
ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

**Влияние поливидовых посевов
на формирование продукционного процесса сои
в Нечерноземной зоне**

Берхане Теклесенбет Негасси^{1,2}, Александра Васильевна Шитикова¹✉

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Сельскохозяйственный колледж Хамельмало, Керен, Эритрея

✉ Автор, ответственный за переписку: plant@rgau-msha.ru

Аннотация

Интеграция сои в системы поливидовых посевов является перспективным приемом для повышения общей продуктивности агроценозов. Исследования проводились в течение двух лет (2024–2025 гг.) на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Цель исследований – выявление закономерностей формирования продуктивности и качества зерна сои в условиях поливидовых агроценозов для оптимизации технологий возделывания. Опыт заложен по схеме рандомизированных блоков в четырех повторениях, изучали 14 вариантов сочетаний культур. Основная культура – соя, сорт Магева; для создания поливидовых посевов использовали зерновые и бобовые культуры. Установлено достоверное влияние видового состава поливидовых посевов на продукционные показатели сои ($p < 0,05$). В среднем за два года исследований: максимальное содержание хлорофилла в листьях ($0,034 \text{ мг/см}^2$) отмечено в варианте «Соя + горох полевой» в фазе ВВСН 19; наибольшая урожайность зерна ($3,03 \text{ т/га}$) и сухого вещества ($7,35 \text{ т/га}$) получена в варианте «Соя + горчица»; максимальное содержание протеина в зерне ($43,79\%$) зафиксировано в варианте «Соя + белый люпин». Совместный посев сои с горчицей обеспечил прибавку урожайности зерна на $1,86 \text{ т/га}$, а с люпином белым – повышение содержания протеина на $5,67\%$ по сравнению с монокультурой сои. Совместное возделывание сои с горчицей и люпином белым является эффективным приемом для повышения урожайности и качества зерна сои в условиях Нечерноземной зоны.

Ключевые слова

зерновые культуры, бобовые культуры, соя, протеин, хлорофилл, урожайность, качество зерна

Для цитирования

Негасси Б.Т., Шитикова А.В. Влияние поливидовых посевов на формирование продукционного процесса сои в Нечерноземной зоне // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2026. № 4. С. 95–110.

Effect of multispecies crops on the formation of soybean production in the Non-Chernozem zone

Berhane Teklesenbet Negassi^{1,2}, Aleksandra V. Shitikova¹✉

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²Hamelmallo Agricultural College, Keren, Eritrea

✉Corresponding author: plant@rgau-msha.ru

Abstract

The integration of soybean into polyspecies cropping systems is a promising approach for enhancing the overall productivity of agrocenosis. The study was conducted over two years (2024–2025) at the Field Experimental Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The aim of the study was to identify the patterns of soybean productivity and grain quality formation of under polyspecies agroecosystems to optimize cultivation technologies. The experiment was established in a randomized block design with four replications; 14 crop combination variants were studied. The main crop was soybean, variety Mageva; cereals and legumes were used for creating polyspecies crops. A significant effect of polyspecies composition on soybean productivity parameters was established ($p < 0.05$). Over the two-year average the maximum chlorophyll content in leaves (0.034 mg/cm^2) was recorded in the “Soybean + field pea” variant at the BBCH 19 stage; the highest grain yield (3.03 t/ha) and dry matter yield (7.35 t/ha) were obtained in the “Soybean + mustard” variant; the maximum protein content in grain (43.79%) was recorded in the “Soybean + white lupine” variant. Joint sowing of soybean with mustard increased grain yield by 1.86 t/ha , while sowing with white lupin enhanced grain protein content by 5.67% compared to soybean monoculture. Joint cultivation of soybean with mustard and white lupine is an effective technique for increasing soybean yield and grain quality under Non-Chernozem zone conditions.

Keywords

cereals, legumes, soybean, protein, chlorophyll, yield, grain quality

For citation

Negassi B.T., Shitikova A.V. Effect of multispecies crops on the formation of soybean production in the Non-Chernozem zone. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2026;(4):95-110.

Введение

Introduction

Соя (*Glycine max* (L.) Merr) – ценная культура для питания человека, кормления животных и повышения плодородия почв. Среди зернобобовых культур соя занимает одно из первых мест по способности обогащать почву азотом за счет биологической фиксации, достигающей, по имеющимся данным, от 40 до 250 кг N/га [4, 5], что делает ее ценным элементом севооборотов. Соя занимает четвертое место по значимости в мире после пшеницы, кукурузы и риса и второе место по содержанию масла среди зернобобовых культур [14]. Это важный источник высокопитательного белка, клетчатки, витаминов, минералов и незаменимых

ненасыщенных жирных кислот. Зерна сои содержат высококачественный белок (35–45%), углеводы (20–30%), масло (17–25%), минеральную золу (5–6%) [15, 19, 22] и витамины (А, группы В, С, D, токоферолы) [10]. Семена российских сортов сои северного экотипа (Магева, Светлая, Окская) содержат 40,6–41,2% белка и 19,4–19,9% жира [2]. В настоящее время сою выращивают преимущественно для получения обезжиренного жмыха, богатого белком, а также в качестве сидерата для повышения плодородия почв и улучшения качества кормов. Россия ежегодно наращивает производство экспортно-ориентированной сельскохозяйственной продукции [21], стремясь стать крупным экспортером соевого масла и шрота: в 2023 г. на зарубежные рынки поставлено 715,8 тыс. т соевого масла и 782 тыс. т шрота [12].

Качество производимой продукции является ключевым фактором ее конкурентоспособности. Повышение объемов производства и качества соевых бобов при минимальном применении синтетических агрохимикатов возможно за счет комплексного подхода, включающего в себя селекцию, биологизированные технологии и агротехнические приемы. Принципы формирования поливидовых (смешанных) посевов основаны на симбиозе и рациональном использовании ресурсов среды. По данным S.G. Jo et al. [13], при совместном посеве сои и льна соя демонстрирует более высокие показатели площади листьев, содержания сухого вещества, скорости фотосинтеза, содержания хлорофилла и урожайности зерна (+18,7%) по сравнению с монокультурой. Совместные посевы кукурузы с вигной (*Vigna unguiculata*) значительно повышали содержание белка в зерне [11]. Аналогично совместный посев злаковых и бобовых культур показывает потенциал повышения содержания белка в зерне сои [20], а при посеве сои с пшеницей получено на 17,7% больше белка в зернах сои [18]. Напротив, J. Liu et al. [17] обнаружили снижение содержания белка в зерне сое на 0,20–3,14% и повышение содержания жира на 0,45–2,83% при совместном посеве сои и кукурузы.

Таким образом, совместный посев культур может играть решающую роль в повышении качества продукции, особенно когда за счет симбиоза злаковых с бобовыми существенно повышается содержание белка в зерне [16]. Поливидовые посевы – эффективный инструмент для повышения урожайности, улучшения качества кормов и снижения экологической нагрузки. Они особенно перспективны для кормопроизводства и органического земледелия и широко практикуются во многих странах мира (Канада, Германия, Швеция, США и др.) [8].

В Российской Федерации поливидовые посевы применяются в различных регионах, особенно в кормопроизводстве. Исследования и практика подтверждают их эффективность в разных почвенно-климатических условиях. На учебно-опытной сельскохозяйственной станции Алтайского ГАУ проводились эксперименты с поливидовыми посевами, включающими в себя кукурузу, дайкон, вику и горох. В 2022 г. четырехкомпонентный посев (кукуруза, дайкон, вика, горох) позволил получить урожайность 80,1 ц/га фитомассы, а в 2023 г. – 78,2 ц/га. После скашивания такого посева корнеплоды дайкона частично оставались в почве, что улучшало ее структуру [9]. В Самарской государственной сельскохозяйственной академии изучали поливидовые посевы в условиях лесостепной зоны, и были получены следующие результаты: пятикомпонентный травостой с кормовыми бобами формировал урожайность до 26,26 т/га (10,5 т/га сухого вещества) при уборке на сенаж. Сортосмеси ячменя с горохом обеспечивал урожайность до 18,2 т/га зерносенажной массы, сбалансированной по питательным веществам [3]. Изучались поливидовые посевы с участием редьки масличной

и мятликовых культур (ячмень, овес, просо). Наилучшие результаты дали посевы овса и проса кормового с редькой масличной: урожайность зеленой массы составила 38,8–39,7 т/га, количество сухого вещества – 4,88–4,90 т/га, переваримого протеина – 810–820 кг/га [1]. Однако влияние поливидовых посевов на качество зерна и урожайность сои в условиях Нечерноземной зоны остается в значительной степени неизученным.

Цель исследований: выявление закономерностей формирования продуктивности и качества зерна сои в условиях поливидовых агроценозов для оптимизации технологий возделывания.

Методика исследований

Research method

Исследования проводились в течение двух лет (2024–2025 гг.) на дерново-подзолистых почвах на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (55°50' с.ш., 37°33' в.д., высота – 168 м над уровнем моря). Почва опытного участка характеризовалась следующими показателями: pH_{KCl} – 6,5 (близкая к нейтральной), содержание гумуса – 2,0%, подвижного фосфора (P_2O_5) – 225 мг/кг (высокое), обменного калия (K_2O) – 110 мг/кг (среднее). Опыт заложен методом рандомизированных блоков в четырех повторениях. Площадь опытной деланки – 10 м². Предшественник – озимая пшеница. Объект исследований – соя сорта Магева (раннеспелый, вегетационный период – 83–99 дней, высота растений – 51–76 см, холодостойкий, содержание протеина – 39–42%, жира – 17–19%) [12]. Густота посева сои – 0,5 млн шт/га, схема посева – широко-рядная (междурядья – 45 см). Норма высева компонента (млн шт/га): рожь – 3; пшеница, овес, ячмень – 4; кукуруза – 0,08; люпин узколистый, люпин белый, горох посевной, горох полевой – 0,8; нут – 0,4; вика посевная, горчица – 1. Фенологические наблюдения проводили согласно методике проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами [7]. Отмечали фазы: всходы, бутонизация, цветение, плодобразование, налив бобов, созревание. Начало фазы фиксировали при вступлении в нее ~10% растений, полное прохождение – при ~70%. Содержание хлорофилла определяли прибором atLEAF CHL PLUS (относительные единицы, пересчет – в мг/см² по калибровочной кривой). Урожайность определяли методом сплошного учета с пересчетом на стандартную влажность [6]. Биохимические показатели (содержание сырого протеина и жира) анализировали на зерновом анализаторе Infratec 1241 (Foss, Denmark). Статистическую обработку данных производили методом дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программы GenStat. Достоверность различий оценивали при уровне значимости $\alpha = 0,05$ (НСР₀₅).

Температурный фактор является лимитирующим на всех этапах онтогенеза сои (*Glycine max* (L.) Merr.): от фазы прорастания семян до достижения физиологической спелости. Температурный режим характеризовался межгодовой вариабельностью (рис.).

В 2024 г. среднемесячная температура колебалась от 12,7°C (май) до 22,5°C (июль), в 2025 г. – от 13,2 до 21,8°C. Количество и распределение атмосферных осадков по годам исследований приведены в таблице 1.

Количество осадков существенно различалось: в 2024 г. ГТК составил 1,47 (умеренное увлажнение с засухой в августе), в 2025 г. – 2,05 (избыточное увлажнение). Таким образом, условия 2024 г. были более благоприятными для формирования урожая сои.

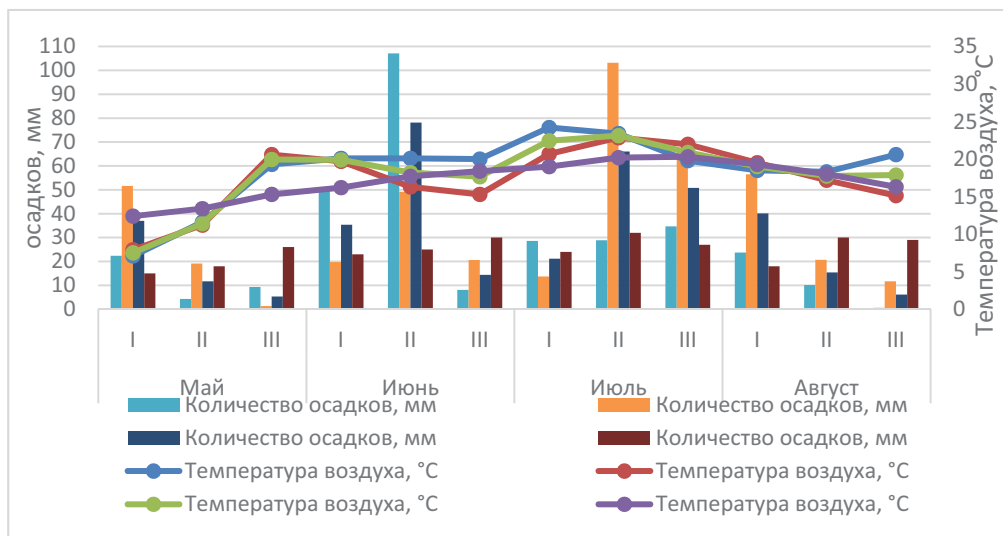


Рис. Метеорологические условия вегетационного периода, 2024–2025 гг.
(по данным обсерватории им. В.А. Михельсона)

Figure. Meteorological conditions of the growing season, 2024–2025
(based on data from the V.A. Mikhelson Observatory)

Таблица 1

**Значения гидротермического коэффициента (ГТК)
в период вегетации сои**

Table 1

**Hydrothermal coefficient (HTC) values during
the soybean growing season**

Год	Месяц				
	май	июнь	июль	август	Сумма
2024	0,92	2,76	1,37	0,6	1,47
2025	1,75	1,74	2,72	1,71	2,05

Результаты и их обсуждение

Result and discussion

Научные исследования были направлены на формирование высокопродуктивных поливидовых посевов сои и основаны на подборе компонентов смесей с учетом биологических особенностей культур и почвенно-климатических условий, включали в себя изучение ростовых процессов, фотосинтетической деятельности и динамики накопления сухого вещества, оценку урожайности сои. Анализ данных, полученных в течение двухлетнего вегетационного периода, продемонстрировал существенную зависимость динамики роста и формирования урожайности

сои от видового состава агроценоза. Применение поливидовых систем посева способствовало оптимизации условий роста, что привело к статистически подтвержденному повышению продукционных показателей. Различия между опытными вариантами и контролем оказались достоверными при принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$).

Содержание хлорофилла. В ходе двухлетнего полевого эксперимента установлено достоверное влияние видового состава агроценозов на пигментный комплекс листьев сои (*Glycine max* (L.) Merr.). Содержание общего хлорофилла варьировало в значительных пределах в зависимости от года исследований и фазы онтогенеза растений (кодификатор ВВСН) (приведены в таблице 2). Усредненные данные свидетельствуют о четкой физиологической закономерности: максимальное накопление хлорофилла в листьях сои отмечено в фазе конца ветвления (ВВСН 19) – 0,029–0,034 мг/см². Данная фаза характеризуется пиком фотосинтетической активности, предшествующим репродуктивному периоду. На более ранних (ВВСН 14) и поздних (ВВСН 65) этапах развития растений содержание пигментов было достоверно ниже, чем в период интенсивного роста (ВВСН 19), что отражает естественную динамику формирования и старения фотосинтетического аппарата. В фазу ВВСН 19 у растений сои в поливидовых посевах в большинстве вариантов отмечалось более высокое содержание хлорофилла по сравнению с контролем (0,029 мг/см²). При этом статистически значимым было увеличение концентрации хлорофилла в листьях сои только в варианте «Соя + горох полевой» (0,034 мг/см²), что на 17,2% превысило контроль. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, отметивших положительное влияние межвидовых взаимодействий на пигментный комплекс сои [13, 17, 20].

Повышение содержания хлорофилла в поливидовых агроценозах может быть обусловлено: оптимизацией ризосферных процессов (стимуляция азотфиксации, мобилизация фосфора); улучшением микроклимата посевов (регуляция светового режима, снижение температуры); активизацией микробиоты ризосферы; снижением конкурентного стресса за счет комплементарности экологических ниш. Анализ данных показал достоверные различия в содержании хлорофилла в листьях сои при совместном возделывании с различными культурами. Максимальное содержание хлорофилла (0,034 мг/см²) зафиксировано в варианте совместного посева сои с полевым горохом, что свидетельствует о наиболее благоприятном влиянии данной культуры-компаньона на фотосинтетический аппарат сои. Умеренно эффективными оказались смеси сои с рожью, нутом, викой посевной, горчицей, пшеницей и люпином белым (0,032–0,033 мг/см²), что указывает на положительное влияние злаково-бобовых компонентов на пигментный комплекс.

Ранжирование вариантов опыта по содержанию хлорофилла в листьях сои представлено в таблице 3. Базовый уровень содержания хлорофилла (0,030 мг/см²) отмечен в вариантах с ячменем, люпином узколистным, горохом посевным и вико-овсяной смесью.

Наименьшее содержание хлорофилла (0,028 мг/см²) зафиксировано в варианте с овсом, что может быть связано с конкурентным воздействием данной культуры на сою за ресурсы среды.

Количество бобов на растении. В среднем за два года количество бобов достоверно различалось по вариантам опыта (табл. 4). Наибольшее количество бобов отмечено в вариантах «Соя + ячмень» (19,9 шт/раст.) и «Соя + горчица» (19,7 шт/раст.), что на 7,0–7,2 шт. больше контроля. Минимальные показатели зафиксированы в вариантах с кукурузой и рожью (10,1–10,6 шт/раст.).

Таблица 2

Содержание хлорофилла в листьях сои, среднее за 2 года

Table 2

Chlorophyll content in soybean leaves, average over 2 years

Варианты	BBCH 14			BBCH 19			BBCH 65		
	atLEAF CHL	SPAD units:	TCC. mg/cm ²	atLEAF CHL	SPAD units:	TCC. mg/cm ²	atLEAF CHL:	SPAD units:	TCC. mg/cm ²
Соя (контроль)	36,900	26,450	0,021	44,220	33,440	0,029	34,500	24,060	0,018
Соя + рожь	36,530	26,050	0,020	45,920	35,365	0,032	33,795	23,325	0,018
Соя + пшеница	37,015	26,525	0,021	46,430	35,875	0,033	34,695	24,250	0,019
Соя + овес	38,590	28,110	0,023	43,380	32,850	0,028	38,860	28,400	0,022
Соя + ячмень	36,430	25,975	0,020	44,200	33,675	0,030	41,630	31,140	0,026
Соя + кукуруза	37,910	27,435	0,022	43,755	33,250	0,029	34,630	24,190	0,019
Соя + люпин узколистный	39,290	28,785	0,024	44,470	33,925	0,030	41,435	30,925	0,026
Соя + люпин белый	39,655	29,160	0,024	47,135	36,540	0,033	44,250	33,700	0,030
Соя + нут	39,590	29,110	0,024	45,845	35,265	0,032	36,145	25,665	0,020
Соя + горох посевной	37,840	27,375	0,022	44,890	34,340	0,030	34,295	23,840	0,018
Соя + горох полевой	37,350	26,885	0,021	47,280	36,725	0,034	39,010	28,515	0,023
Соя + вика посевная	38,615	28,110	0,022	45,705	35,140	0,032	38,230	27,735	0,022
Соя + вика + овес	37,435	26,950	0,021	44,755	34,210	0,030	38,280	27,800	0,023
Соя + горчица	38,655	28,150	0,023	45,590	35,015	0,032	43,335	32,825	0,029
Среднее	37,984	27,507	0,022	45,253	34,700	0,031	38,081	27,600	0,022
НСР _{0,05}	2,965	2,960	0,004	3,210	3,180	0,005	3,645	3,615	0,005

Группировка вариантов поливидовых посевов по эффективности влияния на содержание хлорофилла в листьях сои (среднее за 2024–2025 гг.)

Table 3

Grouping of polyspecies cropping variants by their effect on chlorophyll content in soybean (average of 2024–2025)

Группа эффективности	Компоненты совместного посева	Содержание хлорофилла, мг/см ²
Высокая	горох полевой (<i>Pisum arvense</i> L.)	0,034
Умеренная	рожь (<i>Secale cereale</i> L.), нут (<i>Cicer arietinum</i> L.), вика посевная (<i>Vicia sativa</i> L.), горчица белая (<i>Sinapis alba</i> L.), пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.), люпин белый (<i>Lupinus albus</i> L.)	0,032–0,033
Базовая	ячмень (<i>Hordeum vulgare</i> L.), люпин узколистный (<i>Lupinus angustifolius</i> L.), горох посевной (<i>Pisum sativum</i> L.), вико-овсяная смесь	0,030
Сниженная	овес (<i>Avena sativa</i> L.)	0,028
Контроль	соя в монокультуре	0,029

В исследованиях установлено достоверное влияние видового состава поливидовых посевов на качественные показатели семян сои: количество семян в бобах и массы 1 тыс. семян (при уровне значимости $\alpha = 0,05$; $НСП_{05} = 5,5$ и 10,2 соответственно).

Количество семян. В 2025 г. при избыточном увлажнении (ГТК = 2,05) наблюдалось снижение количества семян в бобах во всех вариантах, однако поливидовые посевы сои с рожью и овсом продемонстрировали меньшую вариабельность. Максимальные значения получены в вариантах «Соя + горчица» (40,9 шт/раст.) и «Соя + горох полевой» (39,1 шт/раст.). Варианты с горчицей и полевым горохом продемонстрировали положительную реакцию на избыточное увлажнение 2025 г. (ГТК = 2,05), тогда как монокультура сои показала резкое снижение продуктивности, что свидетельствует о буферной роли культур-компаньонов в стрессовых условиях. Совместный посев с пшеницей и кукурузой достоверно снижал количество семян на 4,8–13,7 шт. по сравнению с контролем, что указывает на высокую межвидовую конкуренцию за ресурсы.

Масса 1000 семян. Все варианты поливидовых посевов, за исключением варианта «Соя + кукуруза», достоверно повышали массу 1 тыс. семян по сравнению с контролем (табл. 5).

Таблица 4

**Влияние поливидовых посевов на количество бобов
и семян сои, 2024–2025 гг.**

Table 4

**Effect of polyspecies crops on the number of pods
and seeds per soybean plant, 2024–2025**

Варианты	Количество бобов, шт/раст.			Количество семян шт/раст.		
	2024 г.	2025 г.	среднее	2024 г.	2025 г.	среднее
Контроль	12,6	12,7	12,7	38,8	19,1	29,0
Рожь	16,8	4,3	10,6	44,5	7,9	26,2
Пшеница	12,9	9,1	11,0	29,4	18,9	24,2
Овес	12,6	11,9	12,3	36,5	21,8	29,2
Ячмень	23,2	16,5	19,9	40,1	32,0	36,1
Кукуруза	7,0	13,2	10,1	12,2	18,3	15,3
Люпин узколистый	10,6	18,6	14,6	29,0	36,0	32,5
Люпин белый	6,4	26,8	16,6	15,1	47,8	31,5
Нут	14,6	17,4	16,0	39,9	28,0	34,0
Горох посевной	14,2	13,9	14,1	40,0	23,0	31,5
Горох полевой	12,6	24,9	18,8	23,8	54,4	39,1
Вика посевная	17,5	15,2	16,4	40,3	26,3	33,3
Вика + овес	24,0	8,4	16,2	35,4	15,4	25,4
Горчица	15,2	24,1	19,7	30,8	50,9	40,9
НСР0.05	4,9	6,1	5,5	6,7	13,8	10,2

Максимальный эффект достигнут в варианте «Соя + горчица», что свидетельствует о благоприятном влиянии данной культуры-компаньона на формирование репродуктивных органов сои. Наибольший показатель зафиксирован в варианте «Соя + горчица» (163,7 г), что на 20,9% выше контроля. Установлено, что поливидовые посевы сои с горчицей, нут и полевым горохом достоверно повышают массу 1 тыс. семян на 18–21% по сравнению с монокультурой. При этом наблюдается компенсаторная взаимосвязь: в условиях избыточного увлажнения (2025 г.) снижение количества семян в бобах компенсируется увеличением их массы. Варианты с горчицей и полевым горохом характеризуются наименьшей межгодовой вариабельностью, что подтверждает их целесообразность для возделывания в зонах нестабильного увлажнения.

Таблица 5

Влияние поливидовых посевов на массу 1 тыс. семян сои, 2024–2025 гг.

Table 5

Effect of polyspecies crops on thousand-seed weight of soybean, 2024–2025

Варианты	Масса тысячи семян, г		
	2024	2025	Среднее
Контроль	148,5	122,2	135,4
Рожь	159,5	144,1	151,8
Пшеница	167,5	138,8	153,2
Овес	170,0	139,9	155,0
Ячмень	160,0	133,7	146,9
Кукуруза	152,0	120,3	136,2
Люпин узколистный	162,0	156,5	159,3
Люпин белый	152,5	164,1	158,3
Нут	169,0	154,0	161,5
Горох посевной	156,5	130,6	143,6
Горох полевой	155,0	164,5	159,8
Вика посевная	158,0	136,6	147,3
Вика + овес	167,5	148,8	158,2
Горчица	169,0	158,4	163,7
НСР 0,05	5,8	8,2	7,0

Урожайность и качество. В среднем за два года исследований максимальная урожайность зерна сои сформирована в вариантах «Соя + горчица» (3,03 т/га), «Соя + горох полевой» и «Соя + белый люпин» (2,56 и 2,35 т/га зерна соответственно). Содержание протеина в зерне варьировало от 37,91 до 43,79%. Максимальные значения зафиксированы в вариантах «Соя + белый люпин» (43,79%) и «Соя + горчица» (43,03%), что на 5,67 и 4,91% выше контроля (38,11%) соответственно (табл. 6). Варианты с горчицей и ячменем достоверно повышали количество бобов и семян на одно растение (на 48–55 и 35–41% соответственно), что напрямую определило прибавку урожая (табл. 6).

Результаты согласуются с данными исследований, подтверждающих повышение содержания белка в зерне сои при совместном возделывании с пшеницей и другими культурами [1, 11, 13, 16, 18, 20]. Разные культуры имеют различную архитектуру корней, что позволяет поглощать влагу и минеральные вещества из разных горизонтов почвы. Это снижает межвидовую конкуренцию и повышает коэффициент использования ресурсов.

Урожайность и качество сои, 2024–2025 гг.

Table 6

Soybean yield and quality, 2024–2025

Вариант	Урожайность, т/га			Протеин, %		
	2024	2025	среднее	2024	2025	среднее
Контроль	1,32	1,01	1,17	43,05	33,16	38,11
Рожь	2,57	0,53	1,55	44,43	37,19	40,81
Пшеница	2,19	1,08	1,64	44,77	36,50	40,64
Овес	2,95	1,37	2,16	43,37	36,83	40,10
Ячмень	1,97	1,80	1,89	44,18	39,84	42,01
Кукуруза	1,03	1,00	1,02	44,23	32,27	38,25
Люпин узколистый	2,22	2,30	2,26	44,69	38,84	41,76
Люпин белый	1,32	3,37	2,35	45,42	42,16	43,79
Нут	2,64	1,42	2,03	41,83	33,99	37,91
Горох посевной	2,03	1,25	1,64	43,23	35,54	39,39
Горох полевой	2,02	3,09	2,56	43,68	38,97	41,33
Вика посевная	2,29	1,46	1,88	43,41	36,00	39,71
Вика + овес	1,96	0,97	1,47	43,33	36,77	40,05
Горчица	2,44	3,62	3,03	45,04	41,02	43,03
НСР _{0,05}	0,50	0,83	0,67	2,11	0,78	1,45

Растения используют ресурсы среды (свет, воду, питание) в разное время или разным способом, что позволяет сообществу в целом более продуктивно использовать доступный потенциал поля по сравнению с монокультурой. Повышенное содержание хлорофилла (максимум в варианте «Соя + горох полевой» – 0,034 мг/см²) свидетельствует об улучшении светопередачи и эффективности фотосинтетического аппарата. В смешанных посевах с бобовыми (люпин, горох, вика) происходит взаимная стимуляция клубеньковых бактерий, что улучшает азотное питание всех компонентов смеси. Повышение протеина может быть обусловлено эффектом затенения и симбиотической ассоциацией злаковых с бобовыми [16]. Поливидовые посевы работают не просто как сумма отдельных культур, а как единая агроэкосистема с синергетическим эффектом (табл. 7).

Механизмы формирования урожайности

Table 7

Mechanisms of yield formation

Культура-компаньон	Основной механизм действия	Результат
Горчица	Быстрый рост, защита от стрессов, улучшение фосфорного питания	Максимальная урожайность зерна (3,03 т/га) и биомассы
Люпин белый	Симбиотическая азотфиксация, глубокая корневая система	Максимальное содержание протеина (43,79%)
Горох полевой	Оптимизация светового режима, стимуляция фотосинтеза	Максимальное содержание хлорофилла (0,034 мг/см ²)
Рожь	Аллелопатия, плотный покров (живая мульча)	Максимальное подавление сорняков (91,2%)
Ячмень	Стабильность, умеренная конкуренция	Высокое количество бобов на растение (19,9 шт.)

Выводы**Conclusions**

На основании двухлетних исследований (2024–2025 гг.) по изучению влияния поливидовых посевов на продуктивность и качество зерна сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в условиях Нечерноземной зоны установлены такие закономерности:

1. Видовой состав поливидовых посевов достоверно влиял на содержание хлорофилла в листьях сои ($p < 0,05$). Максимальное накопление пигментов (0,034 мг/см²) зафиксировано в варианте «Соя + горох полевой» в фазе ВВСН 19, что на 17,2% превышало контроль. Пик фотосинтетической активности приходился на фазу конца ветвления, что подтверждает целесообразность мониторинга физиологического статуса растений в этот критический период.

2. Совместное возделывание сои с горчицей и полевым горохом достоверно повышало количество бобов (на 48–55%) и семян (на 35–41%) на одно растение по сравнению с монокультурой. Наибольшая масса 1000 семян (163,7 г) получена в варианте «Соя + горчица», что на 20,9% выше контроля (135,4 г).

3. Использование поливидовых посевов обеспечило достоверное повышение урожайности зерна и увеличение биомассы сои ($p < 0,05$). Максимальная урожайность зерна (3,03 т/га) и сухой биомассы (7,35 т/га) сформирована в варианте «Соя + горчица», что превышает показатели монокультуры на 1,86 т/га (+159%) и 4,49 т/га (+157%) соответственно. Варианты «Соя + горох полевой» и «Соя + белый люпин» также показали высокую продуктивность (2,56 и 2,35 т/га зерна).

4. Содержание протеина в зерне сои варьировало от 37,91 до 43,79%. Максимальные значения зафиксированы в вариантах «Соя + белый люпин» (43,79%) и «Соя + горчица» (43,03%), что на 5,67 и 4,91% выше контроля (38,11%) соответственно. Совместное возделывание со злаково-бобовыми культурами способствовало улучшению биохимического состава зерна за счет симбиотических взаимодействий и оптимизации условий питания.

Список источников

1. Андреева О.Т., Пилипенко Н.Г., Сидорова Л.П., Харченко Н.Ю. Редька масличная в одновидовых и поливидовых посевах с мятликовыми культурами // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 50, № 2. С. 23-31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-3>
2. Бельшикина М.Е. Биохимический состав семян раннеспелых сортов сои и его вариабельность в зависимости от сортовых особенностей и метеорологических условий вегетационного периода // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 3 (51). С. 33-40. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-3-33-40>
3. Васин В.Г., Васин А.В., Кожевникова О.П., Кузнецов К.А. и др. Поливидовые посева в кормопроизводстве Среднего Поволжья // *Земледелие*. 2017. № 6. С. 33-39. EDN: ZIOSSB
4. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: Учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. 6-е изд., стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс. 2011. С. 352. EDN: QLCQEP
5. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. *Экология азотфиксации*. Саратов: Амирит, 2019. 252 с. EDN: NFFWSG
6. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. *Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами*. Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. 538 с. EDN: KGEQYQ
7. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Баранов В.Ф., Пивень В.Т. и др. *Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами*. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, 2010. 327 с. EDN: SIXBBD
8. Мухамадиев Р.Х., Низамов Р.М., Маликов М.М. Кормосмеси в системе кормопроизводства Республики Татарстан // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2017. Т. 12, № 4. С. 20-22. https://doi.org/10.12737/article_5a5f049c9a5b93.89385750
9. Пугач Д.А. Одновидовые и поливидовые посева полевых культур // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2024. № 5-6 (92). С. 167-170. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-5-6-167-170>
10. Afaq A. Soybean Nutritional Composition and its Health Benefits: A Review. *EC Nutrition*. 2020;15(3):01-07.
11. Begam A., Pramanick M., Dutta S., Paramanik B. et al. Inter-cropping patterns and nutrient management effects on maize growth, yield and quality. *Field Crops Research*. 2024;310:109363. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109363>
12. *Export of food and agricultural raw materials from Russia*. URL: https://tadviser.com/index.php/Article: Export_of_food_and_agricultural_raw_materials_from_Russia (дата обращения: 18.02.2026).
13. Jo S.G., Kang Y.I., Om K.S., Cha Y.H. et al. Growth, photosynthesis and yield of soybean in ridge-furrow intercropping system of soybean and flax. *Field Crops Research*. 2022;275:108329. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108329>
14. Karges K., Bellingrath-Kimura S.D., Watson C.A., Stoddard F.L. et al. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy*. 2022;133:126415. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126415>
15. Bellaloui N., Kassem M.A. Chapter 1. Soybean Protein, oil, fatty acids and amino acids: Effects of Genetic and Environmental Factors. In: *Soybean Seed Composition*:

Protein, Oil, Fatty Acids, Amino Acids, Sugars, Mineral Nutrients, Tocopherols, and Isoflavones (ebook). M.A. Kassem (Eds). North Carolina, USA: Plant Genomics and Biotechnology Lab, Department of Biological and Forensic Sciences, Fayetteville State University, 2022:1-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82906-3>

16. Liu C., Safitri R., van Leeuwen S., Ozturk B. et al. Impacts of biodiversity-positive intercropping systems on food quality, safety and the consumer acceptance: A case study of intercropped wheat. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025;21:101881. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101881>

17. Liu J., Chen J., He Y., Deng J. et al. Chapter 6. Crop Quality Formation and Its Environmental Regulation in Maize-Soybean Strip Intercropping. In: *Theories and Application in Maize-Soybean Strip Intercropping System (ebook)*. W. Yang, F. Yang, Y. Wu (Eds). Chengdu, China: College of Agronomy, Sichuan Agricultural University. 2025:177-199. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8723-4_6

18. Ma B., Liang Z., Hua W., Groot J.C. et al. Improved sustainability of grain production by intercropping and partial organic substitution in the North China Plain. *Field Crops Research*. 2025;326:109886. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109886>

19. Medic J., Atkinson C., Hurburgh Jr C.R. Current knowledge in soybean composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2014;91(3):363-384. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2407-9>

20. Pinaffi C.D., dos Santos C.H., Pacheco A.C., Moreira A.C.M. et al. Grass-legume intercropping pasture system improves physiological activity and yield of post crop soybeans. *European Journal of Agronomy*. 2024;158:127222. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127222>

21. Sinegovskii M.O., Malashonok A.A. and Sinegovskaya V. Assessment of the export potential of Russian soybeans. *IOP Conference Series: Earth Environmental Sciences*. 2021;677(2):022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022025>

22. Zarenkova N.V., Shitikova A.V., Negassi B.T., Savoskina O.A. et al. Yield variability of soybean varieties in the Non-Chernozem zone. *BIO Web of Conferences*. 2023;66:05006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236605006>

References

1. Andreeva O.T., Pilipenko N.G., Sidorova L.P., Kharchenko N.Yu. Oilseed radish in single- and multi-crop sowings with poaceous crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2020;50(2):23-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-3>

2. Belyshkina M.E. biochemical composition of seeds of early-maturing soybean varieties and its variability depending on the varietal characteristics and meteorological conditions of vegetation period. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;3(51):33-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-3-33-40>

3. Vasin V.G., Vasin A.V., Kozhevnikova O.P., Kuznetsov K.A. et al. Poly-species crops in feed production of the Middle Volga region. *Zemledelie*. 2017;(6):33-39. (In Russ.)

4. Dospekhov B.A. *Methodology of field experience: (with the basics of statistical processing of research results)*: a textbook for students of higher agricultural educational institutions in agronomic specialties. 6th ed., ster., repr. from 5th ed. 1985. Moscow, Russia: Al'yans, 2011:352. (In Russ.)

5. Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Y. *Ecology of nitrogen fixation*: a monograph. Saratov, Russia: Limited Liability Company Amirit, 2019:252. (In Russ.)

6. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Semerenko S.A. *Methodology of agrotechnical research in experiments with basic field crops*: a monograph. 3rd ed., rev. and enl. Krasnodar, Russia: Limited Liability Company "Prosvshenie-Yug", 2022:538. (In Russ.)

7. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Baranov V.F., Piven V.T. et al. *Methods of conducting field agrotechnical experiments with oilseeds: a monograph*. 2nd ed., rev. and enl. Krasnodar, Russia: Federal Research Center “V.S. Pustovoit All-Russia Research Institute of Oil Crops”, 2010:327. (In Russ.)
8. Mukhamadiev R.H., Nizamov R.M., Malikov M.M. Of mixtures in the system of fodder production of the Republic of Tatarstan. *Bulletin of Kazan State Agrarian University. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education*. 2017;12 (4(46)):20-22. (In Russ.) https://doi.org/10.12737/article_5a5f049c9a5b93.89385750
9. Pugach D.A. On-species and poly-species crops of field crops. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2024;(5-6(92)):167-170. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-5-6-167-170>
10. Afaq A. Soybean Nutritional Composition and its Health Benefits: A Review. *EC Nutrition*. 2020;15(3):01-07.
11. Begam A., Pramanick M., Dutta S., Paramanik B. et al. Inter-cropping patterns and nutrient management effects on maize growth, yield and quality. *Field Crops Research*. 2024;310:109363. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109363>
12. *Export of food and agricultural raw materials from Russia*. URL: https://tadviser.com/index.php/Article:Export_of_food_and_agricultural_raw_materials_from_Russia (accessed: February 18, 2026).
13. Jo S.G., Kang Y.I., Om K.S., Cha Y.H. et al. Growth, photosynthesis and yield of soybean in ridge-furrow intercropping system of soybean and flax. *Field Crops Research*. 2022;275:108329. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108329>
14. Karges K., Bellingrath-Kimura S.D., Watson C.A., Stoddard F.L. et al. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy*. 2022;133:126415. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126415>
15. Bellaloui N., Kassem M.A. Chapter 1. Soybean Protein, oil, fatty acids and amino acids: Effects of Genetic and Environmental Factors. In: *Soybean Seed Composition: Protein, Oil, Fatty Acids, Amino Acids, Sugars, Mineral Nutrients, Tocopherols, and Isoflavones (ebook)*. M.A. Kassem (Eds). North Carolina, USA: Plant Genomics and Biotechnology Lab, Department of Biological and Forensic Sciences, Fayetteville State University, 2022:1-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82906-3>
16. Liu C., Safitri R., van Leeuwen S., Ozturk B. et al. Impacts of biodiversity-positive intercropping systems on food quality, safety and the consumer acceptance: A case study of intercropped wheat. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025;21:101881. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101881>
17. Liu J., Chen J., He Y., Deng J. et al. Chapter 6. Crop Quality Formation and Its Environmental Regulation in Maize-Soybean Strip Intercropping. In: *Theories and Application in Maize-Soybean Strip Intercropping System (ebook)*. W. Yang, F. Yang, Y. Wu (Eds). Chengdu, China: College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, 2025:177-199. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8723-4_6
18. Ma B., Liang Z., Hua W., Groot J.C. et al. Improved sustainability of grain production by intercropping and partial organic substitution in the North China Plain. *Field Crops Research*. 2025;326:109886. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109886>
19. Medic J., Atkinson C., Hurburgh Jr C.R. Current knowledge in soybean composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2014;91(3):363-384. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2407-9>
20. Pinaffi C.D., dos Santos C.H., Pacheco A.C., Moreira A.C.M. et al. Grass-legume intercropping pasture system improves physiological activity and

yield of post crop soybeans. *European Journal of Agronomy*. 2024;158:127222. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127222>

21. Sinegovskii M.O., Malashonok A.A. and Sinegovskaya V. Assessment of the export potential of Russian soybeans. *IOP Conference Series: Earth Environmental Sciences*. 2021;677(2):022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022025>

22. Zarenkova N.V., Shitikova A.V., Negassi B.T., Savoskina O.A. et al. Yield variability of soybean varieties in the Non-Chernozem zone. *BIO Web of Conferences*. 2023;66:05006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236605006>

Сведения об авторах

Негасси Берхане Теклесенбет, аспирант кафедры растениеводства и луговых экосистем, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: berhaneteklesenbet2@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-7135-0887>

Шитикова Александра Васильевна, д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plant@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>

Information about the authors

Berhane Teklesenbet Negassi, postgraduate student of the Department of Crop Science and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: berhaneteklesenbet2@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-7135-0887>

Aleksandra V. Shitikova, DSc (Ag), Professor at the Department of Crop Science and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: plant@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>