ряд генотипов, устойчивых к стрессовым погодным условиям произрастания, – Приморская 1674, Приморская 1679, Приморская 1684, Приморская 1692, Приморская 1702, Приморская 1705. При оценке перспективных сортов сои на реакцию смены условий испытания было выделено 40,6% генотипов с низкой экологической пластичностью ($b_1 < 1$), способных давать большую урожайность при минимуме затрат и в меньшей степени реагировать на изменение среды. Максимальные значения коэффициента адаптивности отмечены у сортов Приморская 1697, Приморская 1698, Приморская 1690, Приморская 1693. В результате анализа воздействия климатических факторов на накопление питательных веществ в семенах сои установлена тенденция – формирование более высокого процента белка происходит при наличии краткосрочных осадков в сочетании с повышенным температурным фоном окружающей среды; масла – при повышенном температурном фоне в сочетании как с недостатком, так и избытком влаги. Сорта Приморская 1675, Приморская 1691 и Приморская 1698 реагировали повышением белка в семенах при увеличении количества влаги на участке. Отдельные сорта сои формировали более высокое содержание масла в семенах в конкретных условиях: недостаточного увлажнения (ГТК 0,8) – Приморская 1675, Приморская 1689 и Приморская 1698; избыточного (ГТК 3,9) – Приморская 1693 и Приморская 1695.

Выделились комплексом положительных оценочных характеристик сорта сои Приморская 1675, Приморская 1690, Приморская 1693, Приморская 1695, Приморская 1698.

References / Литература

- Butovets E.S., Lukyanchuk L.M., Vasina E.A., Strashnenko T.N., Kukuruza G.O. Weather and climatic conditions impact on protein and oil synthesis in soybean seeds in the Primorsky region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2023a;2(191):88-97. [in Russian] (Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Васина Е.А., Страшненко Т.Н., Кукуруза Г.О. Влияние погодноклиматических условий на формирование белка и масла в семенах сои в Приморском крае. *Вестник КрасГАУ*. 2023a;2(191):88-97). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-88-97
- Butovets E.S., Vasina E.A., Lukyanchuk L.M., Klykov A.G. Using soybean starting material in breeding process. *E3S Web of Conference*. 2023b;462:02009. DOI: 10.1051/e3sconf/202346202009
- Chaika A.K., Tilba V.A., Moiseenko A.A., Vashchenko A.P., Sinogovskaya 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. (comp.). Adaptive and innovative technologies for cultivation of soybean and maize in the Russian Far East: guidelines. (Adaptivnye i progressivnye tekhnologii vozdel'vaniya soi i kukuruzy na Dalnem Vostoke: metodicheskiye rekomendatsii). Vladivostok: Dalnauka; 2009. [in Russian] (Адаптивные и прогрессивные технологии возделывания сои и кукурузы на Дальнем Востоке: методические рекомендации / сост.

- А.К. Чайка, В.А. Тильба, А.А. Моисеенко, А.П. Ващенко, В.Т. Синеговская, А.Н. Емельянов, Н.А. Красковская, А.В. Губин, В.М. Никишин, Н.Д. Фоменко, А.Н. Гайдученко, Н.В. Мащенко, Н.В. Чайка, Ю.С. Капустин, В.М. Ступин, В.Н. Мороховец. Владивосток: Дальнаука; 2009].
- De Oliveira Aparecido L.E., Torsoni G.B., de Moraes J.R.S.C., de Meneses K.C., Lorençone J.A., Lorençone P.A. Modeling the impact of agrometeorological variables on soybean yield in the Mato Grosso Do Sul: 2000–2019. In: *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*. Vol. 23, Issue 4. Heidelberg: Springer Nature; 2021. p.5151-5164. DOI: 10.1007/s10668-020-00807-w
- Dos Santos C.A.C., Neale C.M.U., Mekonnen M.M. Gonçalves I.Z., De Oliveira G., Ruiz-Alvarez O. et al. Trends of extreme air temperature and precipitation and their impact on corn and soybean yields in Nebraska, USA. *Theoretical and Applied Climatology*. 2022;147(3-4):1379-1399. DOI: 10.1007/s00704-021-03903-7
- Dospikhov B.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] (Доспыхов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию; 2012).
- Fokina E., Belyaeva G. Features of the new mid-season soybean variety Zolushka. In: *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*. Vol. 1 (Lecture Notes in Networks and Systems, 353). Cham: Springer International; 2022. p.105-112. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_13
- Galichenko A.P., Fokina E.M. Meteorological effects in formation of the yield of soybean varieties bred by ARSRI of soybean. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;7(222):16-25. [in Russian] (Галиченко А.П., Фокина Е.М. Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои селекции ВНИИ сои. *Аграрный вестник Урала*. 2022;7(222):16-25). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-16-25
- Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 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).
- Jephter B.F., Peter M., Bokosi J.M. Assessment of the agronomic productivity and protein content in 16 soybean genotypes. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*. 2017;17(4):12600-12613. DOI: 10.18697/ajfand.80.15995
- Korsakov N.I. (ed.). Soybean: guidelines for breeding and seed production (Soya: metodicheskiye ukazaniya po selektsii i semenovodstvu). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Соя: методические указания по селекции и семеноводству / под ред. Н.И. Корсакова. Ленинград: ВИР; 1975).
- Kostenkov N.M., Oznobikhin V.I. Soils and soil resources in the southern Far East and their assessment. *Eurasian Soil Science*. 2006;39(5):461-469. DOI: 10.1134/S1064229306050012
- Li C., Ma C., Cui Y., Lu G., Wei F. UAV hyperspectral remote sensing estimation of soybean yield based on physiological and ecological parameter and meteorological factor in China. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2020;49(4):873-886. DOI: 10.1007/s12524-020-01269-3
- Li M., Liu Y., Wang C., Yang X., Li D., Zhang X. et al. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Frontiers in Plant Science*. 2020;10:1642. DOI: 10.3389/fpls.2019.01642
- Matu M., Ankerst D.P., Menzel A. Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961–2014. *PLoS One*. 2017;12(5):e0178339. DOI: 10.1371/journal.pone.0178339
- Nekrasov A.Yu. Starting material for the creation of early ripening soybean varieties. *Legumes and Groat Crops*. 2018;3(27):52-57. [in Russian] (Некрасов А.Ю. Исходный материал для создания скороспелых сортов сои. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;3(27):52-57).
- Rani A., Kumar V. Soybean breeding. In: *Fundamentals of Field Crop Breeding*. Singapore: Springer Nature; 2022. p.907-944. DOI: 10.1007/978-981-16-9257-4_17
- Sozonova A.N., Ivanenko A.S. Evaluation of productivity and adaptability of soybean varieties in the forest-steppe of the Tyumen region. *Perm Agrarian Journal*. 2019;1(25):75-80. [in Russian] (Созонова А.Н., Иваненко А.С. Оценка сортов сои по урожайности и параметрам адаптивности в лесостепи Тюменской области. *Пермский аграрный вестник*. 2019;1(25):75-80).
- Tsekhmeistruk M., Pankova O., Kolomatska V., Kobyzieva L., Artiymov M., Sirovitskiy K. Influence of weather and climatic conditions on soybean yield. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021;11(4):11-17. DOI: 10.15421/2021_193
- Watson C.A., Reckling M., Preissel S., Bachinger J., Bergkvist G., Kuhlman T. et al. Grain legume production and use in European agricultural systems. *Advances in Agronomy*. 2017;144:235-303. DOI: 10.1016/bs.agron.2017.03.003
- 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., Васюкевич 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
- Yuzbashkandi S.S., Khalilian S. On projecting climate change impacts on soybean yield in Iran: an econometric approach. *Environmental Processes*. 2020;7(6):73-87. DOI: 10.1007/s40710-019-00400-y
- Zaitsev N.I., Revenko V.Yu., Ustarkhanova E.G. Influence of weather factors on the productivity of perspective soybean lines in the unstable moisture zone. *Oil Crops*. 2020;2(182):62-69. [in Russian] (Зайцев Н.И., Ревенко В.Ю., Устарханова Э.Г. Влияние погодных факторов на продуктивность перспективных линий сои в зоне неустойчивого увлажнения. *Масличные культуры*. 2020;2(182):62-69). DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69
- Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Methods of detecting potential productivity and adaptability in cultivars and breeding forms of winter wheat according to their 'yield' indicator (Metodika vyavleniya potentsialnoy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu "urozhaynosti"). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1994;(2):3-6. [in Russian] (Животков Л.А., Морозова З.А., Секатueva Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6).

Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshiev I.O. Environmental plasticity of agricultural plants (methods and assessment) (Ekologicheskaya plastichnost selsko-khozyaystvennykh rasteniy [metodika i otsenka]). Ufa;

2011. [in Russian] (Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа; 2011).

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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 Volozenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otelsoy@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 Volozenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otelsoy@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 06.02.2024; одобрена после рецензирования 17.10.2024; принята к публикации 03.12.2024.
The article was submitted on 06.02.2024; approved after reviewing on 17.10.2024; accepted for publication on 03.12.2024.