

Общее земледелие и растениеводство / General Agriculture and Crop Production

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-3-1515](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1515)

EDN: JGFUJG

УДК 631.95



Оптимизация технологии возделывания сои с использованием инокулянтов и микроудобрений для снижения гербицидной нагрузки

А.Н. Никольский, А.Г. Вишняков, Д.В. Бочкарев, А.В. Бардин*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет,
Саранск, Российская Федерация*

Аннотация

Обоснование. Применение гербицидов является неотъемлемым элементом интенсивных технологий возделывания сои, однако оно может вызывать гербицидный стресс, приводящий к значительному недобору урожая. В связи с этим актуальным является поиск агроприёмов, позволяющих смягчить негативное действие пестицидов и раскрыть продуктивный потенциал культуры. Настоящее исследование направлено на оценку эффективности предпосевной инокуляции и листовой подкормки борными удобрениями для снижения гербицидного стресса и повышения урожайности сои.

Цель – выявить влияние предпосевной инокуляции семян и листовой подкормки борным удобрением на урожайность и качество зерна сои при снижении гербицидной нагрузки на культуру.

Материалы и методы. Исследование проведено методом полевого трёхфакторного опыта в условиях юга Нечернозёмной зоны. В опыте изучалось влияние сорта, инокулянта и листовых обработок борным удобрением на эффективность образования клубеньков, хозяйственную урожайность и качество зерна сои. Исследование проводилось по фону однократного применения гербицида.

Результаты. Установлено существенное увеличение урожайности сои при проведении предпосевной инокуляции семян препаратом Хайкоут Супер Соя и листовой подкормке борным удобрением (2 л/га) в фазу бутонизации. Применение борных удобрений способствовало увеличению количества и массы клубеньков на растениях. Увеличению урожайности во многом способствовало увеличение количества бобов и зёрен с растения при использовании биопрепарата и микроудобрений. Качество зерна в боль-

шей степени зависело от погодных условий, вместе с тем при увеличении урожайности снижения содержания сырого протеина и жира в семенах сои не было установлено.

Заключение. Применение гербицидов является одним из ключевых элементов технологии возделывания сои, который, помимо борьбы с сорняками, может вызывать стресс у растений сои, снижать продуктивность культуры и экологическую стабильность агроэкосистемы. Установлено, что проведение инокуляции препаратом Хайкоут супер соя и листовая подкормка борным удобрением позволяют увеличить урожайность культуры вне зависимости от сорта при фоновом внесении гербицидом на 0,154–0,512 т/га. Увеличение урожайности происходило в первую очередь за счёт увеличения числа бобов и зёрен на растении. При увеличении урожайности содержание сырого протеина и жиров в зерне сои снизилось, однако это снижение статистически недостоверно.

Ключевые слова: соя; гербициды; инокуляция; борные удобрения; урожайность; сырой протеин; сырой жир

Для цитирования. Никольский, А. Н., Вишняков, А. Г., Боцкарев, Д. В., & Бардин, А. В. (2026). Оптимизация технологии возделывания сои с использованием инокулянтов и микроудобрений для снижения гербицидной нагрузки. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(3), 197–213. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1515>

Optimizing soybean production through inoculation and boron foliar feeding in herbicide-stressed environments

A.N. Nikolskii, A.G. Vishnyakov, D.V. Bochkarev, A.V. Bardin

National Research Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

Abstract

Background. The application of herbicides is an integral part of intensive soybean cultivation technologies; however, it can induce herbicide stress, leading to significant yield loss. In this regard, the search for agricultural practices that can mitigate the negative effects of pesticides and unlock the crop's productive potential is highly relevant. This study aims to evaluate the effectiveness of pre-sowing inoculation and foliar boron fertilization in reducing herbicide-induced stress and increasing soybean yield.

Purpose. To determine the impact of pre-sowing seed inoculation and foliar application of boron fertilizer on soybean yield and grain quality under reduced herbicide stress on the crop.

Material and Methods. The study was conducted using a three-factor field experiment method under the conditions of the southern Non-Chernozem Zone. The experi-

ment studied the influence of variety, inoculant, and foliar treatment with boron fertilizers on nodule formation efficiency, economic yield, and soybean grain quality. The research was carried out against the background of single herbicide application.

Results. A significant increase in soybean yields was observed when pre-sowing inoculation of seeds with the product Highcoat Super Soy and foliar feeding with boron fertilizer (2 l/ha) during the budding phase were applied. The use of boron fertilizer contributed to an increase in the number and mass of nodules on plants. The increase in yield was largely due to an increased number of pods and grains per plant when using the bioproduct and micronutrient. Grain quality depended primarily on weather conditions, but despite the increase in yield, no decrease in crude protein or fat content in soybeans was found.

Conclusions. Herbicide application is one of the key elements in soybean cultivation technology, which, besides controlling weeds, can cause stress in soybean plants, reduce crop productivity, and destabilize agroecosystems. It has been established that performing inoculations with the Highcoat super soy product and foliar applications of boron fertilizers can increase crop yields regardless of the variety, with a background application of herbicides by 0.154–0.512 t/ha. The main reason for the increase in yield is the higher number of beans and grains on the plant. Although there was a reduction in crude protein and fat content as the yield increased, this decline was not statistically significant.

Keywords: soy; herbicides; inoculation; boron fertilizers; yield; crude protein; raw fat

For citation. Nikolskii, A. N., Vishnyakov, A. G., Bochkarev, D. V., & Bardin, A. V. (2026). Optimizing soybean production through inoculation and boron foliar feeding in herbicide-stressed environments. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(3), 197–213. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1515>

Введение

К 2050 году население планеты, согласно прогнозам, вырастет на 30%, достигнув примерно 9,2 миллиарда человек [1; 2]. В связи с увеличением численности населения ожидается рост потребности в продуктах питания на 70% — в частности, в мясе, молоке, продовольственном и фуражном зерне [3]. В ряде регионов повышение урожайности сельскохозяйственных культур возможно благодаря улучшению управления водными ресурсами и почвенными условиями, использованию высокоурожайных сортов растений, удобрений и иных агротехнических приёмов. Однако увеличение потенциала урожайности часто сопровождается повышенным риском распространения сорняков, что ведёт к росту абсолютных потерь урожая и уровня ущерба [4-6].

Контроль над сорняками является значимым аспектом сельскохозяйственного производства и может внести существенный вклад в решение задачи обеспечения продовольствием в будущем [7; 8].

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.), будучи одной из важнейших сельскохозяйственных культур XXI века, служит важным источником белка и растительного масла для питания людей и животных. Она содержит около 40–45% протеина и 18–22% жира, богата витаминами, минералами и обладает сбалансированным набором аминокислот. Благодаря этим характеристикам, сою рекомендуют включать в диету с низким содержанием холестерина [9; 10]. Помимо этого, данная культура улучшает плодородие почвы посредством фиксации атмосферного азота [11; 12], а её масло используется в производстве биодизеля [13].

Оптимизация экономических затрат и выбор наиболее эффективных стратегий борьбы с сорняками в течение вегетационного периода играют ключевую роль в достижении максимальной урожайности. Уровень засорённости сои значительно влияет на продуктивность этой культуры, и если его не контролировать, то это приводит к серьёзным потерям урожая [14]. В мировом производстве сои из-за конкуренции сорняков ежегодно теряется почти 37% потенциальной продукции, что значительно превышает потери от патогенов, вирусов и вредителей [15]. В Индии снижение урожайности сои варьирует от 27% до 84% в зависимости от типа почвы, условий вегетации и степени засорения [16]. Pereira et al. [17] установили, что отсутствие контроля за сорняками привело к потере 90% урожая зерна сои в их исследовании. Сорняки не только снижают урожайность сои вследствие конкуренции за питательные вещества, свет и влагу, но и увеличивают потери при механизированной уборке урожая [18]. Как и у всех других мало конкурентоспособных по отношению к сорнякам культур, для достижения экономически оправданной урожайности в посевах сои необходимо бороться с сорняками на ранних стадиях развития культуры [19; 20]. Сегодня производители всё чаще применяют гербициды из-за больших размеров посевных площадей, нехватки рабочей силы и связанных с ней высоких затрат. Преимущества химической борьбы с сорняками перед другими методами включают высокую производительность, биологическую эффективность и доступность селективных препаратов для сои по относительно невысокой цене [16].

Несмотря на то, что применение гербицидов на полях является эффективным средством борьбы с сорняками, оно также может негативно сказываться на культурных растениях, вызывая повреждения, замедление роста и снижение урожайности [21; 22]. Зачастую токсический эффект от применения гербицидов на посевах сои существенно превышает положительный эффект от снижения конкуренции со стороны сорных растений [23]

Наиболее эффективный контроль сорняков на сое возможен при наличии тщательно разработанной программы, включающей все доступные методы (агротехнические, механические, физические, биологические и химические) и их комбинирование в рамках интегрированной системы борьбы [24]. В этой связи актуальны исследования по определению влияния биопрепаратов и микроэлементов на продукционный потенциал растений сои и снижения негативного влияния гербицидов.

Целью исследования было установление влияния предпосевной инокуляции семян и листовой подкормки борным удобрением на урожайность и качество зерна сои при снижении гербитоксической нагрузки на культуру.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в условиях республики Мордовия которая входит в лесостепную часть Юга Нечерноземной зоны, на территории филиала ФГБУ «Госсорткомиссия» Мордовская ГСИС (г.о. Саранск, с. Макаровка). Климат юга Нечерноземья умеренно континентальный, характеризуется сравнительно жарким летом, морозной зимой с устойчивым снежным покровом.

Погодные условия 2023 года характеризовались избыточным увлажнением на протяжении всего периода вегетации. Количество осадков составило 569. В течение вегетационного сезона 2024 г было два периода минимального количества осадков во время развития растений сои: первый произошел между концом вегетационной стадии и началом цветения, а второй произошел между концом цветения и началом формирования стручков.

Почва опыта – чернозем выщелоченный, среднесуглинистый, типичная для лесостепной зоны. Почва в пахотном слое характеризуется средним содержанием гумуса (5,6–5,8 %), имела высокую степень насыщенности основаниями – до 85 %. По степени кислотности почва характеризуется как слабокислая. Содержание подвижных форм фосфора по Чирикову – среднее, обменного калия – повышенное.

Опыт был заложен по полной схеме методом рендомизированного размещения расщепленных делянок. Опытный участок имел ширину 90 м и длину 80 м. Сорта сои (Фактор А) были случайным образом распределены по трем блокам (повторениям), каждый из которых имел ширину 18 м и длину 100 м. В опыте изучались сорта Аннушка (А0), Билявка (А1) и Памяти Фадеева (А2). На делянках второго порядка высевали семена без инокулянта (В0) и с инокуляцией препаратом Хайкоут Супер соя (В1). Ино-

куляцию проводили за неделю до посева. На делянках третьего порядка изучалось влияние борных удобрений (Фактор С) в норме 2 л/га. Борные удобрения представляли собой раствор борэтиленамина (150 г/л бора) Удобрения были синтезированы сотрудниками кафедры МГУ им Н.П. Огарева. Удобрения вносили в норме 2 л/га в фазу бутонизации при помощи ручного опрыскивателя. Норма расхода рабочего раствора 200 л/га.

Предшественник в опыте – озимая пшеница. После уборки культуры проводили двукратное дискование на глубину 12-15 см. Перед посевом проводили культивацию на глубину 4-6 см. Посев проводили во 2 декаде мая селекционной сеялкой Sampo с шириной междурядий 15 см. В фазу трех настоящих листьев посевы сои обрабатывались гербицидом Видблок плюс (37,5 г/л имазетапир + 25 г/л пропаквисафоп) в дозе 2 л/га. Другие удобрения и пестициды кроме запланированных в опыте не вносились.

Отбор растений для определения эффективности инокуляции проводился в первой декаде августа, когда соя достигла стадии налива стручков (ВВСН 75). В каждом блоке случайным образом отбиралось по 10 растений сои для оценки количества и массы клубеньков. Растения выкапывались вместе с комом земли, и видимые клубеньки отделялись от корневой системы вручную. Остальные клубеньки были удалены с корней путём замачивания в воде. Отбор образцов для определения элементов структуры урожайности сои был проведён во второй декаде сентября в фазу полной спелости. В каждом блоке случайным образом были отобраны растения с 0,25 м² для определения количества стручков и зерен на одном растении, массы 1000 семян. Сбор урожая сои для определения хозяйственной урожайности был проведён с помощью селекционного зерноуборочного комбайна «Неге 125 С» поделаяночно в каждом блоке. После сбора урожая семена сои были высушены при температуре 30 °С, и был проведён анализ их питательной ценности. Содержание сырого жира определяли по ГОСТ 29033-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира», сырого протеина по ГОСТ 10846-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка» на приборе «Кельтран» (ООО ВПК «Сибагро-ПРИБОР», Россия).

Дисперсионный анализ влияния вариантов опыта на элементы структуры урожая проведен при помощи пакетов AgroR и ExpDes языка программирования R методом фиксированных эффектов рендомизированного блочного плана (randomized block design) [25]. Анализ урожайности выполнен методом обобщенной линейной модели с равными весами факторов [26].

Обобщенная линейная модель (GLM) для трехфакторного опыта представлена в следующем виде:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_j + c_k + ab_{ij} + ac_{ik} + bc_{jk} + abc_{ijk} \quad (1)$$

где X_{ij} – значение отдельного признака в опыте, μ – общее среднее (базовое) значение признака, α_i – воздействие уровня i фактора A , b_j – воздействие уровня j фактора B , c_k – воздействие уровня k фактора C , ab_{ij} , ac_{ik} , bc_{jk} , abc_{ijk} – дополнительное воздействие комбинации уровней i и j и k взаимодействия факторов AB, AC, BC и ABC [27].

Значимость различий определяли по критерию Тьюки, $p\text{-value} < 0.05$

Результаты исследований

Инокулянты, содержащие эффективные штаммы *Bradyrhizobium* входящие в состав препарата Хайкоут Супер соя, используются для стимуляции образования клубеньков, биологической фиксации азота и повышения урожайности сои. Интродуцированные штаммы ризобий более конкурентоспособны в образовании клубеньков и азотофиксации, чем популяция местных почвенных бактерий. Они эффективно регулируют процесс клубенькования с достаточно высокой скоростью, или сохраняются в почве с течением времени и специфичны для клубеньковых генотипов отдельных видов бобовых [28; 29]. В наших исследованиях на вариантах без инокуляции клубеньков на растениях сои не обнаружено. В тоже время в фазу формирования бобов на эффективность инокуляции Хайкоут Супер соя оказали влияние изучаемые сорта и обработка растений борным удобрением (рисунок 1А).

Установлено что количество клубеньков во все годы исследований на сорте Аннушка было достоверно выше чем на сорте Памяти Фадеева. В тоже время масса клубеньков с одного растения не зависела от сорта. Это говорит перераспределения ассимилянтов в системе «растение-клубеньки», которое регулируется в зависимости от скорости появления новых симбиотических образований. Применение борных удобрений значимо увеличило количество клубеньков только в 2023 г. (в среднем на 1,8 шт./растение). В менее благоприятных условиях вегетации 2024 г. количество клубеньков значимо не изменялось. Масса клубеньков с растения возрастала при листовой обработке бором в независимости от погодных условий. Так в 2023 г. среднее увеличение составило 1,8 г/растение, в 2024 – 0,64 г/растение.

Погодные условия и варианты опыта повлияли на структурные показатели урожайности сои. В годы проведения исследований установлено существенное изменение количество бобов и зерен с растения в зависимости от сорта. Так в 2023 г., в более благоприятных для развития растений условиях, максимальное количество этих элементов было характерно для сорта

Памяти Фадеева, в 2024 г. – для сорта Аннушка. Масса 1000 семян максимальной за все годы исследований установлена для сорта Памяти Фадеева.

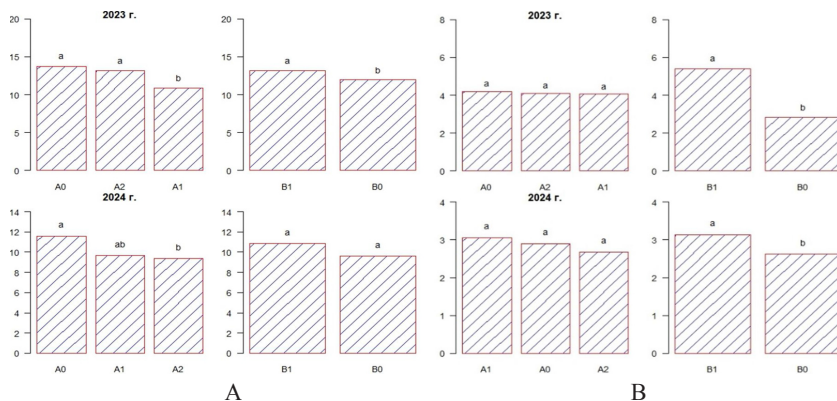


Рис. 1. Влияние сортов, и борного удобрения на количество (А) и массу клубеньков (В) на растениях сои

Fig. 1. Effect of varieties and boron fertilizer on the number (A) and weight (B) of nodules on soybean plants

Применение инокулянта значимо увеличивала основные параметры структуры урожая сои. В 2023 г. в среднем на данном варианте было на 26% больше бобов и 22% семян по сравнению с вариантом без инокуляции. В 2024 году увеличение составило 7 и 11% соответственно. Масса 1000 семян по фактору В существенно различалась только в 2024 г. Применение борных удобрений значимо увеличивало количество бобов во все годы исследований, количество зерен только в 2024 г.

Определение взаимодействия факторов АВ показало, что в 2023 г. достоверное увеличение показателей урожайности было характерно для вариантов Памяти Фадеева×Хайкоут Супер соя, в 2024 году – Аннушка×Хайкоут Супер соя.

Взаимодействие борных удобрений и сорта по годам показало схожую тенденцию. Максимальное количество семян в 2023 г. определено для варианта Памяти Фадеева×Бор (2 л/га), в 2024 г. для варианта Аннушка×Бор (2 л/га). Масса 1000 семян в меньшей степени зависела от взаимодействия факторов, определяясь погодными условиями и особенностями сорта. Также установлены существенные различия при анализе взаимодействия инокулирования и внесения борных удобрений. Так совместное влияние Хайкоут Супер соя × Бор (2 л/га) в 2023 г увеличивало количе-

ство бобов на растении в среднем на 28 % по сравнению с вариантом без удобрений и биопрепаратов, в 2024 г – на 11 %. В отношении количества семян увеличение по годам составило 24 и 18 % соответственно.

Таблица 1.

**Анализ влияния главных эффектов опыта и их взаимодействий
на показатели структуры урожая сои.**

**Table 1. Analysis of the effects of the main experimental treatments
and their interactions on soybean yield components.**

Главные эффекты и их взаимодействия	2023 г			2024 г.		
	Количество бобов, шт./раст.	Количество зерен, шт./раст	Масса 1 000 семян, г	Количество бобов, шт./раст.	Количество зерен, шт./раст	Масса 1 000 семян, г
Фактор А (сорт)						
Аннушка (A_0)	24,7 ^b	35,4 ^b	135,1 ^a	16,1 ^b	31,0 ^b	116,2 ^a
Билявка (A_1)	21,4 ^a	31,5 ^a	145,1 ^b	14,9 ^a	26,7 ^a	129,6 ^b
Памяти Фадеева (A_2)	28,9 ^c	41,9 ^c	150,4 ^b	12,9 ^a	23,6 ^a	132,3 ^b
Фактор В (инокулянт)						
Без инокулянта (B_0)	22,7 ^a	32,7 ^a	141,4	13,8 ^a	25,8 ^a	122,0 ^a
Хайкоут Супер соя (B_1)	27,3 ^b	39,9 ^b	145,7	14,9 ^b	28,4 ^b	130,0 ^b
Фактор С (удобрения)						
Без удобрений (C_0)	22,6 ^a	33,6	132,3	13,0 ^a	24,3 ^a	116,9
Бор (2 л/га) (C_1)	24,7 ^b	35,2	139,7	14,1 ^b	27,1 ^b	121,9
Фактор А × Фактор В						
$A_0 \times B_0$	24,3 ^{bc}	35,5 ^b	132,4 ^a	15,8 ^c	30,6 ^c	112,0 ^a
$A_0 \times B_1$	25,2 ^b	35,2 ^b	137,8 ^{ab}	16,4 ^{bc}	31,5 ^c	120,5 ^{ab}
$A_1 \times B_0$	20,9 ^a	29,9 ^a	143,7 ^{ab}	13,8 ^{ab}	25,4 ^b	125,5 ^b
$A_1 \times B_1$	21,8 ^{ab}	33,1 ^b	146,5 ^{ab}	14,2 ^b	27,9 ^{bc}	133,7 ^c
$A_2 \times B_0$	22,9 ^{ab}	32,5 ^{ab}	148,0 ^{ab}	11,9 ^a	21,4 ^a	128,5 ^b
$A_2 \times B_1$	34,9 ^c	51,2 ^c	152,8 ^b	14,0 ^b	25,9 ^b	136,0 ^c
Фактор А × Фактор С						
$A_0 \times C_0$	23,7 ^{ab}	35,0 ^b	128,2 ^a	15,9 ^{bc}	30,7 ^b	113,8 ^a
$A_0 \times C_1$	25,7 ^{ab}	35,8 ^b	142,1 ^b	16,3 ^{bc}	31,4 ^{bc}	118,7 ^{ab}
$A_1 \times C_0$	20,2 ^a	30,1 ^a	142,1 ^b	13,3 ^{ab}	25,1 ^{ab}	125,8 ^{ab}
$A_1 \times C_1$	22,6 ^{ab}	33,0 ^{ab}	148,1 ^c	14,7 ^b	28,2 ^b	133,3 ^b
$A_2 \times C_0$	27,8 ^{bc}	41,2 ^c	148,7 ^c	12,1 ^a	21,1 ^a	130,5 ^b
$A_2 \times C_1$	30,0 ^c	42,5 ^c	152,1 ^c	13,7 ^{ab}	26,1 ^{ab}	134,0 ^{bc}
Фактор В × Фактор С						
$B_0 \times C_0$	21,0 ^a	31,2 ^a	136,7	13,0 ^a	23,8 ^a	119,3
$B_0 \times C_1$	24,4 ^{ab}	34,2 ^{ab}	146,0	14,7 ^{ab}	27,8 ^b	124,7
$B_1 \times C_0$	26,8 ^b	39,6 ^b	142,6	14,5 ^{ab}	27,5 ^b	127,4
$B_1 \times C_1$	27,8 ^b	40,1 ^b	148,9	15,2 ^b	29,3 ^b	132,7

Трехфакторный анализ (таблица 2) показал, что основные эффекты опыта были значимыми на протяжении исследования.

Таблица 2.

Обобщенная линейная модель влияния сортов, инокулянта и борного удобрения на урожайность сои в 2023-2024 гг. (среднее $\pm$ стандартное отклонение)

Table 2. Generalized linear model of the effects of variety, inoculant, and boron fertilizer on soybean yield in 2023–2024 (mean $\pm$ standard deviation)

Главные эффекты и взаимодействия	2023 г.	2024 г.
Аннушка $\times$ Без инокулянта $\times$ Без удобрения	1,669 $\pm$ 0,129	1,613 $\pm$ 0,066
Биявка	-0,136 $\pm$ 0,182	-0,250 $\pm$ 0,135
Памяти Фадеева	0,229 $\pm$ 0,182	-0,358 $\pm$ 0,135
Хайкоут Супер соя	0,374 $\pm$ 0,182	0,150 $\pm$ 0,135
Бор (2 л/га)	0,357 $\pm$ 0,182	0,188 $\pm$ 0,235
Биявка $\times$ Хайкоут Супер соя	0,221 $\pm$ 0,158	0,207 $\pm$ 0,333
Памяти Фадеева $\times$ Хайкоут Супер соя	-0,016 $\pm$ 0,158	0,143 $\pm$ 0,333
Биявка $\times$ Бор (2 л/га)	0,038 $\pm$ 0,158	0,187 $\pm$ 0,333
Памяти Фадеева $\times$ Бор (2 л/га)	-0,277 $\pm$ 0,158	0,05 $\pm$ 0,333
Хайкоут Супер соя $\times$ Бор (2 л/га)	-0,290 $\pm$ 0,158	0,016 $\pm$ 0,333
Биявка $\times$ Хайкоут Супер соя $\times$ Бор (2 л/га)	-0,183 $\pm$ 0,364	-0,275 $\pm$ 0,471
Памяти Фадеева $\times$ Хайкоут Супер соя $\times$ Бор (2 л/га)	0,256 $\pm$ 0,364	-0,062 $\pm$ 0,471

В то же время влияние сорта различалось в зависимости от условий вегетации. В 2023 г. значимое увеличение урожайности отмечено для сорта Памяти Фадеева. По сравнению с сортом Аннушка увеличение урожайности составило 13 %, Биявка – 15 %. В 2024 г. наиболее продуктивным был сорт Аннушка, прибавка по сравнению с сортом Биявка – 16 %, Памяти Фадеева – 23%. Установлено положительное достоверное влияние применения инокулянта и внесения борного удобрения. Так в 2023 г. использование Хайкоут Супер соя в среднем по сорту Аннушка привело к увеличению урожайности на 0,374 т/га, сорту Биявка – 0,510 т/га, сорта Памяти Фадеева – 0,145 т/га. В 2024 г. инокулянт в меньшей степени повлиял на урожайность культуры по всем изучаемым сортам. Обработка растений борными удобрениями также более эффективной в 2023 г. В менее благоприятном с точки зрения климатических условий 2024 г. применение микроэлемента увеличивало урожайность сорта Аннушка на 0,188 т/га, Биявка на 0,433 т/га, Памяти Фадеева – на 0,538 т/га.

Двусторонние взаимодействия Сорт $\times$ Инокулянт значимыми были лишь для варианта с сортом Биявка. Эффекты 3-стороннего взаимодействия были незначимыми во все годы исследований.

Полученные результаты подтверждают тренды увеличения урожайности сои за счет внедрения новых элементов технологии. Различия урожайности по годам во многом обусловлено условиями вегетационного периода. Большинство исследований подтверждает тенденцию снижения урожайности в условиях недостатка увлажнения в период цветения – формирования стручков [30; 31]. Сорта сои отличаются различной экологической пластичностью, что приводит к резким колебаниям урожайности по годам. Одной из главных задач исследования культуры является определение наиболее устойчивых к климатическим стрессам сортов [32]. *B. Japonicum* используемые в качестве инокулянта сои в значительном количестве экспериментов существенно увеличивало урожайность культуры, особенно на почвах, на которых она ранее не выращивалась [33; 34]. Применение листовых подкормок бором эффективно, в том на почвах, где недостатка в этом элементе не отмечено. Реакция сои на внесение бора чаще всего проявляется в увеличении сохранности цветков тем самым увеличивая количество стручков на растении [35-37].

Содержание сырого протеина в зерне сое изменялось в зависимости от года исследования (рисунок 2А). В среднем содержание в 2023 составило 32 %, в 2024 г. – 29 %.

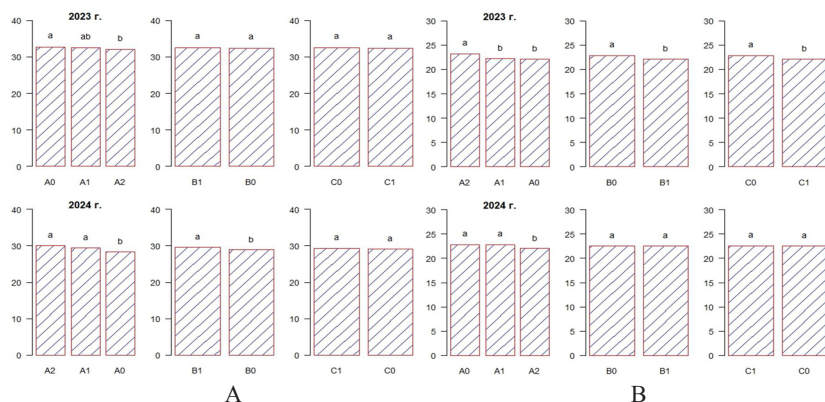


Рис. 2. Влияние сортов, инокулянта и борного удобрения на содержание сырого протеина (А) и сырого жира (В) в зерне сои, %.

Fig. 2. Effect of variety, inoculant, and boron fertilizer on the crude protein (A) and crude fat (B) content in soybeans, %.

Главные эффекты факторов в отдельные годы исследований также значительно влияли на данный показатель. На содержание сырого протеина в изучае-

мых в опыте сортов влияла урожайность культуры. Так в 2024 г. достоверное снижение этого показателя установлено для сорта памяти Фадеева, в 2024 г. для сортов Аннушка и Билявка. Хайкоут Супер соя достоверно увеличивал содержание сырого протеина только в 2024 г., в среднем увеличение составило 1,7 %. Применение бора не оказывало влияния на данный показатель. Содержание сырого жира было стабильным в годы исследований. В среднем по опыту его содержание составило в 2023 г – 23%, в 2024 г – 22 %. Различия по сортам находились в взаимосвязи с содержанием сырого протеина, достоверно увеличиваясь при снижении накопления последнего. Применение инокулянта и борного удобрения значимо снижали содержание сырого жира лишь в 2023 г. – на 1,8 и 1,6 % соответственно.

Заключение

Применение гербицидов в системе возделывания сои играет ключевую роль в борьбе с сорной растительностью, но одновременно может оказывать стрессовое воздействие на растения, приводя к снижению их продуктивности и экологической устойчивости агроценоза. Исследования показали, что использование инокулянта Хайкоут супер соя совместно с листовой подкормкой борными удобрениями способствует значительному повышению урожайности культуры, независимо от сортовых особенностей. Увеличение урожая составляет 0,154–0,512 т/га и достигается преимущественно за счет повышения количества плодов и семян на растении. Несмотря на то, что при повышении урожайности наблюдалось некоторое уменьшение содержания сырого протеина и липидов в семенах сои, данные изменения оказались статистически несущественными.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта проведения научных исследований № 123033000029-7 «Разработка подходов получения отечественных аналогов кормовых добавок и удобрений на основе микроэлементов и совершенствование технологии их применения в животноводстве и растениеводстве».

Список литературы / References

1. Popp, J., Pető, K., & Nagy, J. (2013). Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 243–255. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0105-x>. EDN: <https://elibrary.ru/YEWHKY>

2. Firoozzare, A., Boccia, F., Yousefian, N., Ghazanfari, S., & Pakook, S. (2024). Understanding the role of awareness and trust in consumer purchase decisions for healthy food and products. *Food Quality and Preference*, 121, 105275. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2024.105275>. EDN: <https://elibrary.ru/DQKSGN>
3. Viana, C. M., Freire, D., Abrantes, P., Rocha, J., & Pereira, P. (2022). Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 806, 150718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150718>. EDN: <https://elibrary.ru/DGGXWU>
4. Oerke, E. C., & Dehne, H. W. (2004). Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, 23(4), 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001>
5. Gharde, Y., Singh, P. K., Dubey, R. P., & Gupta, P. K. (2018). Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection*, 107, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.007>
6. Scavo, A., & Mauromicale, G. (2020). Integrated weed management in herbaceous field crops. *Agronomy*, 10(4), 466. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040466>. EDN: <https://elibrary.ru/TALJUC>
7. Westwood, J. H., Charudattan, R., Duke, S. O., Fennimore, S. A., Marrone, P., Slaughter, D. C., Swanton, C. J., & Zollinger, R. (2018). Weed management in 2050: Perspectives on the future of weed science. *Weed Science*, 66(3), 275–285. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.78>
8. Xiang, M., Qu, M., Wang, G., Ma, Z., Lu, T., Sun, Y., & Ma, X. (2024). Crop detection technologies, mechanical weeding executive parts and working performance of intelligent mechanical weeding: a review. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1361002. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1361002>. EDN: <https://elibrary.ru/MZFRKG>
9. Adamič, S., & Leskovšek, R. (2021). Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth, yield, and nodulation in the early transition period from conventional tillage to conservation and no-tillage systems. *Agronomy*, 11(12), 2477. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122477>. EDN: <https://elibrary.ru/IEVZNP>
10. Kraska, P., Andruszczak, S., Kwiecińska-Poppe, E., & Pałys, E. (2022). Wpływ podpowierzchniowego wnoszenia nawozu mineralnego na plon i jakość nasion soi w warunkach uprawy bezplużnej. *Agronomy Science*, 77(4), 109–131. <https://doi.org/10.3390/agronomy7020042>
11. Zerihun, A., & Haile, D. (2017). The effect of organic and inorganic fertilizers on the yield of two contrasting soybean varieties and residual nutrient effects on a subsequent finger millet crop. *Agronomy*, 7(2), 42. <https://doi.org/10.3390/agronomy7020042>
12. Iannetta, P. P. M., Young, M., Bachinger, J., Bergkvist, G., Doltra, J., Lopez-Bellido, R. J., Monti, M., Pappa, V. A., Reckling, M., Topp, C. F. E., Walker, R. L., Rees, R. M., Watson, C. A., James, E. K., Squire, G. R., & Begg, G. S. (2016). A comparative nitro-

- gen balance and productivity analysis of legume and non-legume supported cropping systems: the potential role of biological nitrogen fixation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1700. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01700>. EDN: <https://elibrary.ru/XZIHPL>
13. Barreiros, T., Young, A., Cavalcante, R., & Queiroz, E. (2020). Impact of biodiesel production on a soybean biorefinery. *Renewable Energy*, 159, 1066–1083. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.064>. EDN: <https://elibrary.ru/PPTHMV>
 14. Heinrichs, E. A., & Muniappan, R. (2019). Integrated pest management for tropical crops: soyabeans. *CABI Reviews*, 2018, 1–44. <https://doi.org/10.1079/PAVSN-NR201813055>. EDN: <https://elibrary.ru/FBYIUO>
 15. Meseldžija, M., Rajković, M., Dudić, M., Vranešević, M., Bezdan, A., Jurišić, A., & Ljevnaić-Mašić, B. (2020). Economic feasibility of chemical weed control in soybean production in Serbia. *Agronomy*, 10(2), 291. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020291>. EDN: <https://elibrary.ru/ZLIYYL>
 16. Peer, F. A., Hassan, B., Lone, B. A., Qayoom, S., Kumar, R., & Singh, P. K. (2013). Effect of weed control methods on yield and yield attributes of soybean. *African Journal of Agricultural Research*, 8(48), 6135–6141. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1172>
 17. Pereira, F. A. R., Silva, A. A., Ferreira, L. R., & Jakelaitis, A. (2015). Periods of competition between weeds and soybean crop in Cerrado. *African Journal of Agricultural Research*, 10(37), 3644–3649. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9806>
 18. Vivian, R., Reis, A., Kálnay, P. A., Vargas, L., & Echer, F. R. (2013). Weed management in soybean-issues and practices. In *Soybean - Pest Resistance*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/54595>
 19. Datta, A., Ullah, H., Tursun, N., Pornprom, T., Knezevic, S. Z., & Chauhan, B. S. (2017). Managing weeds using crop competition in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Crop Protection*, 95, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.005>
 20. Caldas, J. V. S., Silva, A. G. D., Braz, G. B. P., Procópio, S. D. O., Silva, A. A., & Costa, A. G. (2023). Weed competition on soybean varieties from different relative maturity groups. *Agriculture*, 13(3), 725. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030725>. EDN: <https://elibrary.ru/XYDPJS>
 21. Gage, K. L., Krausz, R. F., & Walters, S. A. (2019). Emerging challenges for weed management in herbicide-resistant crops. *Agriculture*, 9(8), 180. <https://doi.org/10.3390/agriculture9080180>
 22. Fartyal, D., Agarwal, A., James, D., Borphukan, B., Ram, B., Sheri, V., Agrawal, P. K., & Achary, V. M. M. (2018). Developing dual herbicide tolerant transgenic rice plants for sustainable weed management. *Scientific Reports*, 8(1), 11598. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29554-9>. EDN: <https://elibrary.ru/APHEAO>
 23. Kelley, K. B., Wax, L. M., Hager, A. G., & Riechers, D. E. (2005). Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. *Weed Science*, 53(1), 101–112. <https://doi.org/10.1614/WS-04-078R>

24. Morsy, A. S. M., & Tantawy, M. M. (2018). Impact of plant spacing and weed control treatments on yield, quality of soybean (*Glycine Max L.*) and associated weeds characters under Middle Egypt conditions. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 49(1), 27–46. <https://doi.org/10.21608/ajas.2018.8086>
25. Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: An R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952–2958. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
26. Dunn, P. K., & Smyth, G. K. (2018). *Generalized linear models with examples in R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0118-7>
27. Yee, T. W., & Mitchell, N. D. (1991). Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science*, 2(5), 587–602. <https://doi.org/10.2307/3236170>
28. Laranjo, M., Alexandre, A., & Oliveira, S. (2014). Legume growth-promoting rhizobia: An overview on the Mesorhizobium genus. *Microbiological Research*, 169(1), 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.012>. EDN: <https://elibrary.ru/SSNSDJ>
29. Akley, E. K., Rice, C. W., Ahiabor, B. D., & Prasad, P. V. (2023). Bradyrhizobium inoculants impact on promiscuous nodulating soybeans cultivars in Ghana's farming systems. *Agronomy Journal*, 115(3), 1097–1113. <https://doi.org/10.1002/agj2.21273>. EDN: <https://elibrary.ru/DAAWAN>
30. Staniak, M., Szpunar-Krok, E., Wilczewski, E., Kocira, A., & Podleśny, J. (2024). The function of macronutrients in helping soybeans to overcome the negative effects of drought stress. *Agronomy*, 14(8), 1744. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081744>. EDN: <https://elibrary.ru/TKIFOH>
31. Reis, L., Santos e Silva, C. M., Bezerra, B., Mutti, P., Spyrides, M., & Silva, P. (2020). Influence of climate variability on soybean yield in Matopiba, Brazil. *Atmosphere*, 11(10), 1130. <https://doi.org/10.3390/atmos11101130>. EDN: <https://elibrary.ru/VZVRVY>
32. Sobko, O., Stahl, A., Hahn, V., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2020). Environmental effects on soybean (*Glycine max (L.) Merr*) production in central and South Germany. *Agronomy*, 10(12), 1847. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121847>. EDN: <https://elibrary.ru/EHVAGH>
33. Galeriani, T. M., Neves, G. O., Santos Ferreira, J. H., Oliveira, R. N., Oliveira, S. L., Calonego, J. C., & Crusciol, C. A. C. (2022). Calcium and boron fertilization improves soybean photosynthetic efficiency and grain yield. *Plants*, 11(21), 2937. <https://doi.org/10.3390/plants11212937>. EDN: <https://elibrary.ru/OINPVA>
34. Libório, I. F., Campos, C. N. S., Cordeiro Santana, D., Oliveira, I. C. D., de Oliveira, J. L., Teixeira, I. R., & Silva, J. A. G. D. (2023). Boron fertilization improves the agronomic performance of soybean genotypes in the Brazilian Cerrado. *Agriculture*, 14(1), 27. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010027>. EDN: <https://elibrary.ru/TJUTHS>
35. Dias da Silva, R. C., Soares da Silva Junior, G., Pelá, A., Quintao Lana, R. M., & Mageste da Silva, J. G. (2020). Doses, methods and times of application of boron in

- soybean under field conditions. *Bioscience Journal*, 36(6). <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-48015>. EDN: <https://elibrary.ru/YWAAIR>
36. Savala, C. E. N., Wiredu, A. N., Okoth, J. O., & Kyei-Boahen, S. (2021). Inoculant, nitrogen and phosphorus improves photosynthesis and water-use efficiency in soybean production. *The Journal of Agricultural Science*, 159(5–6), 349–362. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000617>. EDN: <https://elibrary.ru/YCSZSG>
37. Buernor, A. B., Kabiru, M. R., Bechtaoui, N., Jibrin, J. M., Mohammed, A. M., & Dorda, H. (2022). Grain legume yield responses to rhizobia inoculants and phosphorus supplementation under Ghana soils: A meta-synthesis. *Frontiers in Plant Science*, 13, 877433. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.877433>. EDN: <https://elibrary.ru/OKCGYK>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Никольский Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры Национальный исследовательский Мордовский государственный университет ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация alnik1986@gmail.com

Вишняков Александр Геннадьевич, лаборант-исследователь кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры Национальный исследовательский Мордовский государственный университет ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация kafedra_paz@agro.mrsu.ru

Бочкарев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры Национальный исследовательский Мордовский государственный университет ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация bochkarevdy@yandex.ru

Бардин Александр Вадимович, аспирант кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
kafedra_paz@agro.mrsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr N. Nikolskii, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Department of Agronomy and Landscape Architecture
*National Research Mordovia State University
68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russian Federation
alnik1986@gmail.com
SPIN-code: 4627-8884
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-7792>*

Aleksandr G. Vishnyakov, Research Assistant at the Department of Agronomy and Landscape Architecture
*National Research Mordovia State University
68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russian Federation
kafedra_paz@agro.mrsu.ru
SPIN-code: 8145-4035
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2841-4853>*

Dmitrii V. Bochkarev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Agronomy and Landscape Architecture
*National Research Mordovia State University
68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russian Federation
bochkarevdy@yandex.ru
SPIN-code: 2484-0839
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-3634>*

Aleksandr V. Bardin, post-graduate student at the Department of Agronomy and Landscape Architecture
*National Research Mordovia State University
68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russian Federation
kafedra_paz@agro.mrsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8190-3718>*

Поступила 28.11.2025

После рецензирования 26.02.2026

Принята 16.03.2026

Received 28.11.2025

Revised 26.02.2026

Accepted 16.03.2026