



Научная статья
УДК 631.828:633.34
doi: 10.55186/25876740_2024_67_2_205

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ С СЕРОЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СОИ НА ЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ЦЧР

Л.В. Левшаков¹, В.И. Лазарев²

¹Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, Курск, Россия

²Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

Аннотация. Представлена обеспеченность зональных почв ЦЧР подвижными формами серы. Проведены экспериментальные исследования по эффективности применения удобрений с серой при возделывании сои на почвах с дефицитом доступных для растений форм серы. Удобрения с серой улучшают минеральное питание при возделывании сои, увеличивают высоту растений по вариантам опыта от 2,2 и до 6,6 см. Увеличиваются основные количественные показатели структуры урожая сои. Удобрения с серой в наибольшей степени увеличивают структуру урожая сои на почвах с наименьшим содержанием этого элемента (1,19 мг/кг). Внесение сульфата аммония в дозе 2,3 ц/га увеличивает урожайность к контролю на 0,48 т/га на серой лесной и на 0,39 т/га на черноземной почве. Комплексное удобрение NPKS (15-15-15-10) в дозе N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀ на темно-серой лесной почве повышает урожайность на 0,64 т/га, в том числе за счет серы на 0,17 т/га, на черноземе типичном на 0,56 т/га, в том числе за счет серы на 0,13 т/га. Удобрения с серой повышают содержание белка до 1,69% и растительного жира до 0,77%.

Ключевые слова: зональные почвы ЦЧР, подвижная сера, продуктивность сои, удобрения с серой, белок, растительный жир

Original article

THE EFFECTIVENESS OF FERTILIZERS WITH SULFUR IN THE CULTIVATION OF SOYBEANS ON ZONAL SOILS OF THE CCR

L.V. Levshakov¹, V.I. Lazarev²

¹Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

²Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

Abstract. The provision of zonal soils of the CCR with mobile forms of sulfur is presented. Experimental studies have been conducted on the effectiveness of the use of sulfur-containing fertilizers in the system of mineral nutrition of soybeans cultivated on soils with a low content of mobile sulfur. Fertilizers with sulfur improve mineral nutrition when cultivating soybeans, increase the height of plants according to experimental options from 2.2 and up to 6.6 cm. Quantitative indicators of the structure of the soybean crop are increasing, such as the number of beans per plant, the water content of the bean, the weight of grains per bean and the weight of 1000 grains. Fertilizers with sulfur increase the structure of the soybean crop to the greatest extent on dark gray forest soil with a minimum content of mobile sulfur (1.19 mg/kg). An increase in the yield of soybean grain from the introduction of sulfur-containing fertilizers has been established. Ammonium sulfate at a dose of 2.3 c/ha increases the yield of soybeans in comparison with the control on dark gray forest soil by 0.48 t/ha, including at the expense of sulfur by 0.24 t/ha, on typical chernozem by 0.39 t/ha, including at the expense of sulfur by 0.19 t/ha. Complex fertilizer NPKS (15-15-15-10) at a dose of N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀ on dark gray forest soil increases yield by 0.64 t/ha, including due to sulfur 0.17 t/ha, on typical chernozem by 0.56 t/ha, including due to sulfur by 0.13 t/ha. Fertilizers with sulfur increase the protein content to 1.69% and vegetable fat to 0.77%.

Keywords: zonal soils of the CCR, mobile sulfur, soybean productivity, fertilizers with sulfur, protein, vegetable fat

Введение. Интенсификация агропромышленного производства в растениеводстве неизбежно приводит к деградации почвенного плодородия, увеличению выноса элементов питания из почв, в связи с чем предъявляются все более высокие требования к уровню почвенного плодородия и сбалансированному внесению минеральных удобрений [1, 2]. Необходимо в полной мере компенсировать вынос из почвы с отчуждаемым урожаем всех элементов питания. Расчетные нормы внесения минеральных удобрений для обеспечения планируемой урожайности регламентированы не только к макро-, но и к мезо- и микроэлементам. Чем более высокая урожайность, тем более высокие требования к качественному минеральному питанию [3]. В настоящее время большинство специалистов и фермеров, по важности и значимости при обеспечении питания растений, после макроэлементов чаще всего останавливаются на сере [4, 5]. Это обусловлено большой ролью серы в биологических и физиологических процессах, обеспечивающих высокую продуктивность при возделывании сельскохозяйственных культур. Она входит в состав незаменимых аминокислот (цистин, цистеин и др.), отдельных небелковых

соединений и является обязательным элементом ферментов и витаминов. Вынос серы с урожаем по отдельным культурам может превышать вынос фосфора [3].

Как в России, так и за рубежом в последние годы все более наглядна отрицательная динамика содержания в почве доступной для растений подвижной серы [6, 7]. Это обусловлено изменениями, произошедшими в балансе серы в агропедоценозах. Уменьшилось поступление серы с классическими серосодержащими удобрениями, (простой суперфосфат и др.), с выпадающими атмосферными осадками за счет снижения выбросов в атмосферу двуокиси углерода. В то же время значительно увеличился ее вынос с отчуждаемым урожаем сельскохозяйственных культур [8, 9]. Это привело к тому, что в настоящее время в России около 90% почв сельскохозяйственных угодий в низкой степени содержат доступную для растений серу [10]. Центральнo-Черноземный регион (ЦЧР) является ведущей аграрной областью как по площади сельскохозяйственных угодий, так и по уровню получаемой урожайности возделываемых культур. При этом, как показывают данные последних циклов агрохимического обследования, от 75 и до 90%

почв региона в низкой степени обеспечены доступными для растений формами серы [11]. Это является одним из важнейших факторов, лимитирующих дальнейшее повышение урожайности возделываемых культур. В современных технологиях производства продукции растениеводства необходимо применять удобрения с серой [3, 4].

В Центральном Черноземье одной из доминирующих культур является соя. Для нее характерно достаточно высокое содержание серы в семенах (0,30%) и, соответственно, высокий ее вынос с урожаем [6]. Исследованиями многих ученых [3, 4, 7] доказано, что сера входит в состав аминокислот и белковых соединений и напрямую определяет ее качественные характеристики. Вследствие этого при возделывании сои на почвах с дефицитом серы в системе минерального питания обязательным становится применение серосодержащих минеральных удобрений [6]. Ассортимент поставляемых отечественной химической промышленностью удобрений с серой в течение последнего времени значительно расширился. Помимо классических комплексных удобрений с различным содержанием макроэлементов и серы, все более активно

осваивается производство водорастворимых серосодержащих удобрений [12].

В связи с этим при возделывании сои на почвах с дефицитом серы целесообразным и актуальным вопросом является разработка перспективных приемов, способов и норм внесения серосодержащих удобрений. Необходимо продолжить полевые исследования с учетом почвенно-климатических условий Центрального Черноземья.

Цель исследований — определить необходимость и целесообразность применения удобрений с серой в интенсивных технологиях возделывания сои на почвах Центрального Черноземья с низкой обеспеченностью доступными для растений формами серы.

Объекты и методы исследований. Полевые опыты возделывания сои на зональных почвах ЦЧР с дефицитом доступной для растений форм серы проводились в условиях опытного поля НОПЦ «Учхоз «Знаменское» Курского ГАУ им. И.И. Иванова и в стационаре кафедры технологий высокопродуктивного рационального землепользования на базе ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в 2020–2022 гг. Исследования включали следующие варианты: 1. Без удобрений, контроль; 2. NH_4NO_3 , (1,3 ц/га- N_{45}), до посева сои; 3. $(NH_4)_2SO_4$, (2,3 ц/га- N_{46} , S_{55}), до посева сои; 4. N:P:K:S, 15:15:15:10, 3 ц/га (N_{45} , P_{45} , K_{45} , S_{50}), до посева сои; 5. Нитрофоска, 16:16:16, 2,9 ц/га (N_{46} , P_{46} , K_{46}), до посева сои; 6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно по листу; 7. Ikar Elais, N:S, 13-32, 1 л/га + $CO(NH_2)_2$, 0,25 ц/га (N_{11}), двукратно по листу. В опытах исследовали удобрения с серой производства АО ФосАгро и жидкое водорастворимое серно-азотное (S-N) удобрение Ikar Elais.

Полевые опыты по эффективности удобрений с серой при возделывании сои проводили на серой лесной и черноземной почвах, в таблице 1 представлены их агрохимические характеристики.

Чернозем типичный имеет более высокие показатели плодородия: содержание гумуса — 5,8%, близкой к нейтральной величине $pH_{ккл}$ — 5,7, низкое содержание азота, среднее фосфора и высокое калия. Обеспеченность подвижной серой близка к средней. В темно-серой лесной

почве очень низкое содержание гумуса — 2,4%, кислая реакция почвенной среды $pH_{ккл}$ — 4,4 и очень низкое содержание азота доступной серы. Отобранные образцы анализировались в лабораториях станции агрохимической службы «Курская» и Курского ГАУ по методике: органическое вещество — по ГОСТ 26213-91; кислотность — по ГОСТ 26483-85; фосфор и калий — по ГОСТ 26204-91; азот — по Корнфилду, 1985 г.; подвижная сера — по ГОСТ 26490-85.

Качество зерна сои определяли в лаборатории кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции на анализаторе зерна «Infrac»™1241».

Полевые опыты с удобрениями проводили в 3-кратной повторности с общей площадью делянок на серой лесной почве 300 м², учетной — 200 м². На черноземе типичном общий размер делянки составил 200 м², учетной — 100 м². Соя возделывалась по технологии, принятой для условий ЦЧР. Высевался сорт сои Казачка. Уборка сои по вариантам опытов проводилась комбайнами Террион и Сампо. Отдельно взвешивали зерно с каждой делянки и переводили на 100%-ю чистоту и 12%-ю влажность зерна. Перед уборкой определяли структуру урожая сои по важнейшим показателям: количество

бобов на одном растении, количество зерен в одном бобе, масса зерна с каждого растения, масса 1000 зерен. Проведена математическая обработка с использованием дисперсионного анализа.

Продуктивность возделывания сои в значительной степени зависит от климатических условий вегетационного периода. В 2020 и 2022 гг. сложились наиболее благоприятные условия как по количеству и периодичности выпадения осадков, так и по температурному режиму. В 2021 г. наблюдался дефицит осадков, весна сменилась летней жаркой и сухой погодой, что в значительной степени отразилось на урожайности. Особенностью 2022 г. было обильное количество осадков в сентябре, что затруднило проведение уборочных работ и снизило качество зерна.

Результаты и их обсуждение. В настоящее время по важности и значимости в системе минерального питания сои сера входит в число важнейших элементов питания [4, 13]. Однако с каждым годом содержание в почве доступных форм серы практически по всем регионам страны значительно уменьшается. Обеспеченность подвижной серой зональных почв Курской области находится на очень низком уровне и это

Таблица 1. Показатели плодородия полевых участков, темно-серая лесная почва и чернозем типичный (2020–2022 гг.)

Table 1. Fertility indicators of field plots, dark gray forest soil and typical chernozem (2020–2022)

Почва	Гумус, %	$pH_{ккл}$	N щелочно-гидролизуемый, мг/кг	P_2O_5 подвижный, мг/кг	K_2O подвижный, мг/кг	S подвижная, мг/кг
Темно-серая лесная	2,4	4,4	118,0	131,0	129,0	1,19
Чернозем типичный	5,8	5,7	95,0	88,0	165,0	5,4

Таблица 2. Обеспеченность черноземов и серых лесных почв Курской области доступными формами серы, мг/кг [11]

Table 2. Mobile sulfur content in zonal soils of the Kursk region, mg/kg [11]

Почва	Обеспеченность доступной серой, %			Среднее по области, мг/кг
	низкая, < 6,0	средняя, 6,0–12,0	высокая, > 12,0	
Серые лесные	95,7	3,9	0,4	2,52
Черноземы	91,3	8,2	0,5	3,19

Таблица 3. Содержание элементов питания в пахотном слое почв по вариантам внесения удобрений, фаза цветения сои (2020–2022 гг.)

Table 3. The content of nutrients in the arable soil layer by fertilizer application options, soybean flowering phase (2020–2022)

Почва	Варианты опыта	Содержание, мг/кг			
		N щелочно-гидролизуемый	P_2O_5 подвижный	K_2O подвижный	S, подвижная
Темно-серая лесная	1. Контроль, без удобрений	118,0	131,0	129,0	1,25
	2. NH_4NO_3 , N_{45} , до посева	125,1	132,5	130,5	1,32
	3. $(NH_4)_2SO_4$, N_{46} , S_{55} , до посева	126,2	133,8	131,2	2,85
	4. N_{45} , P_{45} , K_{45} , S_{50} , до посева	129,8	139,1	136,7	2,15
	5. N_{46} , P_{46} , K_{46} , до посева	131,9	141,7	137,4	1,42
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	118,8	131,4	129,5	1,32
	7. Ikar Elais, 1 л/га + $CO(NH_2)_2$, N_{11} , двукратно по листу	119,8	132,0	130,2	1,30
	HCP ₀₅	3,01	5,19	4,72	0,09
Чернозем типичный	1. Контроль, без удобрений	95,0	88,0	165,0	5,40
	2. NH_4NO_3 , N_{45} , до посева	101,6	89,2	165,5	5,53
	3. $(NH_4)_2SO_4$, N_{46} , S_{55} , до посева	100,3	88,7	165,7	6,28
	4. N_{45} , P_{45} , K_{45} , S_{50} , до посева	100,9	96,8	168,9	5,86
	5. N_{46} , P_{46} , K_{46} , до посева	99,8	97,1	169,2	5,45
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	95,1	88,2	165,1	5,42
	7. Ikar Elais, 1 л/га + $CO(NH_2)_2$, N_{11} , двукратно по листу	95,0	88,0	165,3	5,41
	HCP ₀₅	2,85	5,75	3,81	0,13



является одним из наиболее значимых факторов, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур [11]. В таблице 2 приведены данные об обеспеченности зональных почв области доступной серой.

Серые лесные почвы в наименьшей степени обеспечены подвижной серой. В 2022 г. около 95% площади этих почв отнесены к группе с низкой обеспеченностью. Черноземные почвы характеризуются несколько более высоким содержанием подвижной серы. При возделывании сои на таких почвах растения не обеспечены этим элементом и внесение удобрений с серой обязательно в системе минерального питания. Эффективность применения удобрений с серой обусловлена не только обеспеченностью почв доступной серой, но и содержанием доступного азота и гумуса, величиной рН. Внесение удобрений, в том числе серосодержащих, весной под культивацию оказывает влияние на содержание элементов питания в пахотном слое (табл. 3).

Внесение аммонийной селитры под культивацию в дозе N₄₅ достоверно увеличивает в пахотном слое содержание азота на темно-серой лесной почве на 7,1 мг/кг и на черноземе типичном на 6,6 мг/кг к контролю. При использовании сульфата аммония закономерно увеличивается

как содержание азота, так и подвижной серы. Содержание серы на серой лесной почве в сравнении с контролем увеличивается на 1,60 мг/кг, но все равно остается на низком уровне обеспеченности. На черноземе типичном обеспеченность серой фиксируется на среднем уровне — 6,28 мг/кг. Внесение комплексного удобрения с серой в дозе N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀ увеличивает содержание азота в серой лесной почве на 11,8 мг/кг, на черноземе на 5,9 мг/кг, фосфора, соответственно — на 8,1 и 8,8 мг/кг и калия — на 3,7 и 3,9 мг/кг. Содержание серы на серой лесной почве увеличивается на 0,9 мг/кг, а на черноземе на 0,46 мг/кг. Нитроаммофоска в дозе N₄₆P₄₆K₄₆ закономерно увеличивает содержание в почве этих элементов.

Внесение удобрений по вариантам проведения исследований улучшает минеральное питание сои в течение всего периода вегетации, что отражается на интенсивности ростовых процессов и полученной урожайности. Влияние минеральных удобрений на высоту растений сои по вариантам проведения исследований представлено на рисунке. Внесение удобрений активизирует рост и развитие растений, что отразилось на их высоте. При этом эффективность удобрений с серой оказалась выше в сравнении

с удобрениями без серы. На темно-серой лесной почве влияние удобрений на высоту растений сои оказалось более выраженным.

Внесение азотных удобрений закономерно увеличивает высоту растений. Внесение аммонийной селитры увеличивает высоту растений в сравнении с контролем от 3,1 до 3,8 см, сульфата аммония — от 3,8 до 6,4 см. Комплексное удобрение с серой в дозе N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀ повышает высоту растений от 4,5 до 6,6 см, а внесение удобрения без серы в дозе N₄₆P₄₆K₄₆ — от 3,9 до 5,6 см. Некорневая подкормка по листу Ikar Elais в дозе 1 л/га не оказывает достоверного влияния на высоту растений. Внесение по листу Ikar Elais совместно с карбамидом в сравнении с контролем увеличивает рост растений сои на 2,2 см на обоих типах почв.

Перед уборкой определялась структура урожая и анализировались наиболее важные показатели, определяющие урожайность. Полученные данные полевых опытов показывают, что внесение удобрений, в том числе серосодержащих, оказывает положительное влияние на улучшение показателей структуры урожая сои по вариантам проведения исследований (табл. 4).

При внесении аммонийной селитры в дозе N₄₅ весной до посева количество бобов на растении увеличивается на 0,9 шт. на темно-серой лесной почве и на 0,6 шт. на черноземе типичном. Закономерно увеличиваются также все исследуемые показатели.

Сульфат аммония в дозе N₄₆S₅₅ весной до посева показал более высокую эффективность. Количество бобов на серой лесной почве увеличилось на 1,4 шт., на черноземе — на 1,0 шт., число зерен на одном растении увеличилось от 4,5 до 6,3 шт., вес зерна увеличился от 0,96 до 1,13 г. Также увеличилась и масса 1000 зерен. Наиболее продуктивно внесение комплексного удобрения с серой в дозе N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀. При этом количество бобов с каждого растения на серой лесной почве увеличивает на 1,7 шт., а на черноземе на 1,1 шт., количество зерен — на 7,1 и 5,6 шт., вес зерна увеличивается на 1,41 и 1,23 г, а масса 1000 зерен повысилась на 9,1 и 7,2 г соответственно. Внесение нитрофоски в дозе N₄₆P₄₆K₄₆ показало меньшую эффективность в сравнении с предыдущим вариантом.

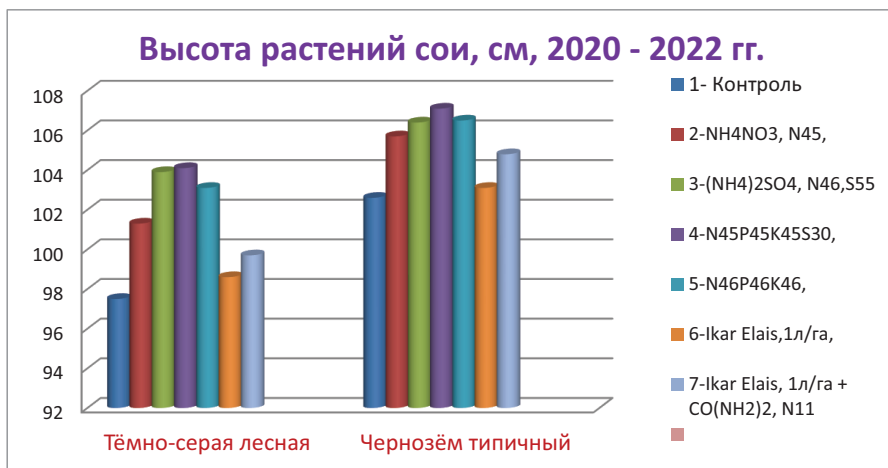


Рисунок. Влияние минеральных удобрений на высоту растений сои (2020-2022 гг.)
Figure. The effect of mineral fertilizers on the height of soybean plants (2020-2022)

Таблица 4. Структура урожая сои по вариантам применения минеральных удобрений на зональных почвах ЦЧР, сорт Казачка (2020-2022 гг.)
Table 4. Structure of the soybean crop by options for the use of mineral fertilizers on zonal soils of the CCR, Kazachka variety (2020-2022)

Почва	Варианты опыта	Показатели с одного растения			
		число бобов, шт.	число зерен, шт.	вес зерна, г	масса 1000 зерен, г
Тёмно-серая лесная	1. Контроль, без удобрений	19,9	36,7	4,78	126,7
	2. NH ₄ NO ₃ , N ₄₅ , до посева	20,8	40,1	5,33	131,8
	3. (NH ₄) ₂ SO ₄ , N ₄₆ , S ₅₅ , до посева	21,3	43,0	5,91	135,8
	4. N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ S ₃₀ , до посева	21,6	43,8	6,19	137,0
	5. N ₄₆ P ₄₆ K ₄₆ , до посева	21,0	40,6	5,51	134,6
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	20,2	37,1	4,84	127,8
	7. Ikar Elais, 1 л/га + CO(NH ₂) ₂ , N ₁₁ , двукратно по листу	20,6	38,6	5,12	130,1
	HCP ₀₅	0,52	1,96	0,48	2,82
Чернозем типичный	1. Контроль, без удобрений	20,9	37,7	5,02	129,7
	2. NH ₄ NO ₃ , N ₄₅ , до посева	21,5	40,4	5,44	133,2
	3. (NH ₄) ₂ SO ₄ , N ₄₆ , S ₅₅ , до посева	21,9	42,2	5,98	136,5
	4. N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ S ₃₀ , до посева	22,0	43,3	6,25	136,9
	5. N ₄₆ P ₄₆ K ₄₆ , до посева	21,6	42,4	5,71	135,8
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	21,0	37,9	5,09	130,6
	7. Ikar Elais, 1л/га + CO(NH ₂) ₂ , N ₁₁ , двукратно по листу	21,4	39,5	5,39	132,7
	HCP ₀₅	0,47	1,72	0,46	2,61



Количество бобов с одного растения на серой лесной почве увеличилось на 0,6 шт., а на черноземе на 0,7 шт., количество зерен — на 3,9 и 4,7 шт., вес зерна — на 0,73 и 0,69 г и масса 1000 зерен — на 7,9 и 6,1 г соответственно. Некорневая подкормка Ikar Elais, в дозе 1 л/га двукратно по листовой поверхности, не оказывает достоверного влияния на увеличение показателей структуры урожая сои. Более эффективна некорневая подкормка по листу Ikar Elais совместно с карбамидом. Показатели структуры урожая сои в этом варианте сопоставимы с внесением аммонийной селитры в дозе N₄₅.

Показатели структуры урожая сои при внесении минеральных удобрений по вариантам проведения исследований определяют потенциальную биологическую урожайность. На темно-серой лесной почве удобрения с серой показали большую эффективность на прибавку урожая сои в сравнении с их внесением на черноземной почве. Внесение аммонийной селитры весной до посева в дозе 1,3 ц/га в среднем

за 3 года обеспечило прибавку зерна в сравнении с контролем на серой лесной почве сои 0,24 т/га, на черноземной почве — 0,19 т/га. Применение сульфата аммония в дозе 2,3 ц/га увеличило прибавку на 0,48 и 0,39 т/га соответственно. При этом дополнительно за счет серы получено зерна сои 0,24 т/га на серой лесной и 0,19 т/га больше в сравнении с внесением аммонийной селитры (табл. 5).

Наибольшую урожайность обеспечивает внесение комплексного удобрения NPKS (15-15-15-10) в дозе N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀ весной до посева. Урожайность сои на серой лесной почве повысилась на 0,64 т/га, на черноземе на 0,56 т/га. Нитрофоска в дозе N₄₆P₄₆K₄₆ показала несколько меньшую эффективность в сравнении с внесением удобрения с серой.

Внесение Ikar Elais двукратно в качестве листовой подкормки в дозе 1 л/га не оказывает достоверного влияния на увеличение урожайности сои. Более эффективно двукратное внесение Ikar Elais совместно с карбамидом в дозе

0,25 ц/га. Это обеспечило прибавку зерна сои 0,2 т/га на темно-серой лесной почве и 0,17 т/га на черноземе типичном.

При возделывании полевых культур, наряду с получением максимальной урожайности, не менее актуально получение высококачественной продукции. Применение минеральных удобрений, в первую очередь серосодержащих, повышает качественные показатели зерна сои (табл. 6).

Внесение минеральных удобрений в большей степени повышает качественные показатели зерна сои на темно-серой лесной почве. Азотные удобрения непосредственно влияют на содержание белка. Применение аммонийной селитры в дозе 1,3 ц/га на темно-серой лесной почве повышает содержание белка на 1,27%, на черноземе на 0,93% в сравнении с контролем. Сульфат аммония в дозе 2,3 ц/га увеличивает содержание белка на 1,69 и 1,06% соответственно. Более эффективно увеличивают как белок, так и растительный жир комплексные удобрения.

Таблица 5. Урожайность сои по вариантам применения минеральных удобрений на зональных почвах ЦЧР, сорт Казачка (2020-2022 гг.)
Table 5. Soybean yield by options for the use of mineral fertilizers on zonal soils of the CCR, Kazachka variety (2020-2022)

Почва	Варианты опыта	Показатели				
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя за 3 года	прибавка, т/га
Темно-серая лесная	1. Контроль, без удобрений	2,21	1,92	2,35	2,16	-
	2. NH ₄ NO ₃ , N ₄₅ , до посева	2,48	2,10	2,61	2,40	0,24
	3. (NH ₄) ₂ SO ₄ , N ₄₆ S ₃₅ , до посева	2,63	2,42	2,88	2,64	0,48(*0,24)
	4. N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ S ₃₀ , до посева	2,77	2,58	3,05	2,80	0,64(*0,17)
	5. N ₄₆ P ₄₆ K ₄₆ , до посева	2,69	2,40	2,81	2,63	0,47
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	2,28	1,99	2,42	2,23	0,07
	7. Ikar Elais, 1 л/га + CO(NH ₂) ₂ , N ₁₁ , двукратно по листу	2,44	2,09	2,55	2,36	0,20
HCP ₀₅					0,13	
Чернозем типичный	1. Контроль, без удобрений	2,34	2,10	2,43	2,29	-
	2. NH ₄ NO ₃ , N ₄₅ , до посева	2,59	2,27	2,58	2,48	0,19
	3. (NH ₄) ₂ SO ₄ , N ₄₆ S ₃₅ , до посева	2,70	2,50	2,81	2,67	0,39(*0,19)
	4. N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ S ₃₀ , до посева	2,84	2,60	3,11	2,85	0,56(*0,13)
	5. N ₄₆ P ₄₆ K ₄₆ , до посева	2,74	2,42	3,00	2,72	0,43
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	2,39	2,12	2,54	2,35	0,06
	7. Ikar Elais, 1 л/га + CO(NH ₂) ₂ , N ₁₁ , двукратно по листу	2,49	2,25	2,64	2,46	0,17
HCP ₀₅					0,14	

*За счет серы.

Таблица 6. Качество зерна сои по вариантам применения минеральных удобрений на зональных почвах ЦЧР, сорт Казачка (2020-2022 гг.)
Table 6. Quality of soybean grain according to the options for the use of mineral fertilizers on zonal soils of the CCR, Kazachka variety (2020-2022)

Почва	Варианты опыта	Показатели			
		белок, %	прибавка, %	растительный жир, %	прибавка, %
Темно-серая лесная	1. Контроль, без удобрений	38,85	-	21,15	-
	2. NH ₄ NO ₃ , N ₄₅ , до посева	40,12	1,27	21,78	0,63
	3. (NH ₄) ₂ SO ₄ , N ₄₆ S ₃₅ , до посева	40,54	1,69	21,92	0,77
	4. N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ S ₃₀ , до посева	40,47	1,62	22,33	1,18
	5. N ₄₆ P ₄₆ K ₄₆ , до посева	40,25	1,40	22,06	0,91
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	39,06	0,21	21,20	0,05
	7. Ikar Elais, 1 л/га + CO(NH ₂) ₂ , N ₁₁ , двукратно по листу	40,07	1,22	21,40	0,35
HCP ₀₅		0,41		0,29	
Чернозем типичный	1. Контроль, без удобрений	39,55	-	21,62	-
	2. NH ₄ NO ₃ , N ₄₅ , до посева	40,48	0,93	22,12	0,50
	3. (NH ₄) ₂ SO ₄ , N ₄₆ S ₃₅ , до посева	40,61	1,06	22,20	0,58
	4. N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ S ₃₀ , до посева	40,70	1,15	22,26	0,64
	5. N ₄₆ P ₄₆ K ₄₆ , до посева	40,56	1,01	22,18	0,56
	6. Ikar Elais, 1 л/га, двукратно, по листу	39,67	0,12	21,65	0,03
	7. Ikar Elais, 1 л/га + CO(NH ₂) ₂ , N ₁₁ , двукратно по листу	40,32	0,77	21,96	0,34
HCP ₀₅			0,2		



Внесение удобрения с серой марки N:P:K:S (15:15:15:10), в дозе 3 ц/га весной до посева повышает содержание белка в темно-серой лесной почве на 1,62% и в черноземе на 1,15%. Содержание растительного жира при этом увеличивается на 1,18 и 0,64% соответственно. Нитрофоска в дозе N₄₆P₄₆K₄₆ показала несколько меньшую эффективность. Внесение Ikar Elais по листовой поверхности двукратно в дозе 1 л/га не оказывает достоверного увеличения качества зерна сои. При этом листовая подкормка Ikar Elais в дозе 1 л/га совместно с карбамидом в дозе 0,25 ц/га оказалась более эффективна. Содержание белка в сравнении с контролем на темно-серой лесной почве увеличивается на 1,22% и на черноземе на 0,77%. Содержание растительного жира повышается на 0,35 и 0,34% соответственно.

Заключение. Представленные экспериментальные данные полевых опытов подтверждают высокую результативность применения удобрений с серой на почвах с дефицитом этого элемента. Внесение удобрений весной под культивацию повышает содержание элементов питания в пахотном слое в течение всего вегетационного периода. Это отражается на росте и развитии растений, увеличении показателей структуры урожая сои. При этом эффективность удобрений с серой более высокая на темно-серой лесной почве с минимальным содержанием подвижной серы.

Установлено, что удобрения с серой оказывают существенное влияние на повышение продуктивности возделывания сои. Сульфат аммония в дозе 2,3 ц/га обеспечил повышение урожайности на 0,48 т/га на темно-серой лесной почве и 0,39 т/га на черноземе типичном. Внесение NPKS (15-15-15-10) в дозе N₄₅P₄₅K₄₅S₃₀ весной до посева на темно-серой лесной почве повышает урожайность на 0,64 т/га и на черноземе типичном на 0,56 т/га.

Некорневая подкормка Ikar Elais в дозе 1 л/га по листовой поверхности наиболее эффективна совместно с карбамидом в дозе 0,25 ц/га. Урожайность в этом варианте увеличивается от 0,17 т/га на черноземе типичном и до 0,2 т/га на темно-серой лесной почве.

Удобрения с серой повышают качество зерна сои. Применение сульфата аммония обеспечило повышение содержания белка от 1,06% на черноземе типичном до 1,69% на темно-серой лесной почве. Содержание растительного жира увеличивается от 0,58 до 0,77% соответственно. Комплексное удобрение с серой марки N:P:K:S (15:15:15:10) в дозе 3 ц/га на темно-серой лесной почве повышает белок в сравнении с контролем на 1,62% и растительный жир на 1,18%, на черноземе типичном на 1,15 и 0,64% соответственно.

При возделывании сои на зональных почвах ЦЧР с низким содержанием подвижной серы в системе минерального питания рекомендует применение серосодержащих удобрений.

Список источников

1. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. М.: Изд-во ЦИНАО, 2003. 228 с.
2. Семькин В.А., Пигорев И.Я., Никитина О.В. Баланс элементов питания и гумуса в землях сельскохозяйственного назначения Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 6-11.
3. Аристархов А.Н. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 5. С. 39-47.
4. Zenda, T., Liu, S., Dong, A., Duan, H. (2021). Revisiting Sulphur — The Once Neglected Nutrient: It's Roles in Plant Growth, Metabolism, Stress Tolerance and Crop Production. *Agriculture*, no. 11, p. 626. doi: 10.3390/agriculture11070626
5. Schnug, E., Haneklaus, S. (2005). *Proc. First Sino-German workshop on aspects of sulfur nutrition of plants*. London, pp. 175-178.
6. Пироговская Г.В. и др. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Национальная Академия Наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. Минск: Институт системных исследований в АП; НАН Беларуси, 2020. 64 с.
7. Grant, C.A. Clayton, G.W., Johnston, A.M. (2003). Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada. *Can. J. Plant Sci.*, vol. 83, no. 4, pp. 745-758.
8. Чевычелов А.В., Левшаков Л.В., Лазарев В.И. Влияние удобрений, содержащих серу, на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 4. С. 51-54.
9. Аристархов А.Н., Сычев В.Г. Агрохимия серы. М.: ВНИИА, 2007. 272 с.
10. Лукин С.В., Куницын Д.А., Пироженко В.В. и др. Мониторинг содержания серы и микроэлементов в почвах Центрально-Черноземного района России // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 1. С. 4-7. doi: 10.53859/02352451_2022_36_1_4
11. Левшаков Л.В., Пироженко В.В. Сера в почвах Курской области // Агрохимический вестник. 2022. № 3. С. 49-53. doi: 10.24412/1029-2551-2022-3-009
12. Левшаков Л.В., Чевычелов А.В., Лазарев В.И. и др. Влияние комплексных серосодержащих удобрений на питательный режим и водопотребление сельскохозяйственных культур на зональных почвах Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 7. С. 58-65.

References

1. Sychev, V.G. (2003). *Osnovnye resursy urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i ikh vzaimosvyaz'* [Main crop

yield resources and their interrelation]. Moscow, Publishing house of TSINAO, 228 p.

2. Semykin, V.A., Pigorev, I.Ya., Nikitina, O.V. (2019). Balans ehlementov pitaniya i gumusa v zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Kurskoi oblasti [Balance of nutrition elements and humus in agricultural lands of the Kursk region]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Vestnik of Kursk State Agricultural Academy], no. 3, pp. 6-11.

3. Aristarkhov, A.N. (2016). Sера v agroekosistemakh Rossii: monitoring soderzhaniya v pochvakh i ehfektivnost' ee primeneniya [Sulfur in agroecosystems of Russia: monitoring of the content in soils and the effectiveness of its application]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 5, pp. 39-47.

4. Zenda, T., Liu, S., Dong, A., Duan, H. (2021). Revisiting Sulphur — The Once Neglected Nutrient: It's Roles in Plant Growth, Metabolism, Stress Tolerance and Crop Production. *Agriculture*, no. 11, p. 626. doi: 10.3390/agriculture11070626

5. Schnug, E., Haneklaus, S. (2005). *Proc. First Sino-German workshop on aspects of sulfur nutrition of plants*. London, pp. 175-178.

6. Pirogovskaya, G.V. i dr. (2020). *Rekomendatsii po primeneniyu serosoderzhashchikh udobrenii pod sel'skokhozyaistvennye kul'tury* [Recommendations for the use of sulfur-containing fertilizers for agricultural crops]. Minsk, Institute of System Research in the AP; National Academy of Sciences of Belarus, 64 p.

7. Grant, C.A. Clayton, G.W., Johnston, A.M. (2003). Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada. *Can. J. Plant Sci.*, vol. 83, no. 4, pp. 745-758.

8. Chevychelov, A.V., Levshakov, L.V., Lazarev, V.I. (2019). Vliyaniye udobrenii, soderzhashchikh seru, na urozhainost' i kachestvo zerna yarovoi pshenitsy v usloviyakh Kurskoi oblasti [The effect of fertilizers containing sulfur on the yield and quality of spring wheat grain in the conditions of the Kursk region]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 4, pp. 51-54.

9. Aristarkhov, A.N., Sychev, V.G. (2007). *Agrokhimiya sery* [Agrochemistry of sulfur]. Moscow, VNIIA, 272 p.

10. Lukin, S.V., Kunitsin, D.A., Pirozhenko, V.V. i dr. (2022). Monitoring soderzhaniya sery i mikroehlementov v pochvakh Tsentral'no-Chernozemnogo raiona Rossii [Monitoring of sulfur and trace elements content in soils of the Central Chernozem region of Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 36, no. 1, pp. 4-7. doi: 10.53859/02352451_2022_36_1_4

11. Levshakov, L.V., Pirozhenko, V.V. (2022). Sера v pochvakh Kurskoi oblasti [Sulfur in the soils of the Kursk region]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical herald], no. 3, pp. 49-53. doi: 10.24412/1029-2551-2022-3-009

12. Levshakov, L.V., Chevychelov, A.V., Lazarev, V.I. i dr. (2019). Vliyaniye kompleksnykh serosoderzhashchikh udobrenii na pitatel'nyi rezhim i vodopotrebleniye sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na zonal'nykh pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [The effect of complex sulfur-containing fertilizers on the nutrient regime and water consumption of agricultural crops on zonal soils of the Central Chernozem region]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Vestnik of Kursk State Agricultural Academy], no. 7, pp. 58-65.

Информация об авторах:

Левшаков Леонид Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, декан агротехнологического факультета, Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4367-0878>, leo-levshakov@yandex.ru

Лазарев Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией технологий возделывания полевых культур и агроэкологической оценки земель, Курский федеральный аграрный научный центр, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2931-8560>, vl190353@yandex.ru

Information about the authors:

Leonid V. Levshakov, candidate of agricultural sciences, associate professor, dean of the faculty of agricultural technology, Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4367-0878>, leo-levshakov@yandex.ru

Vladimir I. Lazarev, doctor of agricultural sciences, professor, head of the laboratory of the technologies of field crops cultivation and agroecological assessment of lands, Federal Agricultural Kursk Research Center, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2931-8560>, vl190353@yandex.ru

