УДК 633.34:631.36:579.64 DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.17

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ И АГРОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РИЗОСФЕРЫ СОИ

Е.В. Тукмачева, к.б.н., А.А. Киселёва, Н.Н. Шулико, к.с.-х.н., Н.Ф. Балабанова, к.с.-х.н.,
ФГБНУ «Омский АНЦ»
644012, Россия, г. Омск, пр-т Королева, 26, tuktacheva@anc55.ru

Работа выполнена в рамках государственной программы исследований FNUN-2026-0012

Изучение ризосферного микробоценоза сои выполняли на полях Омского аграрного научного центра в условиях южной лесостепной зоны Западной Сибири. Метеоусловия в годы исследований характеризовались как недостаточно увлажненные в 2022 г. ГТК – 0,81 и в 2023 г. ГТК – 0,80, и увлажненные в 2024 г. ГТК – 1,70. Почва опытного участка – лугово-черноземная среднемощная среднегумусная тяжелосуглинистая. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: фактор А (фон удобренности) 1) без удобрений; 2) $N_{30}P_{30}$ *– фон; 3) фон + предпосевная обработка семян молибдатом аммония (*Mo*); 4) фон +* Mo *+ инокуляция семян ризоторфином; фактор В (инокуляция семян) обработка семян* Mo+Cu+*инокуляция;* Mo+*инокуляция. Цель исследований – выявить изменение микробиологических и агрохимических свойств лугово-черноземной почвы при длительном агрогенном воздействии, применении микроэлементов и инокуляции семян, определить урожайность семян сои, возделываемой в условиях Омского Прииртышья. Установлено, что молибден в сочетании с минеральными удобрениями является эффективным стимулятором микробиологических процессов в ризосфере сои. Оптимизация минерального питания и инокуляция способствуют снижению фитопатогенной нагрузки и повышению биологической активности почвы. Максимальное усиление интенсивности разложения целлюлозы зафиксировано в варианте* $N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu *– активность превысила контроль на 13%. Установлено, что наибольшая урожайность сои получена при посеве её семенами, обработанными Ризоторфином и молибденом на фоне внесения* $N_{30}P_{30}$*, обеспечивая прибавку семян 0,74 т/га.*

Ключевые слова: минеральные удобрения, микроэлементы, инокуляция семян, ризоценоз, биологическая активность, нитратный азот, соя, урожайность.

Для цитирования: *Тукмачева Е.В., Киселёва А.А., Шулико Н.Н., Балабанова Н.Ф.* Влияние биологических и агрогенных факторов на микробиологическое состояние ризосферы сои// Плодородие. – 2026. - №5. – С. 87-92. DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.17.

В России сталкиваются с нарастающей проблемой дефицита растительного белка и масла, а также с угрозой снижения плодородия почв. Эти вызовы требуют незамедлительных действий. Выход из сложившейся ситуации заключается в увеличении посевных площадей, росте продуктивности зернобобовых культур. В этом контексте соя выступает как культура - лидер: по мировым объёмам производства она уверенно занимает первое место среди зернобобовых. Её ценность определяется двумя факторами: способностью давать высококачественные семена при правильной системе удобрения, возможностью обогащать почву жизненно важными элементами [3].

На глобальном уровне, включая Российскую Федерацию, наблюдается устойчивый рост интереса к вопросам микробиологии в сельском хозяйстве. Проведённые исследования существенно расширили представления о роли микроорганизмов в жизнедеятельности растений [8].

Особенно актуально применение биопрепаратов при возделывании зернобобовых культур. Главное преимущество таких препаратов – возможность сформировать локально высокую концентрацию полезных микроорганизмов (до 1-5 млрд. клеток бактерий в 1 г препарата). Это обеспечивает конкурентоспособность внесённых форм по отношению к аборигенной микробиоте и позволяет им занимать экологические ниши, создаваемые растением. Управление биологическими процессами в агроценозах возможно за счет интродукции агрономически ценных штаммов микроорганизмов, способных улучшить питание агрокультур, в ризосферу растений. В связи с тем, что не во всех почвах присутствуют аборигенные клубеньковые бактерии сои, то в технологии её выращивания важнейшим агроприёмом должна быть предпосевная обработка семян микробными препаратами на основе высокоэффективных штаммов клубеньковых бактерий (ризобий) *Bradyrhizobium japonicum* [6, 7].

В ризоценозах сои в совокупности с препаратами биологического происхождения часто применяют микроэлементы. Их воздействие на жизнедеятельность растений очень многообразно, они позволяют поддерживать на высоком уровне потенциал урожайности и качества продукции [13].

В результате многолетнего изучения оптимизации минерального питания сои ученые пришли к мнению, что целесообразно внесение минеральных удобрений вместе с биологическими препаратами [5].

Цель исследований– выявить изменение микробиологических и агрохимических свойств почвы при длительном агрогенном воздействии, применении микроэлементов и инокуляции семян, определить урожайность семян сои, возделываемой в условиях Омского Прииртышья.

Методика. Изучение ризосферного микробоценоза сои выполняли на полях Омского аграрного научного центра в условиях южной лесостепной зоны Западной Сибири. Вегетационный период 2022 г. характеризовался как недостаточно увлажнённый, ГТК за май–август составил 0,81. Вегетационный период 2023 г. также был недостаточно увлажнённым, ГТК за май–август равен 0,80. Вегетационный период 2024 г. характеризовался повышенным количеством осадков и благоприятным увлажнением почвы, ГТК за май–август равен 1,70.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднемощная среднегумусная тяжелосуглинистая.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: *фактор А (фон удобренности)* – без удобрений, азотно-фосфорный фон ($N_{30}P_{30}$), предпосевная обработка семян молибдатом аммония (Мо); обработка семян Мо + Cu; *фактор В (предпосевная обработка семян)* – обработка семян Мо + Cu + инокуляция семян препаратом Ризоторфин (И); Мо + И. Предпосевную обработку семенного материала осуществляли в день посева агрокультуры.

В качестве объекта исследований использовали сорт сои омской селекции *Сибириада.* Данный сорт включен в Госреестр по Западно-Сибирскому, Восточно-Сибирскому и Центральному регионам в 2020 г. Сорт скороспелый, вегетационный период 96-112 сут. Средняя урожайность семян 3,48 т/га. Ценится за скороспелость, повышенный потенциал продуктивности, хорошую белковость и высокое расположение нижних бобов.

Отбор ризосферы сои проводили троекратно по основным фазам развития растений: полные всходы, цветение, плодообразование.

Анализы в опыте выполняли по следующим методикам: содержание нитратного азота в слое 0-20 см - по Грандваль-Ляжу [2]; учет численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов осуществляли путем высева на твердые питательные среды [17]; направленность микробиологических процессов трансформации азотсодержащих соединений в почве оценивали по коэффициентам минерализации ($К_{мин.}$ = КАА / МПА) и иммобилизации ($К_{им.}$ = МПА / КАА) [11]; интенсивность разложения целлюлозы определяли в полевых условиях аппликационным методом Тихомировой по разложению целлофановой пленки (1972).

Результаты и их обсуждение. В системе минерального питания растений азот занимает центральное место [1]. Среди его форм на особом месте находится нитратный азот ($N\text{-}NO_3$), который характеризуется высокой подвижностью в почве за счёт хорошей растворимости. Примечательно, что концентрация $N\text{-}NO_3$ – не просто химический показатель, а результат биохимических процессов, так как это соединение образуется в ходе микробного метаболизма. Поэтому содержание нитратного азота выступает объективным критерием оценки плодородия почв [16].

За годы исследований содержание нитратного азота в почве под посевом сои варьировало от 0,5 до 8,5 мг/кг в пахотном слое 0-20 см, что соответствует очень низкой обеспеченности, по градации Г.П. Гамзикова (<10 мг/кг) (табл. 1).

В условиях 2022 г. и в среднем за годы проведения исследований отмечалось максимальное содержание $N\text{-}NO_3$ при обработке семян микроэлементами совместно с инокуляцией семян, вариант Мо + И (3,3 мг/кг), на азотно-фосфорном фоне при обработке семян молибдатом аммония (8,5 мг/кг). Однако, согласно шкале обеспеченности почвы азотом по Г.П. Гамзикову, значения эти характеризуются как очень низкие. Ввиду недостаточности осадков в 2023 г., фиксация атмосферного азота снижалась из-за нехватки энергетического материала, содержание этой формы азота в почве под посевом сои характеризовалось как очень низкое.

1. Содержание нитратного азота в посевах сои в зависимости от применения удобрений, мг/кг

Вариант опыта	$N\text{-}NO_3$		
	2022 г.	2023 г.	среднее
Контроль (б/у)	1,7	1,1	1,4
Мо	1,9	0,5	1,2
Мо + Cu	1,4	1,0	1,2
Мо + Cu + инокуляция	2,2	0,8	1,5
Мо + инокуляция	3,3	0,9	2,1
$N_{30}P_{30}$	3,1	2,7	2,9
$N_{30}P_{30}$ + Мо	8,5	2,4	5,5
$N_{30}P_{30}$ + Мо + Cu	3,4	1,2	2,3
$N_{30}P_{30}$ + Мо + Cu + инокуляция	5,8	1,9	3,9
$N_{30}P_{30}$ + Мо + инокуляция	2,4	1,9	2,2
$НСР_{05}$ А / доля влияния фактора=1,3*/81,2; $НСР_{05}$ В / доля влияния фактора=2,1/7,7; $НСР_{05}$ АВ / доля влияния фактора=11,8/3,0			

Примечание. Здесь и далее, $НСР_{05}$ – достоверно при 0,05%-ном уровне значимости; $НСР_{05}$ А – фон удобренности, В – обработка семян, АВ – взаимодействие факторов. *Различия между вариантами опыта достоверны.

Известно, что для эффективного симбиоза сои с клубеньковыми бактериями необходим молибден. Этот микроэлемент является структурным компонентом фермента нитрогеназы, который отвечает за процесс фиксации атмосферного азота. Применение молибдена способствует активизации азотфиксирующей способности бактерий и повышает урожайность сои [5].

Для условий южной лесостепи Западной Сибири (зона рискованного земледелия) выявлено, что применение Ризоторфина совместно с молибдатом аммония, даже при наличии в почве спонтанной симбиотической микробиоты, недостаточно эффективно. Так, в условиях засухи, молибдат аммония «не сработал» в отношении усиления активности симбиотической азотфиксации.

Численность почвенной биоты подвержена колебаниям, обусловленным как погодными условиями, так и агротехническими приёмами [8].

Анализ эколого-трофических групп выявил следующую закономерность: микроорганизмы, трансформирующие азотные соединения (сапротрофы и амилолитики), по численности существенно не отличались от контрольных значений, комплексная обработка семян молибдатом аммония в сочетании с инокуляцией семян на азотно-фосфорном фоне стимулировала рост амилолитической биоты в среднем на 18 % к контролю (рис. 1).

Олигонитрофилы способствуют разложению органического вещества, что приводит к высвобождению элементов минерального питания. Обработка семян Мо + Cu дала существенный эффект: в 2022 г. численность тестируемой группы выросла на 65 %, в 2023 г. – на 41 %, в среднем за вегетационный период – в 2 раза относительно контроля. Это связано с тем, что удобрения меняют условия обитания микроорганизмов. При этом на азотно-фосфорном фоне статистически значимых изменений их количества не выявлено.

Фосфатмобилизующие бактерии представляют собой группу почвенных микроорганизмов, обладающих уникальной способностью мобилизовать фосфор из труднорастворимых соединений. Механизм их действия заключается в выделении органических кислот и ферментов, которые растворяют минеральные фосфаты (например, фосфаты железа, кальция, алюминия), разлагают органические фосфорсодержащие соединения, преобразуют фосфор в растворимые соли фосфорной кислоты.

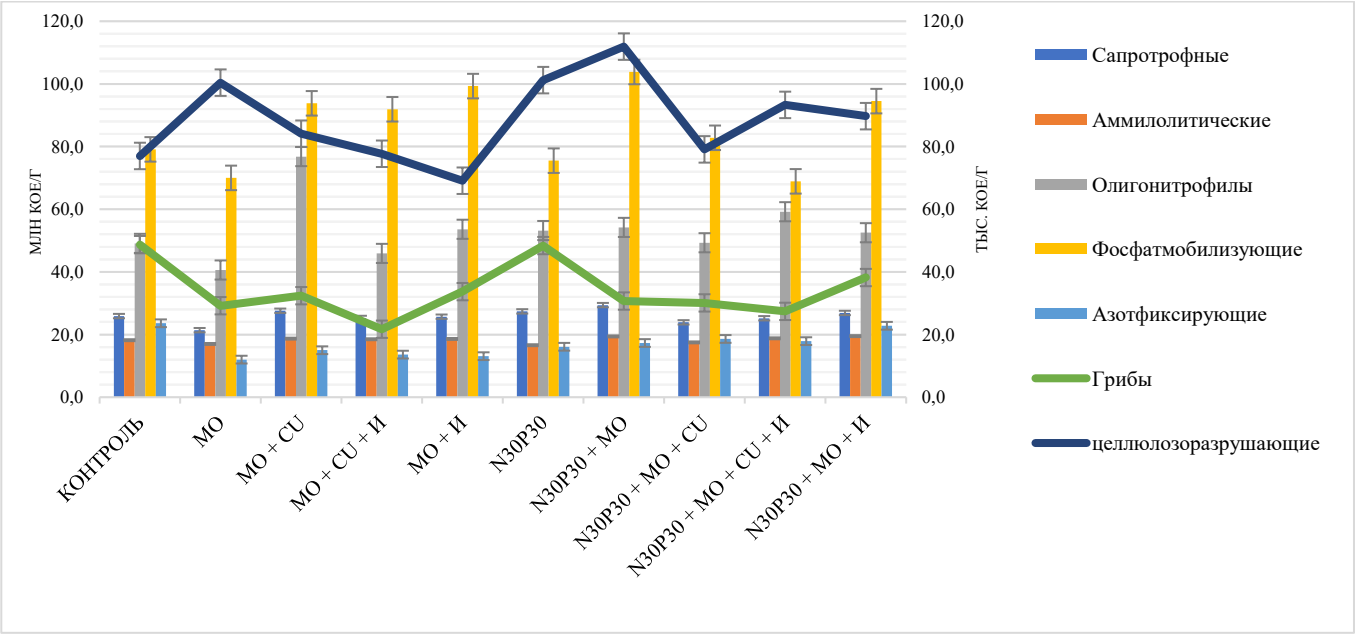


Рис. 1. Численность ризоценоза сои в зависимости от применения удобрений (n=6), в среднем за 2022-2023 г.

В условиях 2022 г. существенного воздействия изучаемых агроприемов на группу фосфатмобилизующих бактерий выявить не удалось. При инокуляции семян Ризоторфином совместно с обработкой микроэлементами рост изучаемой группы относительно контроля составил 25% в 2023 г., в варианте $N_{30}P_{30}$ + Mo – 89%. Бактеризация семян сои штаммом *Bradyrhizobium japonicum* повышала численность бактерий, участвующих в превращении недоступных форм фосфора в доступные для растений при инокуляции микроэлементами (Mo + Cu) на 26%, $N_{30}P_{30}$ + Mo – на 38%.

Ингибирующее воздействие инокуляции влияло на численность микромицетов по всем вариантам опыта, снижение составило до 100%. Подобное снижение может быть связано с комбинированным внесением био- и минерального удобрений, а также микроэлементов и проявлением конкуренции микроорганизмов. При определенных условиях патогенами могут стать даже микоризные грибы и клубеньковые бактерии [14]. В этой связи снижение численности микромицетов можно считать положительным моментом инокуляции.

Динамика численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов в 2023 г. продемонстрировала выраженную положительную реакцию на внесение молибдата аммония. Особенно заметный эффект наблюдался в варианте с комбинированным применением азотно-фосфорных удобрений и молибдата аммония ($N_{30}P_{30}$ + Mo), рост относительно контроля составил 59 %. За период исследований применение микроэлементов стимулировало активность бактериальной массы фосфатмобилизаторов на 31 %, тогда как на азотно-фосфорном фоне отмечено снижение численности данной группы микроорганизмов.

Активность азотфиксирующих бактерий на среде Эшби изменялась в зависимости от года и применяемых агроприёмов: в 2022 г. внесение удобрений, молибдата аммония и инокуляция стимулировали рост численности на 88%, в 2023 г. - на 42% в среднем по опыту.

При изучении ризоценоза сои установлено, что общая численность ризосферных микроорганизмов возрастала в варианте Mo + Cu на 46% в 2022 г., при обработке $N_{30}P_{30}$ + Mo - на 51% в 2023 г. В целом за годы исследований на фонах Mo + Cu, $N_{30}P_{30}$ + Mo превышение составило 18 и 14% соответственно.

Качественный и количественный состав почвенной биоты является важнейшим фактором, от которого зависит уровень плодородия почвы. Известно, что наряду с минерализацией органических соединений в почве и переводом их в доступные для растений формы, протекает не менее важный процесс – иммобилизация [9, 15].

2. Интенсивность и направленность процессов в почве под посевом сои при применении удобрений, n=6

Вариант опыта	$К_{им}$			$К_{мин}$			Пм		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Контроль (б/у)	1,3	1,5	1,4	0,7	0,6	0,7	49,7	74,5	62,1
Mo	1,3	1,1	1,2	0,7	0,8	0,8	52,7	40,0	46,4
Mo + Cu	1,4	1,5	1,5	0,6	0,6	0,6	64,5	64,8	64,7
Mo + Cu + инокуляция	1,4	1,3	1,4	0,7	0,7	0,7	27,4	63,8	45,6
Mo + инокуляция	1,2	1,4	1,3	0,7	0,6	0,7	45,2	71,2	58,2
$N_{30}P_{30}$	1,6	1,6	1,6	0,5	0,6	0,6	68,0	70,4	69,2
$N_{30}P_{30}$ + Mo	1,7	1,3	1,5	0,5	0,7	0,6	74,9	69,4	72,2
$N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu	1,5	1,2	1,4	0,6	0,8	0,7	51,1	58,4	54,8
$N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu + инокуляция	1,2	1,4	1,3	0,7	0,7	0,7	58,2	62,1	60,2
$N_{30}P_{30}$ + Mo + инокуляция	1,4	1,3	1,4	0,7	0,7	0,7	62,8	62,1	62,5
$НСР_{05}A$ / доля влияния фактора	*0,2/39,0*			*0,1/10,8*			*11,2/57,7*		
$НСР_{05}B$ / доля влияния фактора	*0,3/26,5*			*0,1/31,1*			*17,7/13,6*		
$НСР_{05}AB$ / доля влияния фактора	*0,4/34,5*			*0,2/58,1*			*25,0/28,7*		

По полученным расчетным способом коэффициентам оценивали интенсивность микробиологических процессов трансформации азотсодержащих соединений в почве. Установлено, что в опыте преобладали процесс включения азота в микробную биомассу и последующее закрепление в составе почвенного органического вещества (иммобилизация). Это важно для сохранения азота от вымывания вниз по почвенному профилю. Максимальных значений в опыте $К_{им.}$ достигал в варианте $N_{30}P_{30}$. Следует отметить, что данная тенденция (преимущество иммобилизационных процессов) согласуется с предыдущими нашими исследованиями [4].

Баланс между разложением остатков и микробным синтезом органического вещества почвы изменялся в зависимости от фона удобренности. Микробная трансформация органических остатков в органическое вещество почвы [о которой судили по коэффициенту Пм = (МПА + КАА) · (МПА / КАА)] максимальная в варианте комплексного внесения азотно-фосфорных удобрений и молибдата аммония. Увеличение скорости трансформации связано с активным развитием аммонификаторов и процесса иммобилизации азота. Количественной характеристикой этого процесса является отношение численности сапротрофных микроорганизмов (растущих на мясопептонном агаре, МПА) к численности амилолитических микроорганизмов (растущих на среде КАА). В вышеупомянутом варианте соотношение МПА / КАА составило 1,5 и 0,6 соответственно и было приближено к максимальному по опыту.

Одним из ключевых индикаторов биологической активности почвенных микроорганизмов выступает целлюлозолитическая способность почвы. Её уровень определяется комплексом факторов: температурным режимом, степенью увлажнения и аэрации, дозами внесённых минеральных удобрений, биологическими особенностями растительности, применяемыми агротехническими приёмами.

Результаты исследований динамики разложения целлюлозы под посевами сои показали, что в 2022 г. наблюдалась вариабельность показателя в зависимости от варианта опыта. Наибольший эффект зафиксирован в варианте $N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu, интенсивность разложения целлофановой плёнки достигла 30%, что на 23% превысило контрольные значения.

В 2023 г. в варианте $N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu интенсивность разложения целлюлозы была на 14% выше контроля (табл. 3). Таким образом, комбинированное применение молибдата аммония, меди и азотно-фосфорных удобрений ($N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu) демонстрирует наиболее выраженный стимулирующий эффект на целлюлозоразрушающую активность почвы.

Согласно исследованиям [10], процесс биодеструкции целлюлозы тесно связан с потреблением азота целлюлозоразрушающими микроорганизмами и благоприятным увлажнением почвы [12].

В этой связи в условиях благоприятного увлажнения 2024 г., абсолютные значения интенсивности разложения целлюлозы были выше, чем в предыдущие годы. Дополнительное внесение нитратов активизирует разложение целлюлозы в почве, так в варианте совместного применения предпосевной инокуляции семян (биологический азот) совместно с молибдатом аммония и в аналогичном варианте на фоне $N_{30}P_{30}$ отмечены максимальные значения показателя в опыте, рост относительно контроля составил 13 и 17% соответственно.

3. Интенсивность разложения целлюлозы в посевах сои при применении удобрений, % (экспозиция целлофановой пленки 62 дня)

Вариант опыта	Разложение целлюлозы			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Контроль (б/у)	26,51	23,27	33,87	27,88
Mo	24,20	27,34	37,59	29,71
Mo + Cu	27,12	29,36	36,30	30,93
Mo + Cu + И	23,95	25,95	36,64	28,85
Mo + И	27,47	27,62	38,28	31,12
$N_{30}P_{30}$	24,51	26,34	35,98	28,94
$N_{30}P_{30}$ + Mo	27,57	26,18	36,89	30,21
$N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu	30,00	26,44	38,43	31,62
$N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu + И	29,58	26,85	37,58	31,34
$N_{30}P_{30}$ + Mo + И	25,51	28,27	39,78	31,19

$НСР_{05}$A / доля влияния фактора = 1,19/42,83; $НСР_{05}$B / доля влияния фактора = 1,89/49,24;
$НСР_{05}$AB / доля влияния фактора = 2,67/7,94



Рис. 2. Зависимость урожайности семян сои (т /га) от общей численности ризоценоза (КОЕ/г)

Анализ трехлетних данных показал, что сочетание азотно-фосфорных удобрений с микроэлементами усиливает целлюлозоразрушающую активность почвы. За счёт улучшения питания почвенной микробиоты интенсивность разложения целлюлозы увеличилась на 13 % по сравнению с неудобренным вариантом.

Урожайность - интегральный показатель, формируемый множеством корреляционных связей между соподчинёнными признаками. В какой степени любой количественный признак определяет формирование урожайности зависит от его значимости, вариабельности, биологической специфики генотипа растения и от характера экологической нагрузки [10].

Анализ урожайности семян сои показал, что на неудобренном фоне она составила 2,01 т/га (рис. 2). Применение минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}$) обеспечило существенный рост показателя, прибавка составила 0,45 т/га семян, что на 22% выше контрольного варианта. Применение медного удобрения достоверного влияния не оказало. Действие предпосевной обработки посевного материала молибдатом аммония проявилось на обоих фонах удобренности. Наибольшая прибавка урожайности семян сои на фоне без удобрений получена при совместном применении молибдата аммония, меди и инокуляции Ризоторфином, составила 0,49 т/га, на удобренном фоне в варианте применения молибдата аммония и инокуляции, составила 0,74 т/га. Проведенный математический анализ данных выявил наличие средней корреляционной зависимости между показателями общей численности ризоценоза сои и урожайностью (r=0,41).

Выводы. Проведённые исследования позволили установить значимый эффект применения молибдата аммония в комплексе с минеральными удобрениями и инокуляцией семян при возделывании сои.

Обработка семян молибдатом аммония на минеральном фоне стимулировала рост общей численности микроорганизмов в ризосфере сои, способствовала увеличению численности ключевых функциональных групп: олигонитрофилов, фосфатмобилизующих и целлюлозоразрушающих бактерий, снижала количество микроскопических грибов – потенциальных источников фитопатогенной инфекции.

Максимальное усиление интенсивности разложения целлюлозы за годы исследований зафиксировано в варианте $N_{30}P_{30}$ + Mo + Cu, активность превысила контроль на 13%. Это подтверждает роль молибдена и меди в активизации микробиологической деструкции органического вещества.

При применении минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ отмечен рост урожайности культуры на 22%. Комплексное применение минеральных удобрений, микроэлементов и инокуляции оптимизировало питание растений, бобово-ризобиальный симбиоз. Предпосевная обработка семян молибдатом аммония и медью в сочетании с инокуляцией семян Ризоторфином обеспечила прибавку 0,49 т/га (фон без удобрений), молибдатом аммония в сочетании с инокуляцией семян 0,74 т/га (минеральный фон, $N_{30}P_{30}$).

Литература

1. *Агафонов Е.В., Агафонова Л.Н., Гужвин С.А.* Питание и удобрение сои на черноземе обыкновенном. – Персиановский: Донской ГАУ, 2004. – 133 с.
2. *Агрохимические* методы исследования почв. - М.: Наука, 1975. - 655 с.
3. *Баранов В.Ф.* Соя: биология и технология возделывания. – Краснодар, 2005. – 399 с.
4. *Биологические* и агрохимические свойства лугово-черноземной почвы Омского Прииртышья в связи с продуктивностью кормовых культур при применении минеральных удобрений / Н.Н. Шулико, А.Ю. Тимохин, О.Ф. Хамова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2024. – Т. 59. – № 1. – С. 156-173. – DOI 10.15389/agrobiology.2024.1.156rus.
5. *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.
6. *Горгулько Т.В., Дидович С.В., Пась А.Н.* Влияние штаммов клубеньковых бактерий на эффективность бобоворизобиального симбиоза у сортов сои // Агронаука. – 2023. – Т. 1. – № 2. – С. 32-37. – DOI 10.24412/2949-2211-2023-1-2-32-37
7. *Дидович С.В., Дидович А.Н., Зотов В.С.* Моделирование продуктивности агроценозов бобовых культур // Таврический вестник аграрной науки. – 2016. – № 4 (8). – С. 37-45.
8. *Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С.* Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. – 2019. – № 8. – С. 83-96. – DOI 10.1134/S0002188119080143.
9. *Зинченко М.К.* Трансформация биологических свойств серой лесной почвы агроландшафтов в системе адаптивно-ландшафтного земледелия. - Суздаль-Иваново: ФГБНУ Верхневолжский ФАНЦ, 2020. – 144 с.
10. *Киселев А.С., Поползухина Н.А.* Воздействие инокуляции на фотосинтетическую и симбиотическую активность гороха посевного // Вестник Омского ГАУ. – 2018. – № 3. – С. 5-13.
11. *Муха В.Д.* О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов // Сб. науч. трудов Харьковского СХИ. – Харьков, 1980. – Т. 273. – С. 13-16.
12. *Наплекова Н.Н.* Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – 250 с.
13. *Негреба О.Н., Белик М.А., Юрина Т.А., Ермаков А.А.* Применение агрохимикатов с микроэлементами при возделывании сои в производственных условиях // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 9(315). – С. 16-21. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-9-16-20
14. *Персикова Т.Ф., Сергеева И.И.* Применение регуляторов роста и бакпрепаратов на посевах ячменя и гороха // Плодородие. – 2006. – № 1 (28). – С. 19-20.
15. *Семенов В.М.* Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 78-96. – DOI 10.31857/S0002188120060101
16. *Смирнова Л.Г., Михайленко И.И., Смирнов Г.В., Кувшинова А.А.* Особенности профильного и пространственного распределения нитратного азота в почвах эрозионных ландшафтов // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 5. – С. 13-17. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10502.
17. *Теппер Е.З., Шильникова В.К.* Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов/ Под ред. В.К. Шильниковой. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.

INFLUENCE OF BIOLOGICAL AND AGROGENIC FACTORS ON THE MICROBIOLOGICAL STATE OF SOYBEAN RHIZOSPHERE

E.V. Tukmacheva, Ph.D., A.A. Kiseleva, N.N. Shuliko, Ph.D., N.F. Balabanova, Candidate of Agricultural Sciences,
Federal State Budgetary Institution "Omsk ANC"
644012, Russia, Omsk, Koroleva Ave., 26, tukmacheva@anc55.ru

A study of the soybean rhizosphere microbial community was conducted at the Omsk Agrarian Scientific Center, located in the southern forest-steppe zone of Western Siberia. Meteorological conditions during the study years were characterized by insufficient moisture in 2022 (hydrothermal coefficient [HTC] of 0.81) and 2023 (HTC of 0.80), and by ample moisture in 2024 (HTC of 1.70). The soil at the experimental site was a meadow-chernozem type—medium-depth, medium-humus, and heavy-loam in texture. The experimental design included the following treatments: Factor A (fertilizer background)—1) no fertilizer; 2) N30P30 (background); 3) background + pre-sowing seed treatment with ammonium molybdate (Mo); 4) background + Mo + seed inoculation with Rhizotorphin; Factor B (seed inoculation)—seed treatment with Mo + Cu + inoculation; and Mo + inoculation. The study aimed to assess changes in the microbiological and agrochemical properties of meadow-chernozem soil under long-term agricultural management, trace element application, and seed inoculation, as well as to determine the seed yield of soybeans cultivated in the Omsk Irtysh region. It was established that molybdenum, combined with mineral fertilizers, effectively stimulates microbiological processes in the soybean rhizosphere. Optimizing mineral nutrition and applying inoculants help reduce the phytopathogenic load and enhance soil biological activity. The greatest intensification of cellulose decomposition was observed in the N30P30 + Mo + Cu treatment, where activity exceeded the control by 13%. It was determined that the highest soybean yield was obtained by sowing seeds treated with Rhizotorphin and molybdenum against a background of N30P30 application, resulting in a seed yield increase of 0.74 t/ha.
Keywords: mineral fertilizers, trace elements, seed inoculation, rhizocoenosis, biological activity, nitrate nitrogen, soybean, yield.