

УДК 635.655 : [631.147+631.81]

UDC 635.655 : [631.147+631.81]

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
(сельскохозяйственные науки)4.1.1. General agriculture and plant growing
(agricultural sciences)**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ
РИЗОБИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ
ВОЗДЕЛЫВАНИИ СОИ****COMPLEX ASSESSMENT OF THE USE OF
RHIZOBIAL PREPARATIONS IN SOYBEAN
CULTIVATION**

Семенова Елена Александровна¹
д-р с.-х. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 2632-4960
ORCID 0000-0002-2221-9906
E-mail: elenasemen@yandex.ru

Semenova Elena Aleksandrovna¹
Doctor of agricultural sciences, associate professor
RSCI SPIN-code: 2632-4960
ORCID 0000-0002-2221-9906
E-mail: elenasemen@yandex.ru

Селихова Ольга Александровна¹
канд. с.-х. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 2206-7560
ORCID 0000-0002-1273-9537

Selikhova Olga Aleksandrovna¹
Candidate of agricultural sciences, associate professor
RSCI SPIN-code: 2206-7560
ORCID 0000-0002-1273-9537

Бросалин Евгений Игоревич²
РИНЦ SPIN-код: 8031-8500
¹Дальневосточный государственный аграрный
университет, Россия, 675005, Благовещенск,
ул. Политехническая, 86
² Филиал ФГБУ «Российский
сельскохозяйственный центр» по Амурской
области, Россия, 675000, Благовещенск, ул.
Нагорная, 7/1

Brosalin Evgeniy Igorevich²
RSCI SPIN-code: 8031-8500
¹FSBEI HE Far Eastern State Agricultural University,
Politeknicheskaya, 86, Blagoveshchensk, Amur
region, Russia, 675005
²Branch of the FSBI «Russian Agricultural Center» for
the Amur Region, Nagornaya, 7/1, Blagoveshchensk,
Amur region, Russia, 675000

В статье представлены результаты комплексной оценки использования ризобийных препаратов (БиоБеСта, Хайкоут Супер Соя + Хайкоут Супер Экстендер, Атува + Премакс) при выращивании сои в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области. Полевые исследования проводились в 2022-2023 годах на опытном поле Дальневосточного ГАУ. Объектом исследования стал сорт сои Дебют. Выяснено, что применение ризобийных препаратов приводит к снижению уровня аммонийного азота в почве, не влияя при этом на содержание нитратного азота. Активность ферментов уреазы и пероксидазы чернозёмовидной почвы варьировала в зависимости от использованного препарата и стадии вегетации сои. В ходе вегетационного периода наблюдается увеличение активности уреазы и снижение активности пероксидазы. Максимальная активность уреазы, как и содержание аммонийного азота, была достигнута в варианте с Атува + Премакс на стадии созревания семян. В варианте с инокуляцией Атува + Премакс было зарегистрировано наибольшее количество (92 шт.) и масса сухого вещества (360 мг) клубеньков на одно растение. Наивысший урожай сои составил 2,7 т/га в варианте с Атува + Премакс. Высокую рентабельность (142-143 %) показали варианты с обработкой семян препаратами БиоБеСта и Атува + Премакс

The article presents data of the complex assessment of the use of rhizobial preparations (BioBeStA, Hicoat Super Soy + Hicoat Super Extender, Atuva + Premax) in soybean cultivation in the southern agricultural zone of the Amur Region. Field experiments were conducted in 2022-2023 at the experimental field of the Far Eastern State Agrarian University. The object of the study is the Debut soybean variety. It has been established that the use of rhizobial preparations helps to reduce ammonium nitrogen in the soil and does not affect the content of nitrate nitrogen. The enzymatic activity of urease and peroxidase in meadow chernozem-like soil depended on the preparation used and the soybean development phase. During the growing season, the activity of urease in the soil increases, while that of peroxidase decreases. The highest urease activity, as well as the content of ammonium nitrogen, was noted in the variant with Atuva + Premax in the seed ripening phase. In the variant with inoculation with Atuva + Premax, the number (92 pcs.) and dry matter weight (360 mg) of nodules per plant was the highest. The highest soybean yield was obtained in the variant with Atuva + Premax – 2,7 t/ha. Variants with seed treatment with BioBeStA and Atuva + Premax showed high profitability (142-143%)

Ключевые слова: СОЯ, РИЗОБИАЛЬНЫЕ ПРЕПАРАТЫ, АЗОТНЫЙ РЕЖИМ, УРЕАЗА, ПЕРОКСИДАЗА, СИМБИОТИЧЕСКАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ, УРОЖАЙНОСТЬ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords: SOYBEAN, RHIZOBIAL PREPARATIONS, NITROGEN REGIME, UREASE, PEROXIDASE, SYMBIOTIC NITROGEN FIXATION, YIELD, ECONOMIC EFFICIENCY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-025>

Введение. Соя проявляет высокую потребность в азоте, особенно в фазы цветения и образования бобов. Как культура из семейства бобовых, она значительно удовлетворяет свои потребности в азоте за счёт симбиотического процесса фиксации азота.

Существует точка зрения, что в начальный период роста сое необходима стартовая доза азотных удобрений, так как клубеньки начинают формироваться только через 20-25 дней после всходов. Согласно другому мнению, молодые растения до образования клубеньков выносят из почвы всего 5-10 кг азота с гектара, поэтому не нуждаются во внесении минеральных азотных удобрений [1]. Известно, что минеральный азот может приводить к уменьшению численности клубеньковых бактерий, снижению активности уже образовавшихся клубеньков. В присутствии минерального азота все углеводы используются самим растением и не попадают в клубеньки. Правильное использование для питания растений биологического азота вместо минерального азотного удобрения снижает экономические затраты и не вызывает загрязнения окружающей среды.

В почвах Амурской области распространены природные популяции клубеньковых бактерий, представленные двумя родами *Bradyrhizobium* и *Sinorhizobium*, во многом это связано с произрастанием в регионе дикорастущей сои и длительным возделыванием культурной сои [4]. Однако активность спонтанных форм симбиотических азотфиксаторов не всегда бывает достаточно высокой, поэтому немаловажное значение имеет искусственная инокуляция семян.

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/25.pdf>

В настоящее время сельхозпроизводителям предлагается широкий ассортимент ризобияльных препаратов (инокулянтов), различающихся по штаммам, по видам бактерий и по препаративным формам. В Амурской области АО «Аметис» в промышленных масштабах производит микробиологическое удобрение БиоБеСтА, содержащее высокоактивные штаммы клубеньковых бактерий. Поэтому этот препарат тоже был включён в исследование.

Цель данного исследования заключается во всесторонней оценке использования ризобияльных препаратов при возделывании сои в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области.

Материалы и методы исследований. Полевые эксперименты проводились в 2022-2023 гг. на опытном поле Дальневосточного ГАУ, расположенном в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области.

Почва опытного поля луговая чернозёмовидная среднемогучая глинистая, по гранулометрическому составу относится к лёгким и средним крупнопылеватоиловатым глинам. Содержание гумуса – 2,7-3,2 %. Количество азота, фосфора и калия подвижного составляет 13,0-16,0, 36-90, 157-192 мг/кг почвы.

В опытах использовали сорт сои Дебют. Варианты опытов: контроль (без инокуляции); БиоБеСтА (*Bradyrhizobium japonicum*, штаммы АмБ-21 и АмБ-22) – 1,0 л/т; Хайкоут Супер Соя + Хайкоут Супер Экстендер (*Bradyrhizobium japonicum*, штамм 532 С) – 1,42 + 1,42 л/т; Атува + Премакс (*Bradyrhizobium japonicum*, штаммы Semia 5079 и Semia 5080) – 2,0 + 0,5 л/т. Расход рабочего раствора составлял 10 л на тонну семян.

Посев сои производился сеялкой СС – 11 «Альфа», норма высева семян – 450 тыс. шт. на га. Площадь одной делянки составляла 37,5 м². Повторность 4-кратная, расположение делянок систематическое.

В почве под посевами сои были определены нитратный азот (N-NO₃) ионометрическим методом (ГОСТ 26488-85); аммонийный азот (N-NH₄) –

по методу ЦИНАО (ГОСТ 26489-85); активность уреазы (Уре) [3] и пероксидазы (ПО) [2]. Для оценки симбиотической азотфиксации проводился подсчёт количества и массы активных клубеньков инокулированной и неинокулированной сои.

Результаты и обсуждения. Для анализа влияния симбиотической азотфиксации на уровень доступного для растений азота было произведено определение содержания N-NH₄ и N-NO₃ в почве.

Содержание N-NH₄ в почве на всех этапах вегетации сои превышает уровень, и до начала посевного периода оно составляло 13,3 мг/кг почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание аммонийного и нитратного азота в луговой чернозёмовидной почве, мг/кг почвы, среднее за 2022-2023 гг.

Вариант опыта	Перед посевом	Фенологическая фаза			
		третий тройчатый лист	цветение	бобообразование	созревание семян
Контроль	13,3 5,1	$\frac{11,9}{2,9}$	$\frac{9,3}{4,3}$	$\frac{8,2}{3,2}$	$\frac{7,1}{2,6}$
		$\frac{7,1}{2,7}$	$\frac{8,2}{4,3}$	$\frac{6,8}{2,8}$	$\frac{5,0}{2,3}$
Хайкоут Супер Соя + Хайкоут Супер Экстендер		$\frac{10,6}{1,9}$	$\frac{8,7}{3,9}$	$\frac{8,6}{2,8}$	$\frac{4,2}{2,1}$
		$\frac{7,3}{2,4}$	$\frac{8,1}{4,3}$	$\frac{7,4}{2,9}$	$\frac{5,9}{2,4}$
Атува + Премакс		$\frac{0,9}{0,1}$	$\frac{0,5}{0,2}$	$\frac{0,3}{0,2}$	$\frac{0,7}{0,1}$
НСР ₀₅					

Примечание: числитель – аммонийный азот; знаменатель – нитратный азот

На протяжении вегетационного периода сои было зафиксировано уменьшение содержания N-NH₄. К моменту созревания семян его уровень снизился на 47-68 % по сравнению с начальным показателем, и только в контроле он оставался на высоком уровне. Снижение уровня подвижного азота в течение второй половины вегетационного периода (в фазах

цветения и бобообразования) является характерной тенденцией, поскольку в это время наблюдается интенсивное усвоение азота и других питательных веществ растениями сои.

Обработка семян ризобияльными препаратами не изменяла общих закономерностей динамики содержания $N-NO_3$ в почве под посевами сои, которая зависела от потребления растениями, а не от применяемых инокулянтов.

Ферменты играют ключевую роль в азотном цикле почвы, поскольку преобразование азотсодержащих веществ происходит с активным взаимодействием гидролитических ферментов. Уровень активности Уре существенно влияет на азотный баланс почвы, определяет её обеспеченность доступными формами азота и служит важным показателем активности процессов азотной мобилизации.

В луговых чернозёмовидных почвах активность Уре составила 10,3 мг $N-NH_3$ на 10 г почвы за 24 часа, характеризуется как слабая. Это свидетельствует о медленно происходящих в почве процессах разложения карбамида и, следовательно, низкой потенциальной способности к самоочищению, о бедности питательных элементов (прежде всего, углерода и азота).

Динамика активности Уре в течение вегетационного периода сои следующая: к фазе цветения ферментативная активность снижается относительно значений до посева, а затем повышается и достигает своего максимума (рис. 1). Прослеживается обратная взаимосвязь активности Уре с содержанием аммонийного азота в почве. Наиболее высокая активность в варианте с обработкой семян препаратом Атува + Премакс.

Основная роль ПО заключается в контроле биосинтеза гумусовых кислот через катализирование реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием H_2O_2 . Максимальная активность ПО в почве наблюдается в фазе цветения (рис. 2), однако к стадии созревания

семян она снижается на 5-40 %. Это снижение происходит из-за уменьшения деятельности микроорганизмов и завершения роста растений. Наивысшие показатели активности были зарегистрированы в вариантах с применением инокулянтов Хайкоут Супер Соя + Хайкоут Супер Экстендер и Атува + Премакс.

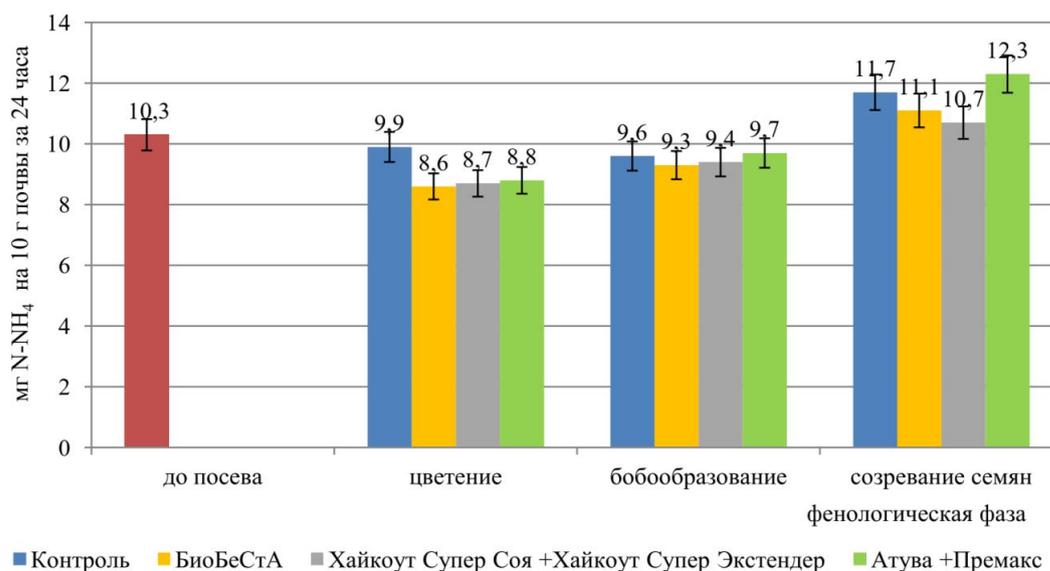


Рисунок 1 – Динамика активности уреазы луговой чернозёмовидной почвы, среднее за 2022-2023 гг.

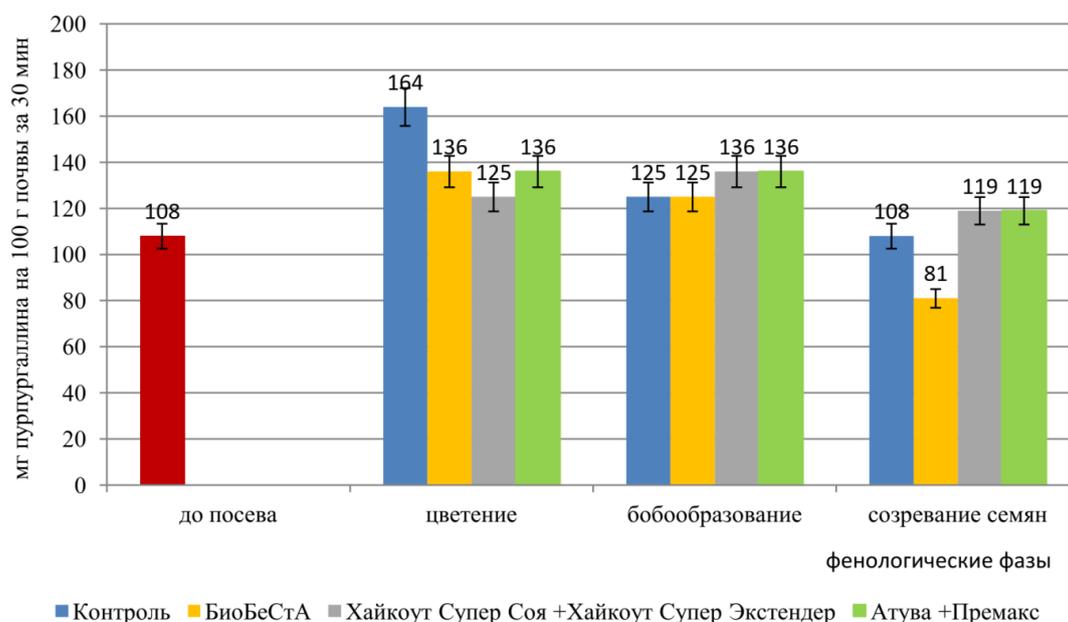


Рисунок 2 – Динамика активности пероксидазы луговой чернозёмовидной почвы, среднее за 2022-2023 гг.

Метеорологические особенности вегетационного периода в годы исследований оказали влияние на развитие симбиотического аппарата сои. В 2023 году количество клубеньков и их масса на растениях сои были выше, чем 2022 году. Объясняется это различиями гидротермических условий летнего периода: в 2023 году наблюдалась высокая влагообеспеченность растений в период формирования клубеньков. Однако закономерность формирования симбиотического аппарата была идентичной и зависела от применяемых ризобиальных препаратов.

Интенсивное образование клубеньков происходило в фазы цветения и образования бобов. Отмирание симбиотического аппарата совпадало с началом опадения листьев. В период цветения количество клубеньков на одно растение превышало контрольные показатели на 4-20 %.

Наибольшее количество клубеньков было зарегистрировано в фазе формирования бобов с инокуляцией препаратом Атува + Премакс, при котором количество клубеньков на одно растение достигло 92 штук, а их масса сухого вещества составила 360 мг.

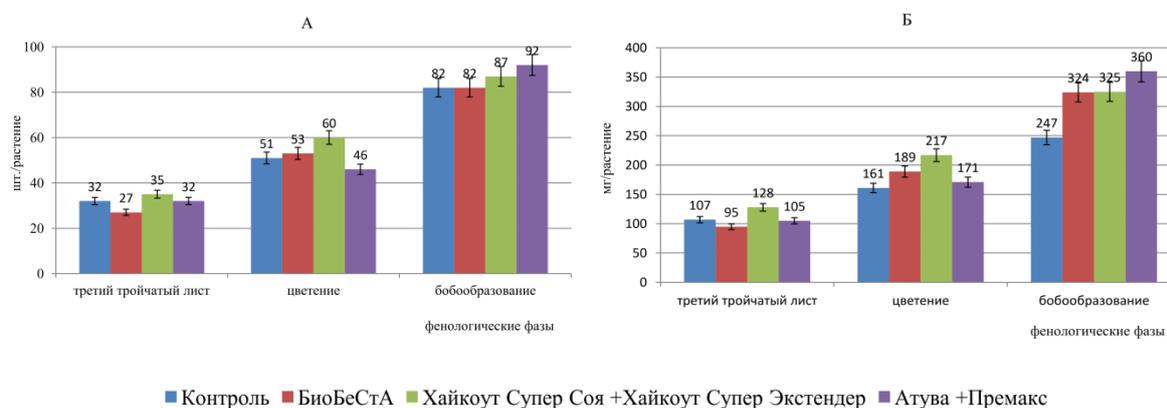


Рисунок 3 – Динамика изменения количества (А) и массы сухого вещества (Б) клубеньков, среднее за 2022-2023 гг.

В ходе исследований все используемые препараты продемонстрировали положительное влияние на урожайность сои, однако степень их воздействия варьировалась. Наибольший прирост урожайности

обеспечила обработка семян инокулянтом Атува + Премакс, он составил 0,7 тонн на гектар. Немного меньший прирост урожайности был зафиксирован при использовании БиоБеСтА и составил 0,6 тонн на гектар (рис. 4).

При использовании ризобиальных препаратов для обработки семян различия в производственных затратах объясняются расходами на приобретение самих препаратов и затратами на процесс обработки.

Использование инокулянта БтоБеСтА приводит к увеличению затрат на 2,8 %, однако при этом наблюдается повышение урожайности на 30 %, что даёт дополнительный доход в размере 6651 руб./га. В случае применения инокулянта Атува + Премакс затраты возрастают на 7,3 %, а урожайность увеличивается на 35 %, что приводит к чуть большему дополнительному доходу – 7691 руб./га (рис. 4). Рентабельность использования ризобиальных препаратов в данных вариантах находилась на уровне 142-143 %.

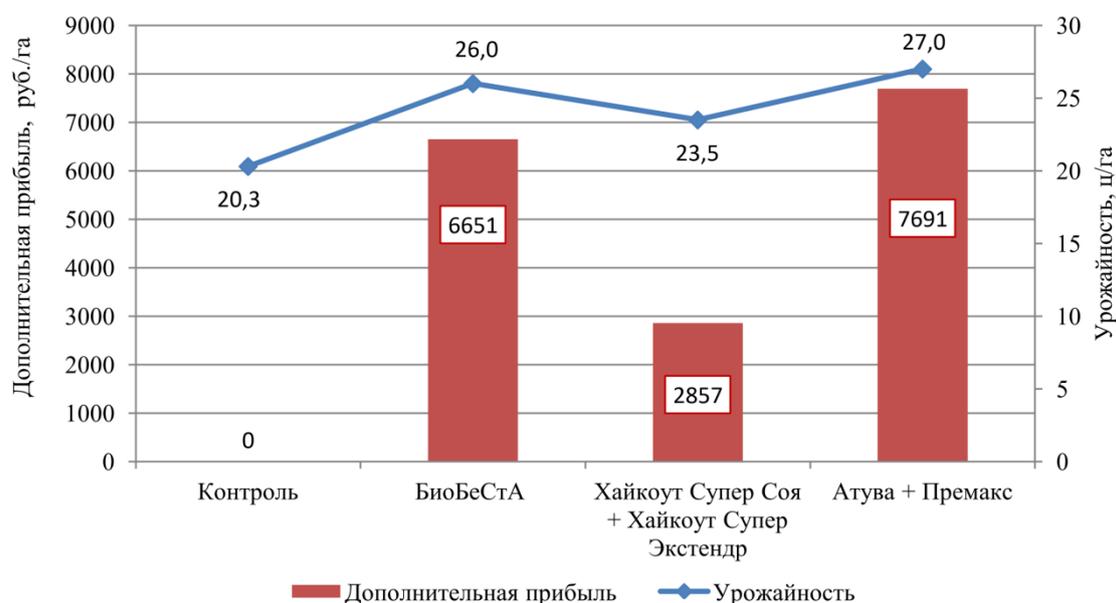


Рисунок 4 – Экономическая эффективность применения ризобиальных препаратов при выращивании сои (1 га)

Заключение. Использование ризобийных препаратов не способствует накоплению аммонийного азота в почве, а даже наоборот приводит к его снижению. В то же время, наличие нитратного азота в почве не претерпевает значительных изменений, что может указывать на его стабильность при обработке инокулянтами.

Динамика ферментативной активности луговой чернозёмовидной почвы также зависела от типа ризобийного препарата и стадии развития сои. Это подчёркивает важность выбора подходящих препаратов и учёта сроков их применения для оптимизации условий роста сои и улучшения её питания. В течение вегетационного периода активность уреазы в почве возрастает, а пероксидазы – снижается. Отмечено, что препарат Атува + Премакс способствует увеличению активности уреазы.

Обработка семян ризобийными препаратами привела к увеличению количества и массы сухого вещества клубеньков, особенно в варианте с Атува + Премакс. Наибольшая урожайность сои получена от обработки Атува + Премакс (2,7 т/га), за счёт увеличения количества и массы семян.

Анализ рентабельности обработки семян с использованием препаратов БиоБеСтА и Атува + Премакс демонстрирует их эффективность в условиях Амурской области. Высокая рентабельность, достигнутая благодаря сочетанию низкой стоимости препаратов и высокого уровня урожайности, подтверждает целесообразность их применения.

Данные результаты могут быть полезны для агрономов и исследователей в области эффективного применения ризобийных препаратов, направленных на увеличение урожайности и улучшение здоровья почвы.

Список литературы

1. Ващенко, А.П. Соя на Дальнем Востоке / А.П. Ващенко, Н.В. Мудрик, П.П. Фисенко и др. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 435 с.
2. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – Москва: Наука, 2005. – 252 с.
3. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 122 с.
4. Якименко, М.В. Сохранение коллекции чистых культур *B. japonicum*, *S. fredii*, *B. elkanii* селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои / М.В. Якименко, А.И. Сорокина, И.Ю. Татаренко // Агронаука. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 14-22.

References

1. Vashhenko, A.P. Soja na Dal'nem Vostoke / A.P. Vashhenko, N.V. Mudrik, P.P. Fisenko i dr. – Vladivostok: Dal'nauka, 2010. – 435 s.
2. Haziev, F.H. Metody pochvennoj jenzimologii / F.H. Haziev. – Moskva: Nauka, 2005. – 252 s.
3. Shherbakova, T.A. Fermentativnaja aktivnost' pochv i transformacija organicheskogo veshhestva / T.A. Shherbakova. – Minsk: Nauka i tehnika, 1983. – 122 s.
4. Jakimenko, M.V. Sohranenie kolekcii chistyh kul'tur *B. japonicum*, *S. fredii*, *B. elkanii* selekcii FGBNU FNC VNII soi / M.V. Jakimenko, A.I. Sorokina, I.Ju. Tatarenko // Agronauka. – 2023. – T. 1, № 1. – С. 14-22.