

## АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL  
SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-982

УДК 635.655:631.82:631.8472



Научная статья

МОЛИБДЕН И МЕДЬ  
В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ СОИ

*Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова,  
В.А. Волкова, Е.В. Тукмачева*

**Обоснование.** В современной земледелии усовершенствование зональной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе и сои с учётом новых знаний в области агрохимии имеет актуальное значение.

**Цель исследований.** Изучить влияние предпосевной обработки семян молибденом и медью на урожайность и качество семян сои.

**Материалы и методы.** Исследования проводили в 2022-2023 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии Омского аграрного научного центра в длительном стационарном опыте на основе зернопарового севооборота. Опыт двухфакторный: фактор А – варианты внесения удобрений: 1) без удобрений; 2) предпосевная обработка семян (ПОС) молибдатом аммония (Mo); 3) ПОС Mo + Si; 4) ПОС Mo + инокуляция семян Ризоторфином; 5) ПОС Mo + Si + инокуляция. Фактор В – основное внесение минеральных удобрений: 1) Без удобрений (фон 0); 2) внесение удобрений (фон  $N_{30}P_{30}$ ). Почва опытного участка лугово-чернозёмная среднегумусовая среднемощная тяжелосуглинистая, содержание подвижного фосфора среднее, обменного калия – высокое (по Чирикову), обеспеченность доступными формами молибдена – средняя, медью – низкая. Эмпирически определяли фотосинтетическую продуктивность посевов и симбиотическую способность растений сои, а также содержание белка и жира в семенах, продуктивность культуры в зависимости от изучаемых факторов.

**Результаты.** Установлено, что максимальная урожайность сои получена при посеве её семенами, обработанными Ризотрофином (штамм 835) и молибденом на фоне внесения  $N_{30}P_{30}$  – 2,75 т/га. Предпосевная обработка семян молибденом оказывает существенное влияние на фотосинтетическую продуктивность посевов (ФПП), облиственность растений увеличивалась на 30%. Интенсификация роста листовой поверхности определила продуктивность культуры, зависимость урожайности от площади и ФПП описывалось уравнением полиномиальной зависимости с тесной корреляцией признаков ( $r=0,74$ ). Для условий южной лесостепи Западной Сибири выявлено, что максимальная предел площади листьев – 45 м<sup>2</sup> тыс/га, дальнейшее увеличение листовой поверхности приводило к снижению продуктивности культуры. Применение Ризоторфина, даже при наличии в почве спонтанной симбиотической микрофлоры, достаточно эффективно. Масса и количество клубеньков на корнях сои возросло на 24; 41% соответственно.

**Заключение.** Исследования показали, что при возделывании сои на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Омского Прииртышья наиболее эффективно посев ее обработанными семенами молибденом и Ризотрофином в сочетании с основным внесением макроудобрений.

**Ключевые слова:** соя; минеральные удобрения; бактериальные удобрения; молибден; медь; урожайность; качество; фотосинтетическая продуктивность посевов

Для цитирования. Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Тукмачева Е.В. Молибден и медь в системе удобрения сои // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 221-242. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-982

Original article

## MOLYBDENUM AND COPPER IN THE SOYBEAN FERTILIZER SYSTEM

N.A. Voronkova, N.F. Balabanova,  
V.A. Volkova, E.V. Tukmacheva

**Background.** In modern agriculture, the improvement of zonal technology for cultivating crops, including soybeans, taking into account new knowledge in the field of agrochemistry is of urgent importance.

**Purpose.** To study the effect of presowing treatment of seeds with molybdenum and copper on the yield and quality of soybean seeds.

**Materials and methods.** The research was carried out in 2022-2023 on the experimental field of the Laboratory of agrochemistry of the Omsk Agricultural Research Center in a long-term stationary experiment based on grain-steam crop rotation. Two-factor experience: factor A - fertilizer application options: 1) without fertilizers; 2) pre-sowing seed treatment (POS) with ammonium molybdate (Mo); 3) POS Mo + Cu; 4) POS Mo + inoculation of seeds with Rhizotorphin; 5) POS Mo + Cu + inoculation. Factor B is the main application of mineral fertilizers: 1) Without fertilizers (background 0); 2) fertilization (background  $N_{30}P_{30}$ ). The soil of the experimental site is meadow-chernozem medium-humus medium-thick heavy loamy, the content of mobile phosphorus is average, exchangeable potassium is high (according to Chirikov), the availability of available forms of molybdenum is average, copper is low. The photosynthetic productivity of crops and the symbiotic ability of soybean plants, as well as the protein and fat content in seeds, and crop productivity were empirically determined depending on the factors studied.

**Results.** It was found that the maximum yield of soybeans was obtained by sowing it with seeds treated with risotrophin (strain 835) and molybdenum against the background of  $N_{30}P_{30}$  application – 2.75 t/ha. Pre-sowing treatment of seeds with molybdenum has a significant effect on the photosynthetic productivity of crops (FPP), the foliage of plants increased by 30%. Intensification of leaf surface growth was determined by crop productivity, the dependence of yield on area and FPP was described by a polynomial dependence equation with a close correlation of features ( $r=0.74$ ). For the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia, it was revealed that the maximum limit of the leaf area is 45 m<sup>2</sup> thousand/ha, further increase in the leaf surface led to a decrease in crop productivity. The use of Rhizotorphin, even in the presence of spontaneous symbiotic microflora in the soil, is quite effective. The weight and number of nodules on soybean roots increased by 24; 41%, respectively.

**Conclusion.** Studies have shown that when cultivating soybeans in the meadow-chernozem soil of the forest-steppe zone of the Omsk Irtysh region, sowing it with treated seeds with molybdenum and Rhizotorphin in combination with the main application of macro fertilizers is most effective.

**Keywords:** soybeans; mineral fertilizers; bacterial fertilizers; molybdenum; copper; yield; quality; photosynthetic productivity of crops

**For citation.** Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A., Tukmacheva E.V. Molybdenum and Copper in the Soybean Fertilizer System. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 221-242. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-982

### **Введение**

В регионах, где земледелие развивается с высокой интенсивностью, с урожаем из почвы извлекается значительная часть микроэлементов и, в первую очередь, наиболее усвояемые формы их соединений. Кроме того, при систематическом и интенсивном использовании в качестве удобрений довольно ограниченного числа соединений, несомненно, будет изменяться метаболизм отдельных элементов в почве. Химизм превращений этих элементов может сопровождаться усилением образования слаборастворимых и мобильных соединений, активно мигрирующих по профилю почвы под влиянием складывающегося водного режима. Масштабное (около 40 млн. га) почвенное обследование пахотных почв, проведенное в конце двадцатого века в Российской Федерации показало, что площади с недостаточным (низким и средним) содержанием подвижных форм молибдена и меди составляют – 81%; меди – 49%, соответственно [9].

Многолетние наблюдения во всех зонах Омской области и учет состояния пахотных земель по реперным участкам позволили собрать и выявить информационную ситуацию о содержании микроэлементов во всех почвах региона. По результатам обследования низкое содержание отмечено на 99% площади пашни по цинку, на 70% – по кобальту, на 47% – по меди и 12% – по молибдену. На юге области, где почвенный покров представлен преимущественно черноземами обыкновенными, обеспеченность молибденом гораздо ниже, чем в почвах южной и северной лесостепи [1; 10].

Огромные площади пашни и других сельскохозяйственных угодий многих регионов страны по уровню концентрации доступных для растений форм соединений важнейших микроэлементов оцениваются как «бедные» и «очень бедные». В таких условиях баланс практически всех микроэлементов в земледелии страны складывается с большим дефицитом, что не позволяет реализовывать климатический, агроландшафтный и биологический потенциал продуктивности сельскохозяйственных культур, и соя в этом перечне не исключение [14].

Введение культуры сои в сельскохозяйственное производство решает главную задачу – это увеличение производства растительного белка. Для увеличения продуктивности необходимы меры по обеспечению её элементами питания, в том числе и микроэлементами. На вопрос о применении микроэлементов под сою с учетом содержания их в почве и потребности в них этой культуры ответ был получен рядом авторов [6; 25; 28]. Установлено, что молибден усиливает азотфиксацию, азотный обмен, поглощение растениями элементов минерального питания (фосфора, калия, марган-

ца); повышает устойчивость растений к климатическим стрессам. Медь существенно влияет на симбиотическую фиксацию молекулярного азота бобовыми культурами, на образование клубеньков на корнях растения и биохимические процессы в них, на обменные процессы (азотный, фосфорный, углеводный) растений [4; 24].

В результате многолетнего поиска ученых и практиков вариантов по оптимизации минерального питания сои получено единодушное мнение, что только при сбалансированном минеральном питании растений наиболее полно реализуется продукционный потенциал культуры, а дефицит как макро-, так и микроэлементов в почве либо сдерживает рост продуктивности культуры, либо снижает качество продукции [8; 18]. Исследования, проведенные в разных почвенно-климатических зонах РФ, свидетельствуют, что применение микроудобрений на фоне оптимальной обеспеченности растений основными элементами питания (N,P,K), обеспечивает рост урожайности [18; 25; 29], стрессоустойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды [4], резистентность к эпифитотии [2], повышение качества растениеводческой продукции [20; 25]. Важно отметить, что эффективность симбиотрофного типа питания также определяется содержанием микроэлементов в почве или их применением в качестве удобрения [6; 8; 27]. Активная нодуляция наблюдалась в опытах В.К. Храмого, Т.Д. Сихарулидзе и Е.В. Гуреевой [24] при предпосевной обработке семян сои молибденом на темно-серой лесной почве Нечерноземной зоны России, а также на черноземных почвах Ставропольского края и Западной Сибири [5; 20].

Почвенно-климатические ресурсы Омской области, согласно исследованиям сибирских учёных [3; 6; 16; 12], вполне удовлетворяют требованиям произрастания растений сои, тем не менее, остаются недостаточно проработанными вопросы ее минерального питания, в том числе применение био- и микроудобрений. Поэтому разработка эффективной системы удобрений на основе применения полного комплекса удобрений (макро-, микро- и биоудобрения) и включение её в зональную технологическую карту возделывания культуры имеет неоспоримую актуальность. В этой связи **цель исследования** состояла в изучении влияния предпосевной обработки семян молибденом и медью на урожайность и качество семян сои.

### **Материалы и методы исследований**

Поставленная цель исследования реализовывалась на опытном поле лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в 2022-2023 гг. в длительном стационарном опыте (заложен в 1987 г.) в южной лесостепи Западной

Сибири на основе зернопарового севооборота (пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Объект исследования – растения сои (*Glycine max*), сорт – Сибириада. Предмет – выявление зависимости влияния применения макро-, микроудобрений (молибдена и меди) и ризоторфина (штамм 835) на продуктивность и качество семян сои.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесиловатая тяжелосуглинистая, содержание гумуса 6,3-6,5% (по Тюрину), pH – 6,5 – 6,7, подвижного фосфора и обменного калия 101-120 мг/кг и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову), соответственно. Содержание нитратного азота в слое 0-40 см соответствовало средней обеспеченности в среднем за годы исследования. Валовое содержание молибдена в почве составляло 1,7–1,85 мг/кг почвы, подвижных форм – 0,24–0,31 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности растений доступными формами молибдена. Содержание кислоторастворимой меди в почве составляло 14,1– 17,8 мг/кг, подвижной – 0,09-0,11 мг/кг и соответствовало низкой обеспеченности почвы данным элементом.

Климат Омской области характеризуется резкой континентальностью, малым количеством осадков, сухим воздухом, длинной и холодной зимой и теплым, но коротким летом. Продолжительность вегетационного периода составляет 155–165 дней. Общая фактическая температура в теплый период года составляет в среднем 1500–1700°C. Годовое количество осадков составляет 320–370 мм. Летом (при температуре выше 5°C) выпадает 160–210 мм осадков. Весной и летом осадки выпадают нерегулярно и очень неравномерно.

Изучение влияния инокуляции семян Ризоторфином и предпосевной обработки их микроудобрениями на урожайность сои проводили в полевом опыте по схеме: фактор А – варианты внесения удобрений: 1) без удобрений; 2) предпосевная обработка семян (ПОС) молибдатом аммония (Mo); 3) ПОС Mo + Cu; 4) ПОС Mo + инокуляция семян Ризоторфином; 5) ПОС Mo + Cu + инокуляция. Фактор В – основное внесение минеральных удобрений: 1) без удобрений (фон 0); 2) внесение удобрений (фон N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>). Площадь делянки 2x8 м (16 м<sup>2</sup>), расположение делянок систематическое. Повторность 4x-трехкратная. В качестве молибденового удобрения применяли молибденовокислый аммоний ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>), содержание действующего вещества в водорастворимой форме – 52%, в количестве 25 г на гектарную норму семян. ПОС сои медью проводилась раствором соли на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты (Cu-EDTA) в расчете 150 г вещества на тонну семян (расчет дозы выполнен на элемент).

Расход рабочего раствора – 10 л/т семян. Для инокуляции использовали 300 г биоудобрения – Ризоторфин (штамм 835) на гектарную норму высева сои, производитель ВНИИМ (г. Санкт-Петербург). Ризоторфин представляет собой препарат высокоэффективных клубеньковых бактерий из рода *Rhizobium*, выращенных на торфяном субстрате, обогащенном углеводами, минеральными веществами, витаминами и микроэлементами, для предпосевной обработки семян бобовых. Норма высева сои – 1,0 млн. шт. всхожих семян/га. Учет симбиотической активности проводили расчетом количества и массы клубеньков на корнях сои с 10 растений из четырёх повторностей в фазу начала образования лопаток выполняли по методике Г.С. Посыпанова [21]. Измерение площади листьев сои проводили с использованием весового метода и вычислением ее с помощью программного обеспечения через сканирование листьев. Вычисление фотосинтетического потенциала посева (ФПП) проводилось по формуле:

$$\text{ФПП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2} \times T,$$

где  $Л_1$  – площадь листьев посева при первом определении, тыс.  $м^2/га$ .

$Л_2$  – площадь листьев посева при втором определении, тыс.  $м^2/га$ .

$T$  – период между определениями или период от всходов до 1-го определения, сут.

В качестве удобрений использовали промышленные марки азот- и фосфорсодержащих удобрений, которые вносили перед посевом на глубину 6-8 см. Посев сои и учет урожайности проводили в соответствии с зональной агротехнологией в оптимальные сроки. Учет урожайности проводили прямым комбайнированием селекционным комбайном Wintersteiger. Урожайность культуры приведена к 100% чистоте и 14% влажности. Химический анализ почвенных, растительных образцов, определение белка, жира в семенах сои проведены по общепринятым методикам. Результаты, полученные в опытах и представленные в таблицах и на рисунках – усредненные данные за 2022-2023 гг., обработаны статистическими методами дисперсионного и корреляционного анализов.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Формирование урожайности сои зависит от активности фотосинтетических процессов в растениях, и в целом продукционных процессов посева культуры как фотосинтезирующей системы [23]. При этом большое значение отводится ассимиляционной поверхности листьев каждого растения, которая достигает максимального значения в период цветения-образования

бобов. В наших исследованиях площадь листьев сои в указанный период в варианте без применения удобрений составила 23,7 тыс. м<sup>2</sup>/га (табл. 1).

Таблица 1.

**Фотосинтетическая продуктивность сои в зависимости от применения удобрений, (среднее за 2022-2023 гг.)**

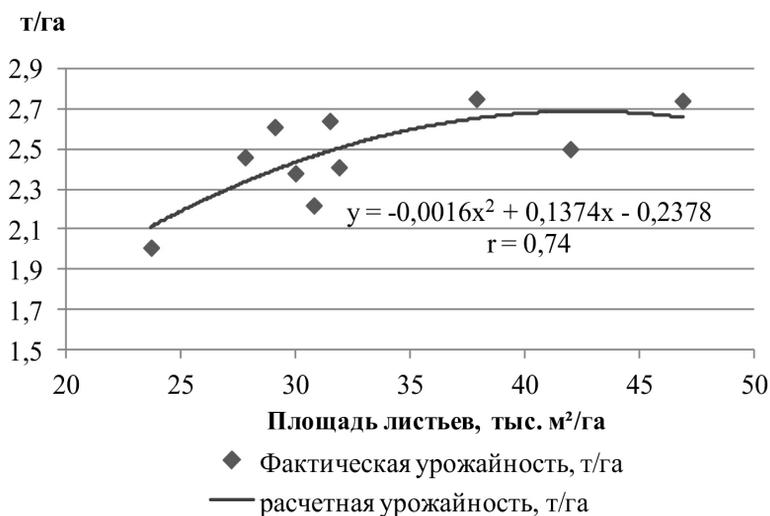
Вариант	Площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га		ФПП, тыс. м <sup>2</sup> сут./га	
	фон 0	фон - N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	фон - 0	фон - N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>
Контроль (без удобрений)	23,7	27,8	510	598
Mo	30,8	29,1	662	626
Cu + Mo	30,0	31,5	645	677
Mo + инокуляция	31,9	37,9	686	815
Cu + Mo + инокуляция	42,0	46,9	903	1008
НСР <sub>05</sub> площади листьев	варианта – 3,4; фона – 3,7; частных средних – 5,7			
НСР <sub>05</sub> ФПП	варианта – 47; фона – 45; частных средних – 62			

Примечание: \* на 10 растениях

Максимальная площадь листьев сформировалась как на естественном фоне плодородия, так и на фоне внесения N<sub>30</sub>P<sub>30</sub> при посеве семенами, обработанными микроэлементами (Mo и Cu), и Ризоторфином – 42,0; 46,9 тыс. м<sup>2</sup>/га, что превышало контрольный вариант на 77%; 81%, соответственно. Действие предпосевной обработки семян на ассимиляционную поверхность сои различалось по фонам удобренности. При рассмотрении влияния каждого удобрения по отдельности (Mo, Cu, инокуляция) на формирование листовой поверхности сои, следует отметить, что предпосевная обработка семян молибдатом аммония увеличивала площадь листьев культуры на 7,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (или 30,%). Добавление меди существенно не увеличило площадь листьев культуры, тоже самое можно сказать и про инокуляцию. Она в варианте Mo + инокуляция составила – 31,9 тыс. м<sup>2</sup>/га. Только при совместном применении микроэлементов и инокуляции обильность растений сои была максимальной. На минеральном фоне (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>), при добавлении каждого удобрения просматривалась другая реакция растения, то есть положительный эффект возрастал. Если предпосевная обработка молибденом увеличила ассимиляционную поверхность на 5%, то при добавлении меди к молибдену она увеличилась на 13%, при добавлении к молибдену инокуляции – на 36%. Наибольшая площадь листьев у сои была (также как и на неудобренном фоне) в варианте Cu + Mo + инокуляция – 46,9 тыс. м<sup>2</sup> сут./га.

Исследовательский интерес к фотосинтетическим показателям, установлению зависимостей влияния агрохимических приемов на продуктивность культуры проявляли многие ученые [5, 13, 22, 24]. В полевых опытах Синеговской В.М. [22] установлено, что размеры ассимиляционной поверхности листьев сои напрямую связаны с продуктивностью посевов. С уменьшением, или увеличением числа листьев в прямой зависимости изменялось число бобов, а, следовательно, урожай семян [5].

Аналогичная закономерность прослеживалась и в наших опытах: зависимость продуктивности сои описывалась полиномиальным уравнением с тесной корреляцией признаков ( $r=0,74$ ) (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость урожайности сои (Y, т/га) от площади листьев (X, тыс. м<sup>2</sup>/га)

Согласно графика существует определенный максимум площади листьев, определяющий рост урожайности, в нашем случае – это не более 45 тыс. м<sup>2</sup>/га, а вот увеличение площади сверх этого предела может стогнивать продуктивность культуры.

Формирование урожая зависит не только от величины площади листа, но и времени её функционирования. К началу фазы активного бобообразования фотосинтетический потенциал варьировал от 510 до 903 тыс. м<sup>2</sup> сут./га на удобрённом фоне и от 598 до 1008 тыс. м<sup>2</sup> сут./га на удобрённом фоне (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>). При основном внесении удобрений фотосинтетическая

производительность посевов (ФПП) сои возросла на 17% (или на 88 м<sup>2</sup> сут./га). Если учесть, что ФПП – это расчетная величина, при нахождении которой учитывается площадь листьев, рассмотренные ранее зависимости повторялись, что подтверждается аналогичным графиком (рис 2).

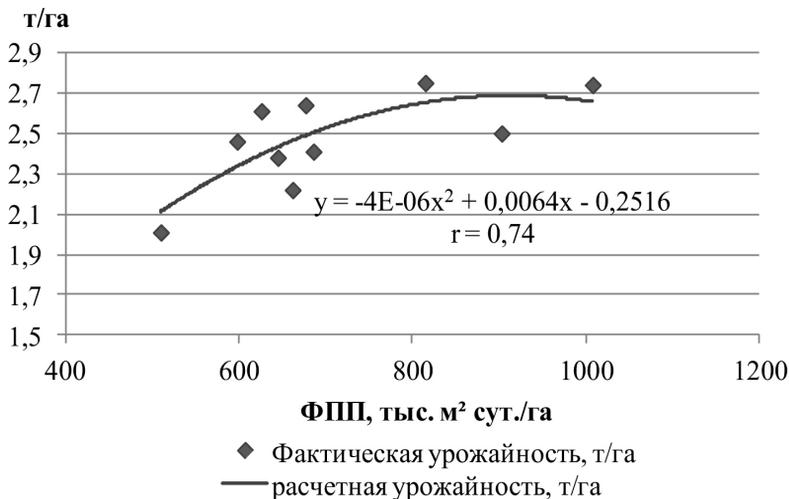


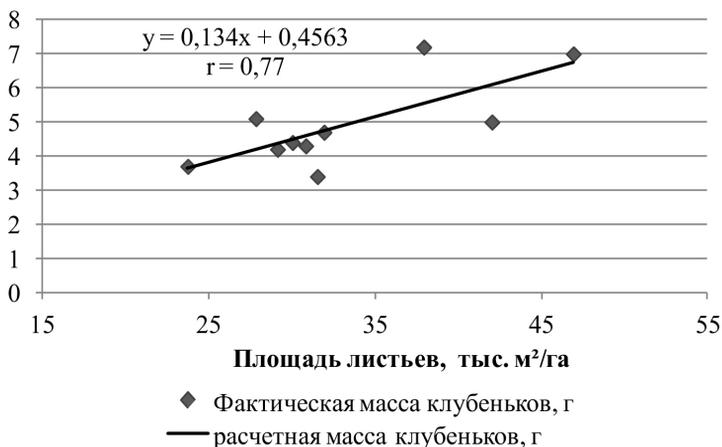
Рис. 2. Зависимость урожайности сои (Y, т/га) от ФПП (X тыс. м<sup>2</sup> сут./га)

Теоретически и экспериментально доказано, что для формирования урожая и становления симбиотической системы, роста и жизнедеятельности азотфиксирующих бактерий, используется один и тот же источник энергии – продукты фотосинтеза [19; 26; 31]. В.Л. Кретович [11] отмечал, что способность клубеньковых бактерий фиксировать молекулярный азот воздуха в большей степени зависит от интенсивности фотосинтеза. С точки зрения биохимических процессов углеводы – это энергетический субстрат, поступающий из листьев в клубеньки, необходимый для перевода  $N_2 \rightarrow NH_3$ , образование которых является одним из главных факторов, определяющих процесс азотфиксации у бобовых. В наших исследованиях зависимость азотфиксации (по массе клубеньков, г) от площади листьев описывалась линейным уравнением с высокой корреляцией признаков (рис. 3).

Определение симбиотической активности растений сои в контрольном варианте показало, что при выращивании её на полях, где ранее она высевалась инокулированными семенами, на корнях наблюдались колонии клубеньковых бактерий. Ранее проведённые исследования [7] свиде-

тельствуют о том, что данной аборигенной микрофлоры в региональных почвах нет. Важно отметить, что клубеньковые бактерии, ранее занесенные в почву, при суровых условиях зимнего периода Западносибирского региона, а также контрастных весенних и осенних, проявляют активную нодуляцию растений сои сортов сибирской селекции.

#### масса клубеньков, г



**Рис. 3.** Зависимость массы клубеньков сои (Y, г) от площади листьев (X, тыс. м<sup>2</sup>/га)

Одним из важных показателей активности азотфиксации является масса жизнеспособных клубеньков на корнях сои, что в значительной степени зависит от условий минерального питания [6; 30]. В неудобренном варианте на корнях насчитывалось 370 клубеньков с 10 растений, массой 3,7 г, а в других вариантах опыта симбиотическая активность культуры определялась видом удобрения и комплексным их применением (табл. 2).

При внесении удобрений (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>) наблюдалось увеличение и массы клубеньков, и их числа в сравнении с контрольным вариантом. Применение этой дозы удобрений экспериментально обоснованно [6], т.к. при симбиотическом типе азотного питания при внесении стартовой дозы азота N<sub>30</sub> устраняется недостаток этого элемента в начальный период роста и развития до начала активной азотфиксации.

Механизм негативного влияния азота на симбиоз в зависимости от его дозы и формы изучен недостаточно. Л.Е. Макарова с соавторами [15] предполагают, что минеральный азот может влиять на экссудацию фенольных

соединений, вызывающих экспрессию pod-генов у клубеньковых бактерий, способствующих их размножению в ризосфере. Так в опытах Н.Б. Митановой и её коллег [17] азотные удобрения не оказывали негативного влияния на рост свободноживущих бактерий, на их адгезию и проникновение в ткани корня бобового растения. Отрицательный эффект азотных удобрений на формирование бобово-ризобияльного симбиоза согласно их исследованиям связан с биохимическими превращениями минерального азота в клетках растения, в частности, с образованием оксида азота – NO, вызывающего токсический эффект как на ризобии, так и растении.

Таблица 2.

**Влияние удобрений на симбиотическую активность сои,  
(среднее за 2022-2023 гг.)**

Вариант	Количество клубеньков, шт.		Сырая масса клубеньков, г	
	фон - 0	фон - N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	фон - 0	фон - N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>
Контроль (без удобрений)	370	450	3,7	5,1
Mo	395	450	4,3	4,2
Cu + Mo	445	327	4,4	3,4
Mo + инокуляция	410	560	4,7	7,2
Cu + Mo + инокуляция	263	500	5,0	7,0
HCP <sub>05</sub> количество клубеньков	варианта – 52 ; фона – 57; частных средних – 70			
HCP <sub>05</sub> сырая масса клубеньков	варианта – 1,5; фона – 1,7; частных средних – 2,7			

*Примечание: \*масса и количество клубеньков на 10 растениях*

Роль фосфора в процессе азотфиксации одна из основных: фосфорное удобрение стимулирует рост корневой системы, в частности корневых волосков, через которые проникают бактерии из почвы [6].

Важная роль молибдена для растений, особенно для бобовых культур, – объективно доказанный факт. Молибден повышает эффект симбиоза, увеличивая активность клубеньковых бактерий. При отсутствии молибдена в почве ризобии не проникают в корни бобового растения даже при искусственном их внесении. В нашем опыте при предпосевной обработке семян молибдатом аммония количество клубеньков (450 шт.) не изменилось в сравнении с фоновым вариантом (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>), а вот масса их уменьшилась на 18%. Специфическое проявление действия молибдена на массу клубеньков на корнях сои также отмечала Е.В. Переверзева [20]: при предпосевной обработке семян молибдатом аммония в дозе 50 г на гектарную норму семян в 1,1-2,4 раза снижалась масса активных клубеньков без существенных

изменений семенной продуктивности культуры. Несмотря на наличие в почве спонтанных форм клубеньковых бактерий эффективность инокуляции семян активным штаммом 835 была достаточно высокой только на удобренном фоне. Масса и количество клубеньков в этом варианте (Mo + инокуляция) увеличились на 24 и 41%, соответственно.

Эмпирически установлено, что использование меди не оказывало существенного влияния на симбиотический аппарат сои на удобренном фоне, максимальное число клубеньков и масса их получены в варианте Mo + инокуляция. На естественном фоне действие Cu проявилось на морфологии нодуляции: количество клубеньков в варианте Cu + Mo + инокуляция снизилось на 29%, а масса их возросла на 35%.

Бинарное сочетание (Mo + инокуляция), а также триада действия удобрений (Cu + Mo + инокуляция) в ПОС положительно отразилась не только на симбиотической активности растений сои, но и продуктивности культуры.

Анализ семенной продуктивности сои показал, что без удобрений можно получить 2,01 т семян (табл. 3).

Таблица 3.

**Влияние удобрений на урожайность сои, т/га семян,  
(среднее за 2022-2023 гг.)**

Вариант	Фон - 0		Фон - N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	
	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка
Контроль (без удобрений)	2,01	-	2,46	-
Mo	2,22	0,21	2,61	0,15
Cu + Mo	2,38	0,37	2,64	0,18
Mo + инокуляция	2,41	0,40	2,75	0,29
Cu + Mo + инокуляция	2,50	0,49	2,74	0,28
НСР <sub>05</sub> фактора А – 0,17; НСР <sub>05</sub> фактора В – 0,18; НСР <sub>05</sub> частных средних – 0,20				

Следует отметить, что применение минеральных удобрений (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>) оказало существенное влияние на урожайность сои, прибавка составила 0,45 т/га, что на 22% выше в сравнении с контрольным вариантом. При анализе каждого по отдельности удобрения нами установлено, что применение медного удобрения неэффективно, прибавка урожайности не превысила значение наименьшей существенной разницы (НСР<sub>05</sub> = 0,20 т/га семян). Действие ПОС молибденом проявилось на обоих фонах удобренности, наилучший результат получен при совместном применении молибдатом аммония с инокуляцией семян Ризоторфином, получена при-

бавка 0,40; 0,74 т/га семян соответственно на фонах контрольном и удобренном.

Резюмируя эффективность применяемых удобрений, следует сказать, что для повышения урожайности сои на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Омского Прииртышья целесообразно использовать молибденовые микроудобрения для предпосевной обработки, бактеризацию семян Ризоторфином на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений ( $N_{30}P_{30}$ ) (по результатам почвенной диагностики).

Содержание белка в семенах сои во всех вариантах опыта было высоким 39,9-42,5% (табл. 4).

Таблица 4.

**Влияние удобрений на содержание белка и жира в семенах сои, %  
абс. ед., (среднее за 2022-2023 гг.)**

Вариант	Содержание белка		Содержание жира	
	фон - 0	фон - $N_{30}P_{30}$	фон - 0	фон - $N_{30}P_{30}$
Контроль (без удобрений)	39,9	40,3	18,7	18,8
Mo	42,2	41,8	19,6	19,2
Cu + Mo	40,9	41,5	19,0	19,0
Mo + инокуляция	40,4	40,7	18,8	18,7
Cu + Mo + инокуляция	40,4	42,5	18,9	19,0
HCP <sub>05</sub> содержание белка	варианта -1,2; фона - 1,4; частных средних - 1,6			
HCP <sub>05</sub> содержание жира	Fф<Fт			

При внесении азотно-фосфорных удобрений под сою наблюдалась тенденция увеличения белковости семян (на 1,4% абс. ед.). Существенно (на 2,3% абс. ед.) возросло содержание белка в семенах сои в варианте предпосевной обработки молибдатом аммония, добавление инокуляции снизило уровень белковости семян до уровня 40,4-40,7%, вероятно, за счет эффекта разбавления. А применение меди для предпосевной обработки в сочетании с Mo ингибировало синтез белка, отчетливо это проявилось на неудобренном фоне. Содержание белка в варианте (Mo + Cu) снизилось на 1,3 % абс. ед. в сравнении с вариантом ПОС молибденом. Следует отметить, что внесение макроэлементов (NP) нивелировало это негативное проявление меди.

Содержание жира в семенах сои по вариантам опыта изменялось в узких пределах от 18,7 до 19,6% без существенных закономерностей от изучаемых факторов.

### Заключение

1. Фотосинтетическая продуктивность посевов сои при возделывании ее на лугово-черноземной почве в южной лесостепной зоне Западной Сибири возрастала на 79% при комплексном применении микро-, макроудобрений и Ризоторфина. Установлено, что наибольшее влияние на ассимиляционную поверхность оказывает ПОС молибдатом аммония, облиственность увеличилась на 30%. Активизация ростовых процессов определила уровень урожайности культуры. Зависимости урожайности культуры от площади листьев, ФПП описывались уравнениями полиномиальной зависимости с тесной корреляцией признаков ( $r=0,74$ ).

2. Симбиотическая активность сои проявлялась во всех вариантах опыта. Наибольшее стимулирующее влияние на симбиоз культуры и бактерий оказало улучшение условий минерального питания ( $N_{30}P_{30}$ ) в сочетании с предпосевной обработкой молибдатом аммония и искусственным заражением симбиотической микрофлорой. Количество клубеньков на корнях возрастало на 24%, а их масса – на 41%. Положительное действие ПОС Си на симбиотическую активность сои как отдельно, так и в сочетании с Мо и инокуляцией не установлено.

3. Улучшение условий минерального питания за счет внесения азотно-фосфорных удобрений в дозе  $N_{30}P_{30}$  обеспечило повышение урожайности культуры на 22%. Эффективна была ПОС молибдатом аммония в сочетании с инокуляцией семян Ризоторфином, прибавка составила – 0,40 т/га, на минеральном фоне ( $N_{30}P_{30}$ ) в этом же варианте она возрастала почти в два раза.

4. Содержание белка в семенах сои существенно увеличивалось на 2,3% абс. ед. при ПОС молибдатом аммония, и добавление других удобрений к увеличению белковости семян не привело.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено в рамках темы государственного задания НИР ФГБНУ «Омский АНЦ» №FNUN-2022-0015 «Создание адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения на основе регулирования агрофизических, химических и биологических свойств почвы, фитосанитарного состояния агроценозов, управления потоками биогенных элементов в агроэкосистемах Западной Сибири».

### *Список литературы*

1. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография. Омск: Издательство «Вариант-Омск», 2013. 232 с.
2. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Центр. науч.-исслед. ин-т агрохим. обслуживания сел хоз-ва. Москва: ЦИНАО, 2000. 522 с.
3. Асанов А.М., Омелянюк Л.В., Бойко В.С., Тимохин А.Ю. Отзывчивость сортов сои на орошение в степи Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 52–61.
4. Анспок П.И. Микроудобрения. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 272 с.
5. Васильчиков А.Г. Акулов А.С., А.В. Глазков. Продукционная и азотфиксирующая способность различных сортов сои в Орловской области // Земледелие. 2015. № 4. С. 7-10.
6. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография. Омск, 2014. 188 с.
7. Воронкова Н.А., Храпцов И.Ф., Хамова О.Ф. К вопросу об оценке почвенно-микробиологических условий минерального питания сои // Сельскохозяйственная биология. 2002. Т. 37. № 5. С. 52–56.
8. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / А.Н. Аристархов [и др.] // Агрохимия. 2010. № 9. С. 36-49.
9. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Рос. акад. наук Сиб. отд-ние. Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 226 с.
10. Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Омской области // Плодородие. 2018. № 5. С. 42-46.
11. Кретович В.Л. Усвоение и метаболизм азота у растений. М.: Наука. 1987. 485 с.
12. Кузнецова Г.Н., Лошкомайников И.А., Кривошлыков К.М. Экономическая эффективность возделывания масличных культур в Омской области // Масличные культуры. 2021. № 3. С. 53–57.
13. Котлярова Е. Г. Грицина В. Г. Фотосинтетическая деятельность сортов сои в зависимости от уровня удобренности // Аграрный научный журнал. 2021. № 2. С. 25-32.

14. Лукин С. В., Хижняк Р. М. Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземной области // *Агрохимия*. 2015. № 8. С. 64-72.
15. Макарова Л.Е., Латышева С.Е., Путилина Т.Е. Влияние фенольных соединений, выделяемых в темноте корнями гороха, на размножение *Rhizobium* // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2007. Т. 43. № 3. С. 479-485.
16. Мерзляков Л.И., Вольнюк А.Д. Результаты выращивания сои в Тюменской области // *Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья*. 2017. № 2. С. 78-82.
17. Митанова Н.Б., Глянько А.К., Васильева Г.Г. Влияние азотных соединений на адгезию и проникновение клубеньковых бактерий в ткани корней и рост этиолированных проростков гороха // *Агрохимия*. 2006. №10. С. 52-55.
18. Митрохина О.А. Содержание микроэлементов в почвах ЦЧР и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимический вестник*. 2021. № 5. С. 40-45.
19. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование листовой подкормки для оптимизации питания зерновых бобовых культур в онтогенезе растений (обзор) // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 1. С. 60-67.
20. Переверзева Е.В. Эффективность инокуляции сои применения цинка и молибдена на предкавказских черноземах: автореферат на соискание ученой степ. канд. с.-х. наук: 06.01.09 – растениеводство. Ставрополь, 2000. 21 с.
21. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. 268 с.
22. Синеговская В. Т. Посевы сои в Приамурье как фотосинтезирующие системы: монография. Всероссийский НИИ сои. Благовещенск: Государственное производственно-коммерческое издательство «Зея», 2005. 120 с.
23. Тильба В.А., Тишков Н.М. Биология сои: возможности оптимизации отдельных продукционных процессов // *Масличные культуры*. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. Вып. 3. С. 78-87.
24. Храмой В.К., Сихарулидзе Т.Д., Гуреева Е.В. Влияние минеральных удобрений на формирование симбиотического аппарата и усвоение азота воздуха соей в условиях центрального района Нечернозёмной зоны РФ // *Масличные культуры*. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. № 3. С. 48-52.
25. Эффективность применения микроудобрений под сою / С.Ф. Спицына [и др.] // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2017. № 4. С. 43-47.

26. Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment // Giri B., Prasad R., Wu Q.S., Varma A. (eds). Springer, 2019. 544 p.
27. Chu H., Lin X., Fujii T., et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 2971-2976. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>
28. Current Status of the Soybean Industry and Research in the Russian Federation / M. Sinegovskii, Sh. Yuan, V. Sinegovskaya, T. Han // *Soybean Science and Technology*. 2018. Vol. 37, No. 1. P. 1-7. <https://www.researchgate.net/publication/324861550>
29. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N. N. Shuliko, O. F. Khamova, A. Yu. Timokhin [et al.] // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, No. 1. P. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>
30. Jesus E.C., Leite R.A., Bastos R.A., Aragao O.O.S., Araujo P.A. Coinoculation of Bradyrhizobium stimulates the symbiosis efficiency of Rhizobium with common bean // *Plant Soil*. 2018. Vol. 425. P. 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3541-1>
31. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., Ratajczak K., Waraczewska Z., Budka A. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on the process of biological nitrogen fixation and the level of soil biochemical activity in soybean (*Glycine max L.*) cultivation // *Applied ecology and environmental research*. 2019. Vol. 17 (5). P. 12649-12666. [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705\\_1264912666](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705_1264912666)

### References

1. Azarenko Yu.A. *Patterns of content, distribution, relationships of microelements in the soil-plant system in the conditions of the south of Western Siberia: monograph*. Omsk: Variant-Omsk Publ., 2013, 232 p.
2. Aristarkhov A.N. *Optimization of plant nutrition and fertilizer use in agroecosystems*. Moscow state University named after M. V. Lomonosov, Center. scientific research Institute of Agrochem. servicing village households. Moscow: TsINAO, 2000, 522 p.
3. Asanov A.M., Omelyanyuk L.V., Boyko V.S., Timokhin A. Yu. Responsiveness of soybean varieties to irrigation in the steppe of Western Siberia. *Bulletin of KrasGAU*, 2022, no. 7, pp. 52–61.
4. Askok P.I. *Microfertilizers*. L.: Agropromizdat, 1990, 272 p.
5. Vasilchikov A.G. Akulov A.S., A.V. Glazkov. Production and nitrogen-fixing ability of various soybean varieties in the Oryol region. *Agriculture*, 2015, no. 4, pp. 7-10.

6. Voronkova N.A. *Biological resources and their importance in preserving soil fertility and increasing the productivity of agrocenoses in Western Siberia: monograph*. Omsk, 2014, 188 p.
7. Voronkova N.A., Khamtsov I.F., Khamova O.F. On the issue of assessing soil-microbiological conditions of mineral nutrition of soybean. *Agricultural biology*, 2002, vol. 37, no. 5, pp. 52–56.
8. The effect of microfertilizers on yield, protein collection, product quality of grain and leguminous crops / A.N. Aristarkhov [et al.]. *Agrochemistry*, 2010, no. 9, pp. 36–49.
9. Ilyin V.B., Syso A.I. *Microelements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region*. Ross. acad. Sciences Sib. department Institute of Soil Science and Agrochemistry. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2001, 226 p.
10. Krasnitsky V.M., Shmidt A.G., Matveychik O.A. Agroecological characteristics of arable soils in the Omsk region. *Fertility*, 2018, no. 5, pp. 42–46.
11. Kretovich V.L. *Assimilation and metabolism of nitrogen in plants*. M.: Science, 1987, 485 p.
12. Kuznetsova G.N., Loshkomoinikov I.A., Krivoslykov K.M. Economic efficiency of cultivating oilseeds in the Omsk region. *Oilseed crops*, 2021, no. 3, pp. 53–57.
13. Kotlyarova E. G. Gritsina V. G. Photosynthetic activity of soybean varieties depending on the level of fertilizer. *Agrarian scientific journal*, 2021, no. 2, pp. 25–32.
14. Lukin S.V., Khizhnyak R.M. Ecological assessment of zinc, copper and molybdenum reserves in agrocenoses of the forest-steppe of the Central Black Earth Region. *Agrochemistry*, 2015, no. 8, pp. 64–72.
15. Makarova L.E., Latysheva S.E., Putilina T.E. The influence of phenolic compounds released in the dark by pea roots on the reproduction of Rhizobium. *Applied biochemistry and microbiology*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 479–485.
16. Merzlyakov L.I., Volnyuk A.D. Results of soybean cultivation in the Tyumen region. *Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals*, 2017, no. 2, pp. 78–82.
17. Mitanova N.B., Glyanko A.K., Vasilyeva G.G. The influence of nitrogen compounds on the adhesion and penetration of nodule bacteria into root tissue and the growth of etiolated pea seedlings. *Agrochemistry*, 2006, no. 10, pp.52–55.
18. Mitrokhina O.A. The content of microelements in the soils of the Central Chernobyl Region and their influence on the yield of agricultural crops. *Agrochemical Bulletin*, 2021, no. 5, pp. 40–45.
19. Novikova N.E. Physiological justification for foliar feeding to optimize the nutrition of grain legumes in plant ontogenesis (review). *Zernoobob. and cereals culture*, 2018, no. 1, pp. 60–67.

20. Pereverzeva E.V. *Efficiency of soybean inoculation and application of zinc and molybdenum on Cis-Caucasian chernozems: abstract of thesis. for an academic degree.* Ph.D. agricultural Sciences: 06.01.09 – plant growing. Stavropol, 2000, 21 p.
21. Posypanov G.S. *Methods for studying the biological fixation of air nitrogen.* M.: Agropromizdat, 1991, 268 p.
22. Sinegovskaya V. T. *Soybean crops in the Amur region as photosynthetic systems: monograph.* All-Russian Soybean Research Institute. Blagoveshchensk: Zeya Publ., 2005, 120 p.
23. Tilba V.A., Tishkov N.M. Biology of soybeans: possibilities for optimizing individual production processes. *Oilseed crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*, 2016, issue 3, pp. 78–87.
24. Khramoy V.K., Sikharulidze T.D., Gureeva E.V. The influence of mineral fertilizers on the formation of the symbiotic apparatus and the absorption of air nitrogen by soybeans in the conditions of the central region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Oilseed crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*, 2016, no. 3, pp. 48-52.
25. Efficiency of using microfertilizers for soybeans / S.F. Spitsyna et al. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2017, no. 4, pp. 43-47.
26. *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment* / Giri B., Prasad R., Wu Q.S., Varma A. (eds). Springer, 2019, 544 p.
27. Chu H., Lin X., Fujii T., et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, vol. 39, pp. 2971-2976. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>
28. Current Status of the Soybean Industry and Research in the Russian Federation / M. Sinegovskii, Sh. Yuan, V. Sinegovskaya, T. Han. *Soybean Science and Technology*, 2018, vol. 37, no. 1, pp. 1-7. <https://www.researchgate.net/publication/324861550>
29. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N. N. Shuliko, O. F. Khamova, A. Yu. Timokhin, et al. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>
30. Jesus E.C., Leite R.A., Bastos R.A., Aragao O.O.S., Araujo P.A. Coinoculation of Bradyrhizobium stimulates the symbiosis efficiency of Rhizobium with common bean. *Plant Soil*, 2018, vol. 425, pp. 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3541-1>
31. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., Ratajczak K., Waraczewska Z., Budka A. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on the

process of biological nitrogen fixation and the level of soil biochemical activity in soybean (*Glycine max* L.) cultivation. *Applied ecology and environmental research*, 2019, vol. 17 (5), pp. 12649-12666. [http://dx.doi.org/10.15666/aer/1705\\_1264912666](http://dx.doi.org/10.15666/aer/1705_1264912666)

### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Воронкова Наталья Артемовна**, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

[voronkova.67@bk.ru](mailto:voronkova.67@bk.ru)

**Балабанова Наталья Фёдоровна**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

[natascha.balabanowa@mail.ru](mailto:natascha.balabanowa@mail.ru)

**Волкова Виктория Андреевна**, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

[volkovava1989@yandex.ru](mailto:volkovava1989@yandex.ru)

**Тукмачева Елена Васильевна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

[res81@mail.ru](mailto:res81@mail.ru)

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Natalia A. Voronkova**, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

*Omsk Agrarian Scientific Center*

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

[voronkova.67@bk.ru](mailto:voronkova.67@bk.ru)

SPIN-code: 7745-7881

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4797-9765>

Scopus Author ID: 57190973967

**Natalia F. Balabanova**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*natascha.balabanowa@mail.ru*

*SPIN-code: 1213-6542*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1445-2203>*

**Viktoria A. Volkova**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*volkovava1989@yandex.ru*

*SPIN-code: 7243-4843*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3798-1116>*

**Elena V. Tukmacheva**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*res81@mail.ru*

*SPIN-code: 1881-1679*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>*

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 05.04.2024

Принята 20.04.2024

Received 05.03.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 20.04.2024