

УДК 631.461.1:633.34

UDC 631.461.1:633.34

4.1.1 – Общее земледелие, растениеводство
(сельскохозяйственные науки)

4.1.1 General farming, crop production (agricultural sciences)

**РОЛЬ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В
БИОЛОГИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
НА ПРИМЕРЕ СОИ В УСЛОВИЯХ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

**THE ROLE OF NITROGEN-FIXING BACTERIA
IN AGRICULTURAL BIOLOGIZATION USING
THE EXAMPLE OF SOYBEANS IN THE
KRASNODAR REGION**

Коновалов Михаил Геннадиевич
старший преподаватель
SPIN-код автора: 3578-1708

Kononov Mikhail Gennadievich
Senior Lecturer
Author's SPIN code: 3578-1708

Батурьян М.А.
кандидат филологических наук, доцент
SPIN-код автора: 8262-0135

Baturyan M.A.
Candidate of Philological Sciences, Associate
Professor, Author's SPIN code: 8262-0135

Исаева Людмила Аркадьевна
кандидат экономических наук, доцент
SPIN-код автора: 3431-1044

Isaeva Lyudmila Arkadievna
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Author SPIN code: 3431-1044

Тавадов Андраник Ситракович
студент
SPIN-код автора: 8002-7767

Tavadov Andranik Sitrakovich
Student
Author's SPIN code: 8002-7767

Зайченко Илья Сергеевич
студент
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина. Россия,
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13*

Zaychenko Ilya Sergeevich
Student
*FGBOU VO "Kuban State Agrarian University"
Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilin. Russia, 350044, Krasnodar, Kalinina, 13*

В работе рассматривается роль азотфиксирующих бактерий в биологизации сельского хозяйства на примере выращивания сои в условиях Краснодарского края. Основное внимание уделяется механизмам взаимодействия бактерий с растениями, их способности фиксировать атмосферный азот и обеспечивать культуру необходимыми питательными веществами. Результаты исследования могут быть полезны для разработки и внедрения инновационных агротехнических приёмов, направленных на повышение эффективности и устойчивости севооборота в регионе

The article examines the role of nitrogen-fixing bacteria in the biologization of agriculture using the example of soybean cultivation in the Krasnodar Territory. The main attention is paid to the mechanisms of interaction between bacteria and plants, their ability to fix atmospheric nitrogen and provide the crop with the necessary nutrients. The results of the study can be useful for the development and implementation of innovative agricultural techniques aimed at increasing the efficiency and sustainability of soybean farming in the region

Ключевые слова: СОЯ, КЛУБЕНЬКОВЫЕ
БАКТЕРИИ, RHIZOBIUM, АЗОТФИКСАЦИЯ,
БИОЛОГИЗАЦИЯ, ПЛОДОРОДИЕ, ГУМУС

Keywords: SOYBEANS, NODULE BACTERIA,
RHIZOBIUM, NITROGEN FIXATION,
BIOLOGIZATION, FERTILITY, HUMUS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-212-042>

Введение

Современное сельское хозяйство стоит перед необходимостью фундаментального пересмотра традиционных подходов к землепользованию, вызванных глобальными изменениями климата, увеличением численности населения и истощением природных ресурсов. В ответ на эти проблемы научные и аграрные сообщества активно разрабатывают и внедряют инновационные технологии, направленные на повышение устойчивости и эффективности сельскохозяйственного производства [1].

Селекционные исследования также играют важную роль в адаптации сельского хозяйства к изменяющимся условиям. Ежегодно выводятся новые сорта и гибриды культурных растений, обладающие повышенной устойчивостью к засухе, экстремальным температурам, болезням и вредителям. Научные достижения в области генетики и молекулярной биологии открывают перспективы создания растений с улучшенными характеристиками, такими как высокая урожайность, низкое содержание токсинов и способность к более эффективному использованию воды [5].

На основе многолетних исследований и полевых экспериментов ученые анализируют полученные данные и разрабатывают рекомендации по применению передовых технологий в сельскохозяйственном производстве. Особое внимание уделяется методам биологизации, которые направлены на снижение зависимости от химических удобрений и пестицидов, а также на улучшение экологического состояния агроландшафтов [1, 3].

Биологизированные системы земледелия, основанные на глубоком понимании экологических взаимосвязей в агроценозах, предлагают принципиально новый путь развития аграрного производства. В условиях Краснодарского края с его уникальными черноземными почвами особую актуальность приобретает разработка и внедрение биологизированных

технологий возделывания сои – стратегически важной культуры для обеспечения белковой безопасности региона [2].

Основу биологизированного подхода составляет комплексное использование природных механизмов саморегуляции агроэкосистем. В отличие от традиционного земледелия, ориентированного на химические средства интенсификации, биологизированные системы делают акцент на активизации почвенной биоты, оптимизации биологического круговорота веществ и создании устойчивых растительных сообществ. Применительно к сое это означает максимальное использование ее уникальной способности к симбиозу с азотфиксирующими бактериями *Rhizobium*, что позволяет существенно снизить зависимость от минеральных азотных удобрений [2].

Особое внимание в рамках биологизации сельского хозяйства уделяется севообороту и микробиологическим инокулянтам. Севооборот позволяет поддерживать биологическое разнообразие в агроэкосистемах, что способствует повышению устойчивости к вредителям и болезням. Микробиологические инокулянты, содержащие полезные микроорганизмы, способствуют улучшению симбиотических отношений между растениями и микроорганизмами, что приводит к повышению урожайности и качества продукции [4].

Материалы и обсуждения

Черноземы Краснодарского края с их высоким содержанием гумуса, оптимальной реакцией среды (pH 6,5-7,2) и благоприятной структурой представляют идеальную основу для развития биологизированных систем земледелия. Однако многолетняя интенсивная эксплуатация этих почв привела к существенному снижению активности аутохтонной микрофлоры, включая азотфиксирующие бактерии. Это обуславливает необходимость целенаправленного внесения высокоэффективных бактериальных препаратов как ключевого элемента биологизированных технологий.

В агроценозах благодаря симбиотической азотфиксации, осуществляемой клубеньковыми бактериями *Rhizobium*, накапливается от 50 до 150 кг/га азота при культивировании зернобобовых культур, таких как горох и соя, и до 350 кг/га при возделывании многолетних трав, например, люцерны. Азотфиксирующие бактерии обитают как в симбиозе с корнями растений, так и в свободном состоянии в верхних слоях почвы.

Технология применения биопрепаратов в биологизированных системах имеет свои особенности. Обязательным условием является предпосевная обработка семян с использованием органических прилипателей на основе природных компонентов – молозива или патоки, которые не угнетают микроорганизмы, в отличие от синтетических клеящих веществ. Важным элементом биологизированной технологии становится внесение бактериальных препаратов не только при посеве, но и в систему основной обработки почвы, что способствует формированию устойчивого микробного ценоза в корнеобитаемом слое.

Особенностью биологизированных систем является их комплексное воздействие на агроценоз. Помимо обеспечения растений доступным азотом, они способствуют формированию мощной корневой системы сои, увеличивая ее устойчивость к засухам, которые нередки в условиях Краснодарского края во второй половине лета. Установлено, что растения, выращенные по биологизированным технологиям, демонстрируют повышенную устойчивость к патогенам за счет активизации естественных защитных механизмов, что снижает необходимость применения химических средств защиты.

Также представители бобовых культур являются отличным предшественником для последующих сельскохозяйственных культур. Так как бобовые культуры улучшают структуру и влагоемкость почвы. Симбиотические отношения с бактериями *Rhizobium* способствует накопления атмосферного азота в почве, снижают заболевание растений и

делает их более устойчивыми. Обработка биопрепаратами на основе клубеньковых бактерий способствует увеличению урожайности, повышению качества возделываемой культуры, снижает затраты на возделывание культуры.

На рисунке 1 наглядно изображена схема фиксации атмосферного азота, которая представляет собой сложный биохимический процесс, в ходе которого атмосферный азот (N_2) восстанавливается до аммиака (NH_3). Этот процесс катализируется ферментным комплексом нитрогеназой, который синтезируется азотфиксирующими микроорганизмами. Наиболее значимыми азотфиксаторами являются представители рода *Rhizobium*, которые вступают в симбиотические отношения с бобовыми растениями, такими как горох, соя и люцерна.

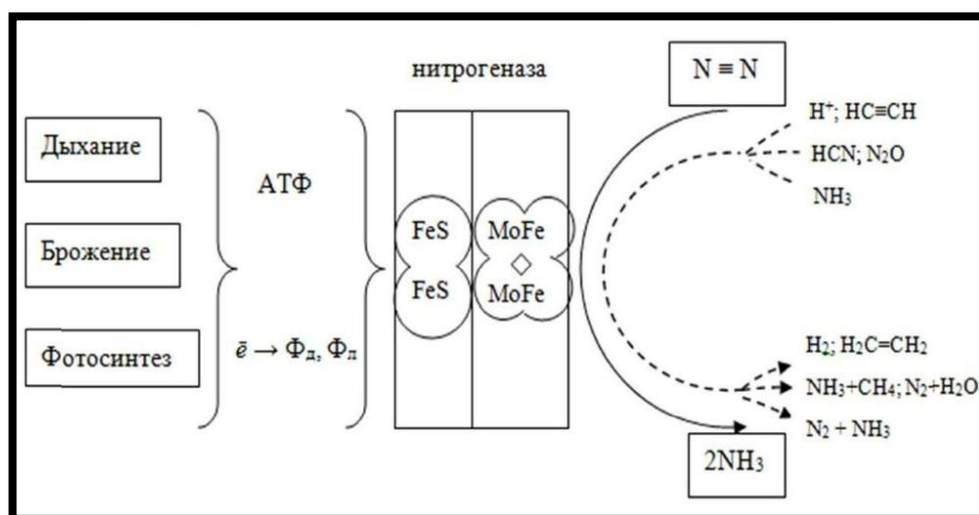


Рисунок 1 – Схема фиксации атмосферного азота

Симбиотическое взаимодействие между представителями семейства бобовых (Fabaceae) и бактериями рода *Rhizobium* приводит к образованию специализированных клубеньковых структур на корневой системе растений-хозяев, изображено на рисунке 2. Эти морфологические образования создают уникальную микроаэрофильную среду, необходимую для каталитической активности нитрогеназного ферментного комплекса. В ходе биологической фиксации атмосферного азота происходит его

ферментативное восстановление до аммонийной формы (NH_4^+), которая затем ассимилируется растением через глутаминсинтетазный путь и включается в процессы биосинтеза аминокислот и других азотистых метаболитов.



Рисунок 2 – Клубеньки *Rhizobium* на корневой системе сои

Нитрогеназный мультиферментный комплекс представляет собой высокомолекулярный белковый ансамбль, состоящий из двух функционально дополняющих компонентов: молибден-железосодержащего белка (нитрогеназа) и железосодержащего белка (нитрогеназа-редуктаза). Каталитическая активность данного комплекса позволяет преодолевать высокую энергию активации тройной связи $\text{N}\equiv\text{N}$, характерной для молекулярного азота, что делает возможным его биологическое восстановление при стандартных условиях. Однако данный процесс сопряжен со значительными энергозатратами - для восстановления одной молекулы N_2 требуется 16 молекул АТФ.

Морфологическая характеристика активных азотфиксирующих клубеньков включает наличие специфической розовой пигментации (рис. 3), обусловленной присутствием леггемоглобина - симбиотического железосодержащего белка класса гемопротеинов. Структурная организация леггемоглобина демонстрирует значительное сходство с кислород-

связывающими белками животных (миоглобин, гемоглобин), что свидетельствует о конвергентной эволюции данных молекул. Физиологическая роль леггемоглобина в симбиотической системе заключается в создании оптимального кислородного режима: Транспорт кислорода к дыхательной цепи бактериальных клеток; Поддержание строго контролируемой концентрации O_2 в зоне локализации нитрогеназы (~ 10 нМ); Предотвращение оксидативного повреждения нитрогеназного комплекса.

Биохимические исследования подтверждают, что даже кратковременное повышение парциального давления кислорода приводит к необратимой инактивации нитрогеназы, что подчеркивает критическую важность буферной функции леггемоглобина в поддержании азотфиксирующей активности.



Рисунок 3 –Клубеньковые бактерии *Rhizobium* в разрезе

Перспективы развития биологизированных систем земледелия в Краснодарском крае связаны с созданием адаптированных к местным условиям микробных комплексов. Особый интерес представляют разработки, учитывающие специфику различных подтипов черноземов, распространенных в регионе - от выщелоченных на севере до обыкновенных в центральной части края. Важным направлением является

создание препаратов пролонгированного действия, устойчивых к экстремальным погодным условиям, которые характерны для региона в последние годы.

Внедрение биологизированных систем требует решения ряда организационных и методических задач. Необходима разработка региональных стандартов применения биопрепаратов, создание системы контроля их качества, обучение специалистов новым подходам к возделыванию сои. Особое значение приобретает мониторинг состояния почвенной микробиоты, который должен стать обязательным элементом агротехнического сопровождения культуры

Выводы

1. Интеграция современных технологий и методов биологизации в сельское хозяйство открывает новые возможности для устойчивого развития аграрного сектора. Внедрение этих подходов позволяет не только повысить эффективность производства, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду, что является важным фактором в условиях глобальных климатических изменений и ограниченности природных ресурсов.

2. Применение азотфиксирующих бактерий в биологизированных системах земледелия позволяет существенно снизить зависимость соеводства от минеральных азотных удобрений, обеспечивая при этом стабильную урожайность и высокое качество зерна.

Литература

1. Влияние биологизированных технологий на биометрические показатели озимой пшеницы сорта Граф в условиях Краснодарского края / Е. Н. Ничипуренко, Т. Д. Федорова, К. В. Иващенко [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 191. – С. 173-183.

2. Комаров, Д. О. Влияние технологии возделывания сои в низинно-западном агроландшафте Центральной зоны Краснодарского края на динамику гумуса и оструктуривание почвы / Д. О. Комаров, А. С. Тавадов, В. Н. Гладков // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 79-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2023 год. В 2-х частях,

Краснодар, 25 апреля 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 50-52.

3. Оценка экономической эффективности применения органоминеральных удобрений BIOTENCE на озимом ячмене сорта «Иосиф» в условиях Центральной зоны Краснодарского края / А. С. Тавадов, И. В. Грекова, Е. Н. Ничипуренко, Л. А. Исаева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 207. – С. 227-234.

4. Тавадов, А. С. Влияние различных доз подкормок на продуктивность озимой пшеницы / А. С. Тавадов, В. Н. Гладков // Виртуозы науки : Сборник тезисов Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных за 2023 г, Краснодар, 06–15 ноября 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 306-308.

5. Тавадов, А. С. Влияние технологии выращивания на продуктивность сахарной свеклы гибрида «Азимут» / А. С. Тавадов, Е. Н. Ничипуренко, А. А. Магомедтагиров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 208. – С. 157-166.

Literature

1. Vlijanie biologizirovannyh tehnologij na biometricheskie pokazateli ozimoy pshenicy sorta Graf v uslovijah Krasnodarskogo kraja / E. N. Nichipurenko, T. D. Fedorova, K. V. Ivashhenko [i dr.] // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 191. – S. 173-183.

2. Komarov, D. O. Vlijanie tehnologii vozdeľyvanija soi v nizinnno-zapadnnom agrolandshafte Central'noj zony Krasnodarskogo kraja na dinamiku gumusa i ostrukturivanie pochvy / D. O. Komarov, A. S. Tavadox, V. N. Gladkov // Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa : Sbornik statej po materialam 79-j nauchno-prakticheskoy konferencii studentov po itogam NIR za 2023 god. V 2-h chastjah, Krasnodar, 25 aprelja 2024 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina, 2024. – S. 50-52.

3. Ocenka jekonomicheskoy jeffektivnosti primenenija organomineral'nyh udobrenij BIOTENCE na ozimom jachmene sorta «Iosif» v uslovijah Central'noj zony Krasnodarskogo kraja / A. S. Tavadox, I. V. Grekova, E. N. Nichipurenko, L. A. Isaeva // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2025. – № 207. – S. 227-234.

4. Tavadox, A. S. Vlijanie razlichnyh doz podkormok na produktivnost' ozimoy pshenicy / A. S. Tavadox, V. N. Gladkov // Virtuozy nauki : Sbornik tezisov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodyh uchjonyh za 2023 g, Krasnodar, 06–15 nojabrja 2023 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina, 2024. – S. 306-308.

5. Tavadox, A. S. Vlijanie tehnologii vyrashhivaniya na produktivnost' saharnoj svekly gibrida «Azimut» / A. S. Tavadox, E. N. Nichipurenko, A. A. Magomedtagirov // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2025. – № 208. – S. 157-166.