

Обзорная статья / Review article

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-219-231>

УДК 633/635:502/504



Интеграция биоресурсов в растениеводство: краткий обзор

Х.А. Хусайнов✉, А.В. Тунтаев, Ф.Д. Елмурзаева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»;
г. Грозный, Российская Федерация
✉ironlag@mail.ru

Аннотация. Введение. Непрерывное возделывание земли без соразмерного восполнения питательных веществ приводит к снижению производительности почвы из-за истощения необходимых питательных веществ, поддерживающих рост и развитие сельскохозяйственных растений. Это также вызывает дисбаланс в экосистеме, что приводит к снижению продуктивности земель и, в конечном итоге, к ухудшению как количества, так и качества сельскохозяйственной продукции. Биоресурсы – это природные, безопасные и легкодоступные продукты, которые считаются основным центром биоэкономики. Биоресурсы, получаемые из растений, животных и микроорганизмов, играют ключевую роль в замене синтетических ресурсов природными альтернативами. **Цель исследования.** Данного обзора – выявить использование ключевых биоресурсов, таких как биодоброения и биопестициды, в качестве альтернативы химическим продуктам для создания безопасной и устойчивой сельскохозяйственной системы. **Объекты и методы исследования.** Исследования основана на теоретических и прикладных трудах российских ученых. Используются статистический и сравнительный анализы, обобщение, синтез и прогнозирование. **Результаты и обсуждение.** Подчеркнута центральная роль биоресурсов в развитии растениеводства по направлению обеспечения устойчивости, адаптации к изменению климата и продовольственной безопасности. Благодаря интеграции биоресурсов растительного, животного и микробного происхождения органические системы могут значительно снизить зависимость от синтетических материалов, одновременно повышая плодородие почв, устойчивость к патогенам и экологическую стабильность. Отмечен потенциал этих биологических продуктов в стимулировании роста почвенных микроорганизмов, продуктивности растений. Поэтому продуктивное использование биоресурсов считается стратегически важным для достижения безопасного и устойчивого производства продуктов питания. **Заключение.** Данный обзор поможет заинтересованным сторонам выявить передовой опыт, повысить эффективность использования биоресурсов и, в конечном итоге, будет способствовать более широкому внедрению и масштабированию устойчивых сельскохозяйственных систем во всем мире.

Ключевые слова: биоресурсы, растениеводство, биодоброения, биопестициды, микробные инокулянты, устойчивость к изменению климата, экосистема

Для цитирования: Хусайнов Х.А., Тунтаев А.В., Елмурзаева Ф.Д. Интеграция биоресурсов в растениеводство: краткий обзор. *Новые технологии / New technologies*. 2025; 21(4): 219-231. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-219-231>

Integration of bioresources into crop production: a brief review

H.A. Husainov✉, A.V. Tuntayev, F.D. Elmurzaeva

Chechen Research Institute of Agriculture; Grozny, the Russian Federation
✉ironlag@mail.ru

© Х.А. Хусайнов, А.В. Тунтаев, Ф.Д. Елмурзаева, 2025

Abstract. Introduction. Continuous cultivation without adequate nutrient replenishment leads to decreased soil productivity due to the depletion of essential nutrients that support the growth and development of agricultural plants. This also causes an imbalance in the ecosystem, leading to decreased land productivity and, ultimately, a decline in both the quantity and quality of agricultural production. Bioresources are natural, safe, and readily available products that are considered to be the core of the bioeconomy. Bioresources derived from plants, animals, and microorganisms play a key role in replacing synthetic resources with natural alternatives. The goal of the research was to identify the use of key bioresources, such as biofertilizers and biopesticides, as an alternative to chemical products to create a safe and sustainable agricultural system. **The objects and methods of research.** The research was based on the theoretical and applied works of Russian scientists. Statistical and comparative analyses, generalization, synthesis, and forecasting were used. **The results and discussion.** The central role of bioresources in the development of crop production in the direction of ensuring sustainability, adaptation to climate change, and food security were emphasized. Integration of bioresources of plant, animal, and microbial origin, organic systems can significantly reduce dependence on synthetic materials, while simultaneously increase soil fertility, pathogen resistance, and environmental stability. The potential of these biological products to stimulate the growth of soil microorganisms and plant productivity has been noted. Therefore, the productive use of bioresources is considered strategically important for achieving safe and sustainable food production. **Conclusion.** The research will help stakeholders identify best practices, improve the efficiency of bioresource use, and ultimately facilitate the wider adoption and scaling of sustainable agricultural systems worldwide.

Keywords: bioresources, crop production, biofertilizers, biopesticides, microbial inoculants, climate change resilience, ecosystem

For citation: Husainov H.A., Tuntayev A.V., Elmurzaeva F.D. Integration of bioresources into crop production: a brief review. *Novye tehnologii / New Technologies*. 2025; 21(4): 219-231. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-219-231>

Введение. Современные меры восполнения питательных веществ почвы с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур включают использование биологических ресурсов, которые являются естественными доступными продуктами и могут быть продуктивно использованы в устойчивом сельском хозяйстве [1]. Биоресурсы можно в широком смысле определить как возобновляемые и биоразлагаемые биологические материалы, полученные из растений, животных и микроорганизмов, которые могут быть использованы человеком напрямую или косвенно для различных полезных целей [2]. Следовательно, биоресурсы считаются основным центром биоэкономики. К ним относятся такие материалы, как растительные остатки, побочные продукты животного происхождения, микробная биомасса, лекарственные растения, биологически активные соединения и органические отходы. Благодаря своей возобновляемой природе биоресурсы всё чаще признаются важней-

шими элементами устойчивого сельского хозяйства, производства энергии, управления охраной окружающей среды и фармацевтической промышленности [3].

Значимость биоресурсов обусловлена, прежде всего, их потенциалом в качестве устойчивой альтернативы синтетическим материалам, которые часто негативно влияют на здоровье окружающей среды, биоразнообразие и благополучие человека. Эффективное использование биоресурсов в сельском хозяйстве особенно важно в системах органического земледелия, где минимизация использования синтетических химикатов жизненно важна для поддержания экологического баланса, плодородия почв и устойчивого развития [4].

Цель данного обзора – выявить использование ключевых биоресурсов, таких как биоудобрения и биопестициды, в качестве альтернативы химическим продуктам для создания безопасной и устойчивой сельскохозяйственной системы.

Методология исследования основана на теоретических и прикладных трудах российских ученых. Используются статистический и сравнительный анализы, обобщение, синтез и прогнозирование. Комплексный подход позволяет оценить текущее состояние использования биоресурсов в сельскохозяйственной отрасли, выявить тенденции, а также определить перспективные направления развития с учетом природно-климатических, экономических и социальных факторов.

Результаты и обсуждение. На основании их биологического происхождения и практического применения биоресурсы обычно подразделяются на три основные категории: биоресурсы растительного, животного и микробного происхождения.

Биоресурсы растительного происхождения включают материалы, полученные непосредственно из растений или продуктов растительного происхождения, таких как пожнивные остатки, покровные культуры, сидераты, растительные пестициды (например, экстракты нима, пиретрум), лекарственные растения, эфирные масла и продукты агролесоводства [5]. Эти ресурсы имеют разнообразное применение в сельском хозяйстве, включая борьбу с вредителями и болезнями, улучшение структуры и плодородия почвы, подавление сорняков, а также в качестве источников питательных веществ и органических удобрений [6].

Биоресурсы животного происхождения включают в себя навоз, компост, биодинамические препараты, костную муку, рыбную муку и кровяную муку. Эти биоресурсы широко используются для круговорота питательных веществ и повышения плодородия почв, а также в качестве органических удобрений в устойчивых сельскохозяйственных системах. Правильное управление ими вносит значительный вклад в обогащение почвы органическим веществом, повышение микробной активности и улучшение её физических и химических свойств, тем самым способствуя устойчивой продуктивности [7].

Микробные биоресурсы включают полезные микроорганизмы, такие как бактерии (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*), грибы (*Trichoderma*, *Mycorrhizae*), водоросли и вирусы, которые используются в основном в качестве биоудобрений, биопестицидов, биофунгицидов и стимуляторов роста растений (PGPM). Эти микроорганизмы играют важную роль в устойчивом сельском хозяйстве, повышая доступность питательных веществ, улучшая здоровье растений и их устойчивость к болезням, снижая зависимость от синтетических материалов и способствуя общей устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных культур [8].

Биопрепараты могут использоваться в качестве биопестицидов, биоудобрений, биостимуляторов или стимуляторов биодegradации [9, 10].

Биоудобрения – один из лучших способов увеличить или сохранить текущие темпы производства продуктов питания, обеспечивая при этом экологическую стабильность. Они содержат такие микроорганизмы, как *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium* и *Pseudomonas fluorescens* [11, 12] и/или различные растительные экстракты (фруктов, листьев, микроводорослей) [13]. Биоудобрения улучшают качество почвы и способствуют росту растений за счет синтеза регуляторов роста, биологического контроля фитопатогенов или индукции иммунитета в стрессовых условиях. Они также могут улучшить усвоение труднодоступных элементов благодаря их способности растворять фосфор, калий и цинк [14, 15]. Эффект биопестицидов может быть основан на действии микроорганизмов (например, бактерий, таких как *Bacillus thuringiensis*, или плесени, такой как *Verticillium leconii*, *Metarhizium anisopliae* или *Trichoderma viride*) или растительных экстрактов (например, масла нима, масла цитронеллы или водного экстракта чеснока) [9, 16].

Несмотря на огромный потенциал биоресурсов в устойчивых сельскохозяйственных системах, их интеграция в основные

сельскохозяйственные практики остаётся ограниченной. Следовательно, критический обзор и оценка существующих практик, преимуществ, ограничений и исследовательских пробелов, связанных с использованием биоресурсов, необходимы для содействия их более широкому внедрению. Данный обзор имеет особую актуальность в условиях растущих проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор, связанных с изменением климата, деградацией почв, загрязнением окружающей среды и продовольственной безопасностью.

Биоресурсы как основные компоненты почвы. Почва представляет собой трехфазную систему, которая включает твердую, жидкую и газообразную фазы. Твердая фаза состоит из разнообразной смеси неорганических (40-45%) и органических компонентов (5%), в то время как вода и воздух составляют около 50% объема почвы в жидкой и газообразной фазах соответственно. Хотя количество растительности, доступность воды и плотность почвы различаются, каждый из этих факторов вносит свой вклад в определение хорошей и здоровой почвы, способной поддерживать рост и развитие растений. Почва заслуживает особого внимания, поскольку представляет собой сеть пор, служащую физической и основной средой обитания для всех организмов. Почву также называют биологическим двигателем жизни, поскольку она представляет собой внутреннее пространство, в котором обитают и функционируют все почвенные организмы [17].

Значение почвы, несомненно, огромно, но ее необходимо поддерживать и управлять ею устойчиво как возобновляемым ресурсом. Однако факторы, способствующие эффективному плодородию почвы, разнообразны и сложны. Известно, что почвенная биота вносит огромный вклад в эффективные функции почвы, особенно в поддержание сельскохозяйственного плодородия [18]. Более того, биомасса, хотя и составляет небольшую долю от общей массы

почвы, оказывает большее влияние на ее функции. Она представляет собой биологические компоненты, которые полностью взаимодействуют в серии сложных механизмов для рециркуляции питательных веществ и обеспечения непрерывного функционирования почвы. Гетерогенная пористая матрица, которая создается неровной структурой почвы, действует как среда обитания для почвенных организмов, что влияет на поступление органических веществ. Однако микробиота оказывает либо прямое, либо косвенное влияние на структуру почвы, включая перемещение, выравнивание и прилипание первичных частиц вдоль поверхностей клеток или гиф, силу сцепления, создаваемую сцеплением колоний, метаболитами или экссудатами, такими как внеклеточные полисахариды, покрытие стенок пор гидрофобными веществами, такими как изолирующие полимеры грибкового мицелия, а также спутывание и связывание структур роста, таких как грибные гифы [19].

Различные ключевые факторы определяют экосистемное обслуживание почвенной биоты: целостность структуры почвы, круговорот углерода, круговорот питательных веществ, биотическая регуляция и т. д. Сама почва состоит из нескольких компонентов, включая глину, соль и песчаные фракции, и образовалась в результате различных биогеохимических изменений, которые включают выветривание. Как органические, так и минеральные компоненты почвы, объединенные в более крупные единицы, связываются вместе, образуя более крупный масштаб как часть структуры почвы в иерархическом масштабе. Структура почвы также может быть улучшена микроорганизмами из-за их воздействия на органические материалы [20]. Органическое вещество, как потенциальные субстраты, содержащие энергию, связывает частицы почвы вместе, в то время как деградация органического вещества микроорганизмами изменяет структуру почвы и

приводит к потере почвенного углерода. Профили или матрица почвы неразрывно связаны с взаимодействиями между микробными процессами, водой и сетью пор в почве. Более того, в то время как микроорганизмам, таким как простейшие и бактерии, для перемещения необходима водная плёнка, грибы могут распространяться по обширным поверхностям с помощью гиф или мицелия, способных проникать в заполненные воздухом поры. Таким образом, микробы выработали различные способы выживания, такие как аэробное или анаэробное дыхание, чтобы выживать в различных почвенных процессах, таких как метаногенез и денитрификация [8].

Органическое вещество почвы формируется от первичных продуцентов наземной растительности. Это оказывает благоприятное влияние на функцию почвы и сельское хозяйство. Деградированная биомасса модифицируется посредством химических и биологических процессов для обогащения органического вещества почвы, которое служит основным источником энергии для почвенных организмов [21, 22, 23]. Для достижения этого почвенные микроорганизмы должны мигрировать по почвенной матрице, чтобы получить доступ к органическому веществу; это движение затем приводит к формированию структурной почвы и способности почвы действовать как буфер [24]. Биопертурбацию можно считать генезисом и поддерживающим механизмом структуры и функции почвы. Беспозвоночные организмы, такие как черви, муравьи или моллюски, а также корни растений, часто связаны с физическим нарушением твердых почвенных матриц для получения прохода и передвижения, и, тем самым, они также обеспечивают смешивание и распределение существенных почвенных материалов. Растения являются основными производителями связанного углерода. Микробное дыхание уравнивает чистый поток углерода экосистемы [25].

Использование биоресурсов в качестве биоудобрений и биопестицидов. В

результате постоянного и беспрестанного применения химических удобрений изменяют характеристики почвы, делая ее либо более кислой, либо щелочной, что приводит к сокращению количества естественных почвенных микробов, а также влияет на доступность питательных веществ для растений, что, в свою очередь, снижает урожайность. Однако применение полезных микроорганизмов в качестве биоудобрений и биопестицидов, которое в настоящее время привлекает внимание, служит эффективной альтернативой использованию химических продуктов для повышения плодородия почвы и борьбы с сопутствующими вредителями и болезнями. Биоудобрения и биопестициды являются экологически чистыми продуктами и хорошими средствами для комплексных методов восполнения питательных веществ и борьбы с вредителями и болезнями [26, 27].

В отличие от органических удобрений, которые являются компонентами различных сельскохозяйственных отходов, требующих вмешательства микроорганизмов для их разложения из твердого состояния в разложившийся и растворимый материал для более легкого усвоения растениями, биоудобрения и биопестициды состоят из полезных микроорганизмов. Они представляют собой микробные инокулянты, которые состоят из живых клеток микроорганизмов, таких как бактерии, грибы, водоросли или консорциум инокулянтов. Они колонизируют растительную эндосферу или ризосферу при внесении либо на семена, либо на поверхность растений, либо в почву [28]. Биоудобрения, в отличие от органических удобрений, используют естественные процессы растворения фосфора и фиксации азота для увеличения доступных основных питательных веществ для растения-хозяина. Они также активизируют рост растений за счет синтеза веществ, стимулирующих рост. С другой стороны, биопестициды описывают множество веществ от препаратов, содержащих живые микро-

организмы, до ботанических соединений, защитных средств, включаемых в растения, и семиохимических веществ, таких как феромоны [29]. Таким образом, применение биопестицидов не ограничивается применением микробных средств борьбы с вредителями, т.е. грибами, бактериями, вирусами, нематодами и простейшими.

Другим аспектом является использование биоактивных соединений, таких как метаболиты, производимые непосредственно микробами, которые подавляют популяции патогенных организмов. Таким образом, биопестициды приобретают всё большую значимость в борьбе с вредителями, биологическом контроле, агротехнике и новых синтетических технологиях, а также в генетике растений и животных. Они характеризуются своими полезными свойствами, такими как экологичность, меньшая опасность, специфичность к целям, эффективность при низких дозировках, биоразлагаемость и неперсистентность [30].

На данный момент охарактеризовано множество микроорганизмов; их обычно называют ризобактериями, стимулирующими рост растений (PGPR), или грибами, стимулирующими рост растений (PGPF) [31]. Их использование для роста растений и борьбы с болезнями широко поощряется почвоведом [32]. Таким образом, естественная почвенная микрофлора содержит множество PGPR или PGPF, и они представляют собой ключевой элемент интегрированного управления питательными веществами с их применением в качестве биоудобрений, которые могут использоваться в устойчивом сельском хозяйстве. Их можно соответствующим образом формулировать для внесения через семена или почву. Эти препараты, которые включают живые или латентные клетки эффективных штаммов микроорганизмов, способствуют усвоению питательных веществ сельскохозяйственными растениями, взаимодействуя с ризосферой. Они повышают микробиологическую активность почвы, увеличивая количество питательных

веществ, доступных в легкоусвояемом состоянии для растений. Эти потенциальные биоудобрения были классифицированы на основе их роли как азотфиксаторов (*Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azobacter*, сине-зеленые водоросли и *Azolla*), солюбилизаторов фосфата (*Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Burkholderia*, *Aerobacter*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Agrobacterium* и *Erwinia*), поглотителей фосфата (*Mycorrhiza*) и солюбилизаторов цинка (*Bacillus subtilis*, *Thiobacillus thiooxidans* и *Saccharomyces* sp.).

Потенциал почвенных микробных пестицидов связывают с механизмами противодействия атакам патогенов, такими как системная приобретенная резистентность (SAR), система, которая придает растению устойчивость к широкому спектру фитопатогенов и ряду вторичных инфекций. Ряд видов бактерий и грибов были охарактеризованы как микробные пестициды. *Paenibacillus polymyxa* и *Paenibacillus lentimorbus* подавляют галловую нематоду и грибок фузариозного увядания в инфицированных растениях. Были сообщения об ингибирующем и биологическом контролирующем действии штамма *Bacillus pumilus* AR03 против черной ножки табака. Исследованы биостимулирующие эффекты некоторых штаммов ризосферных грибов, таких как *Aspergillus niger*, *Yarrowia lipolytica*, *Talaromyces astroroseus*, *T. harzianum*, *T. purpurogenus*, *Cunninghamella elegans* и других, а также *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* и *P. chlororaphis*, *B. firmus* против почвенных грибов и нематод, *Agrobacterium radiobacter* K84, K1026 против корончатого галла, вызываемого *Agrobacterium tumefaciens*, непатогенного *Ralstonia solanacearum* против патогенных видов и *Trichoderma* spp. против корневой гнили томата, в то время как эффективность грибов арбускулярной микоризы в качестве биоудобрения и биопестицида была отмечена на различных культурах [24].

Кроме того, ботанические пестициды, полученные естественным образом из про-

дуктов на растительной основе, также проявились как эффективные альтернативы обычным синтетическим пестицидам [33, 34]. Например, пестициды на основе нима, пиретрума и эвкалиптового масла широко исследовались для борьбы с сельскохозяйственными вредителями [35]. Однако использование биоудобрений и биопестицидов, в отличие от классического биологического контроля, требует повторных применений на сельскохозяйственных полях или на территориях, зараженных вредителями, потому что они не способны распространяться за пределы обработанной области, и, что более важно, их популяция не является самоподдерживающейся за пределами одного или нескольких вегетационных сезонов [36, 37], за исключением эндوفитов, которые доставляются в семенах или другом материале для размножения, как правило, в виде спрея, полива, гранул или покрытия семян.

Пожнивные остатки и зеленые удобрения. Пожнивные остатки, включая листья, шелуху и стебли, оставленные в поле после уборки урожая, представляют собой обширный и недостаточно используемый биоресурс для повышения плодородия почвы и содержания органического вещества. Эти остатки богаты углеродом и питательными веществами и играют ключевую роль в круговороте питательных веществ, удержании влаги, борьбе с эрозией и повышении микробной активности в органических системах. Внесение этих остатков в почву посредством мульчирования или компостирования может значительно улучшить структуру почвы, её катионообменную способность и микробную биомассу [38]. Однако важно учитывать соотношение углерода к азоту (C/N) в этих материалах, поскольку добавки с высоким содержанием C/N (например, солома зерновых культур) могут привести к временной иммобилизации азота во время разложения.

Тесно связаны с пожнивными остатками зеленые удобрения, которые вклю-

чают выращивание определенных видов растений (в основном бобовых) и заделку их в почву для обогащения азотом и органическими веществами. Некоторые зеленые удобрения и покровные культуры, такие как *Brassica* spp., также известны своим подавляющим нематод действием благодаря высвобождению биологически активных соединений, таких как глюкозинолаты, во время разложения [39].

Аналитическая перспектива. Растительные биоресурсы не только возобновляемы и биоразлагаемы, но и соответствуют модели замкнутого цикла круговорота питательных веществ, лежащей в основе систем органического земледелия. При правильном использовании эти биоресурсы снижают зависимость от синтетических ресурсов, снижают производственные затраты и повышают устойчивость систем земледелия. Однако их полный потенциал остаётся неиспользованным из-за ограниченной осведомлённости, отсутствия технических знаний и изменчивости доступности ресурсов в разных агроэкологических зонах. Исследования, направленные на оптимизацию управления, переработки и применения растительных биоресурсов, могут предложить масштабируемые решения некоторых из основных задач обеспечения устойчивости в современном сельском хозяйстве.

Биоресурсы животного происхождения обеспечивают как агрономические, так и экологические преимущества в системах органического земледелия. Они способствуют накоплению органического углерода в почве (SOC), увеличению микробной биомассы и поддержанию полезной почвенной фауны, такой как дождевые черви и редуценты. Более того, их использование соответствует принципам экономики замкнутого цикла, способствуя переработке сельскохозяйственных отходов для их дальнейшего продуктивного использования. Однако их эффективность зависит от правильного обращения, компостирования и сроков внесения. Чрезмерное

или неправильное использование может привести к дисбалансу питательных веществ, проблемам с запахом или загрязнению воды. Таким образом, интеграция биоресурсов животного происхождения с растительными остатками и микробными инокулянтами обеспечивает более сбалансированную и устойчивую стратегию управления питательными веществами.

Микробные биоресурсы являются динамичными агентами изменений в органическом и регенеративном земледелии. Они опосредуют важнейшие взаимодействия между почвой, растениями и микробами, лежащие в основе круговорота питательных веществ, здоровья почвы и устойчивости экосистемы. В отличие от синтетических добавок, которые часто приводят к деградации почвы, микробные добавки восстанавливают биологический двигатель почвы. Однако их эффективность зависит от pH почвы, влажности, систем земледелия и местных микробных сообществ. Более того, система производства, жизнеспособность и доставка микробных продуктов остаются технически сложными задачами, особенно в различных полевых условиях.

Чтобы полностью раскрыть их потенциал, необходимы дальнейшие исследования в области селекции штаммов, консорциумных инокулянтов и микробиомной инженерии, а также долгосрочные полевые испытания в различных агроэкологических зонах. Интеграция микробных биоресурсов с материалами растительного и животного происхождения обеспечивает синергетический эффект, идеально соответствующий модели циклической экономики питательных веществ, характерной для органического сельского хозяйства.

Выводы. Глобальный переход к устойчивому сельскому хозяйству требует трансформации ресурсоемких систем земледелия в экологически восстанавливающиеся и социально инклюзивные модели. Интеграция биоресурсов в растениеводство представляет собой важнейший шаг в этом переходе,

предлагая решения для управления питательными веществами, борьбы с вредителями и болезнями, обеспечения устойчивости к изменению климата. Однако широкое внедрение и оптимизация методов, основанных на биоресурсах, по-прежнему сдерживаются рядом пробелов в знаниях, политике и институциональных структурах. Существует острая необходимость в оптимизации эффективности и состава биоресурсов. Исследования должны оценивать эффективность микробных инокулянтов, компостных смесей и ботанических биопестицидов в различных агроэкологических зонах. Сравнительные полевые испытания, оценивающие комбинации, дозировки и сроки применения, необходимы для повышения предсказуемости, согласованности и масштабируемости результатов. Критически важно более глубокое понимание взаимодействия почвы, микробиома и биоресурсов. Передовые инструменты, такие как метагеномика и профилирование почвенного микробиома, позволяют выявить, как различные биоресурсы влияют на микробные сообщества, динамику питательных веществ и общее состояние растений. Это понимание поможет в разработке синергетических консорциумов биоресурсов и стратегий долгосрочного повышения плодородия почв.

В настоящем обзоре подчеркивается центральная роль биоресурсов в развитии растениеводства по направлению обеспечения устойчивости, адаптации к изменению климата и продовольственной безопасности. Благодаря интеграции биоресурсов растительного, животного и микробного происхождения органические системы могут значительно снизить зависимость от синтетических материалов, одновременно повышая плодородие почв, устойчивость к патогенам и экологическую стабильность. Данные свидетельствуют о многочисленных преимуществах – от улучшения круговорота питательных веществ и сохранения биоразнообразия до экономических возможностей. Однако их широкое

внедрение по-прежнему сдерживается проблемами в знаниях, непоследовательной политической поддержкой и техническими ограничениями. Для решения этих проблем необходимы междисциплинарные исследования, институциональная поддержка, а также образование и инфраструктура, ориентированные на сельхозтоваропроизводителей. Целостный, учитывающий контекст подход, сочетающий традиционную муд-

рость с научными инновациями, необходим для оптимизации использования биоресурсов. В конечном итоге, эффективная интеграция биоресурсов представляет собой преобразующую возможность для создания регенеративных, циклических и устойчивых сельскохозяйственных систем, соответствующих глобальным целям экологической и социально-экономической устойчивости.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dlamini S.P., Akanmu A.O., Babalola O.O. Rhizospheric microorganisms: The gateway to a sustainable plant health // Front. Sustain. Food Syst. 2022. No. 6. P. 925802.
2. Utilization of agricultural waste biomass and recycling toward circular bioeconomy / Kumar Sarangi P. [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. 2023. Vol. 30. P. 8526-8539.
3. Value addition employing waste bio-materials in environmental remedies and food sector / Taneja A. [et al.] // Metabolites. 2023. No. 13. P. 624.
4. Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective / Ashokkumar V. [et al.] // Fuel. 2022. Vol. 324. P. 124313.
5. Kumar P., Singh J. Harnessing Bioproducts for a Sustainable Circular Economy // In Value Addition and Utilization of Lignocellulosic Biomass: Through Novel Technological Interventions; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2025. P. 263-293.
6. Riseh R.S. Advancing agriculture through bioresource technology: The role of cellulose-based biodegradable mulches // Int. J. Biol. Macromol. 2024. Vol. 255. P. 128006.
7. Enhancing the Fertilizer Value of Cattle Manure Using Organic Resources for Soil Fertility. No. 8. P. 89-107.
8. Microbial Inoculants in Sustainable Agriculture: Advancements, Challenges, and Future Directions / Díaz-Rodríguez A.M [et al.] // Plants. 2025. No. 14. P. 191.
9. Biopesticide consumption in India: insights into the current trends / Chakraborty N. [et al.] // Agriculture. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 557.
10. Влияние бактериального биоудобрения на морфофизиологические показатели горчицы в условиях солевого стресса / Борисова Г.Г. [и др.] // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2025. № 1 (69). С. 4-14.
11. Divya K., Singh R., Thakur I. Response of biofertilizers and foliar application of zinc on yield and economics of lentil (*Lens culinaris*, Fabaceae) // International Journal of Environment and Climate Change. 2023. Vol. 13, No. 9. P. 1040-1045.
12. Vishal S., Singh R., Pradhan A. Influence of biofertilizers and nitrogen on yield and economics of barley (*Hordeum vulgare* L.) // International Journal of Plant and Soil Science. 2023. Vol. 35, No. 17. P. 196-202.
13. Nano-biofertilizers synthesis and applications in agroecosystems / Bairwa P. [et al.] // Agrochemicals. 2023. No. 2 (1). P. 118-134.
14. Оценка влияния микробиологического биоудобрения на урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях склоновых ландшафтов / Михайленко И.И. [и др.] // Аграрная Россия. 2025. № 3. С. 39-42.

15. Федорова Д.Г., Галактионова Л.В. Влияние биоудобрения на водный режим, интенсивность фотосинтеза и урожайность зерновых культур в условиях степного Предуралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 89-97.
16. Narwade J.D., Odaneth A.A. & Lele S.S. Solid-state fermentation in an earthen vessel: *Trichoderma viride* spore-based biopesticide production using corn cobs // Fungal Biology. 2023. Vol. 127 (7/8). P. 1146-1156.
17. Невенчанная Н.М., Шойкин О.Д., Табаченко А.В. Влияние разнотравной системы обработки на свойства почвы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 9. С. 76-82.
18. Круглов Ю.В. Микробное сообщество почвы: физиологическое разнообразие и методы исследования // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 1. С. 46-59.
19. Willer H., Trávníček J., Schlatter B. The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2025; International Federation of Organic Agriculture Movements: Bonn, Germany, 2025.
20. Bhardwaj S., Pandey P.K., Bansal S. Global sustainable organic product movement: Embracing production and consumption shifts // Int. J. Glob. Environ. 2024. Iss. 23. P. 59-74.
21. Сабанова А.А. Обогащение каштановых почв органическим веществом при возделывании бобовых трав и амаранта // Известия Горского государственного аграрного университета. 2022. Т. 59-1. С. 12-19.
22. Bekuzarova S. Degradation and restoration of mountain pastures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012046. Doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012046.
23. Фарниев А.Т. Основные вопросы почвенной микробиологии. Владикавказ: Горский ГАУ, 2015. 152 с.
24. Bioresources in Organic Farming: Implications for Sustainable Agricultural Systems / Akanmu A.O. [et al.] // Horticulturae. 2023. No. 9. P. 659.
25. Net ecosystem carbon exchange for Bermuda grass growing in mesocosms as affected by irrigation frequency / Yuan L. [et al.] // Pedosphere. 2022. No. 32. P. 393-401.
26. Effective role of beneficial microbes in achieving the sustainable agriculture and eco-friendly environment development goals: A review / Ahirwar N.K. [et al.] // Front. Microbiol. 2020. No. 5. P. 111-123.
27. Фарниев А.Т. Роль агротехнических приемов в повышении интенсивности азотфиксации клубеньковыми бактериями люцерны на выщелоченных черноземах РСО-Алания // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1998. № 1. С. 87-95.
28. Microbial inoculants with higher capacity to colonize soils improved wheat drought tolerance / Li J. [et al.] // Microb. Biotechnol. 2023. No. 16. P. 2131-2144.
29. Challenges for Plant Growth Promoting Microorganism Transfer from Science to Industry: A Case Study from Chile / Muñoz-Carvajal E. [et al.] // Microorganisms. 2023. No. 11. P. 1061.
30. Samada L.H., Tambunan U.S.F. Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: A review of their current and future status // Online J. Biol. Sci. 2020. No. 20. P. 66-76.
31. Advances in microbial based bio-inoculum for amelioration of soil health and sustainable crop production / Samantaray A. [et al.] // Curr. Res. Microb. Sci. 2024. No. 7. P. 100251.
32. *Trichoderma*: Potential bio-resource for the management of tomato root rot diseases in Africa / Olowe O.M. [et al.] // Microbiol. Res. 2022. Vol. 257. P. 126978.
33. Биологические средства защиты растений / Алборова П.В. [и др.]. Владикавказ: Горский ГАУ, 2022. 80 с.
34. Фарниев А.Т., Козырев А.Х., Пухаев А.Р. Биологическая эффективность PGPR штаммов против болезней озимой пшеницы // Известия Горского государственного аграрного университета. 2012. Т. 49, № 1/2. С. 80-83.
35. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture / Chen K. [и др.] // Annu. Rev. Plant Biol. 2019. Vol. 70. P. 667-697.
36. Bagheri A., Fathipour Y. Induced Resistance and Defense Primings. In Molecular Approaches for Sustainable Insect Pest Management; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021. P. 73-139.
37. Овчаренко Н.С. Микромицеты ароматических и лекарственных растений Крыма. Владикавказ: Горский ГАУ, 2018. 256 с. ISBN 978-5-906647-55-9.

38. Агроэнергетическая оценка возделывания многолетних бобовых трав / Абасов Ш.М. [и др.] // Нива Поволжья. 2025. № 2 (74). С. 1003.
39. Капустные зеленные овощи / Солдатенко А.В. [и др.]. М.: ФГБНУ ФНЦО, 2022. 296 с.

REFERENCES

1. Dlamini S.P., Akanmu A.O., Babalola O.O. Rhizospheric microorganisms: The gateway to a sustainable plant health // *Front. Sustain. Food Syst.* 2022. No. 6. P. 925802.
2. Utilization of agricultural waste biomass and recycling toward circular bioeconomy / Kumar Sarangi P. [et al.] // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2023. Vol. 30. P. 8526-8539.
3. Value addition employing waste bio-materials in environmental remedies and food sector / Taneja A. [et al.] // *Metabolites.* 2023. No. 13. P. 624.
4. Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective / Ashokkumar V. [et al.] // *Fuel.* 2022. Vol. 324. P. 124313.
5. Kumar P., Singh J. Harnessing Bioproducts for a Sustainable Circular Economy // In *Value Addition and Utilization of Lignocellulosic Biomass: Through Novel Technological Interventions*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2025. P. 263-293.
6. Riseh R.S. Advancing agriculture through bioresource technology: The role of cellulose-based biodegradable mulches // *Int. J. Biol. Macromol.* 2024. Vol. 255. P. 128006.
7. Enhancing the Fertilizer Value of Cattle Manure Using Organic Resources for Soil Fertility. No. 8. P. 89-107.
8. Microbial Inoculants in Sustainable Agriculture: Advancements, Challenges, and Future Directions / Díaz-Rodríguez A.M [et al.] // *Plants.* 2025. No. 14. P. 191.
9. Biopesticide consumption in India: insights into the current trends / Chakraborty N. [et al.] // *Agriculture.* 2023. Vol. 13, No. 3. P. 557.
10. Effect of bacterial biofertilizer on morphophysiological parameters of mustard under salt stress / Borisova G.G. [et al.] // *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* 2025. Issue 1 (69). P. 4-14. [In Russ.]
11. Divya K., Singh R., Thakur I. Response of biofertilizers and foliar application of zinc on yield and economics of lentil (*Lens culinaris*, Fabaceae) // *International Journal of Environment and Climate Change.* 2023. Vol. 13, No. 9. P. 1040-1045.
12. Vishal S., Singh R., Pradhan A. Influence of biofertilizers and nitrogen on yield and economics of barley (*Hordeum vulgare* L.) // *International Journal of Plant and Soil Science.* 2023. Vol. 35, No. 17. P. 196-202.
13. Nano-biofertilizers synthesis and applications in agroecosystems / Bairwa P. [et al.] // *Agrochemicals.* 2023. No. 2 (1). P. 118-134.
14. Assessment of the influence of microbiological biofertilizer on the yield and quality of spring barley grain in sloping landscapes / Mikhailenko I.I. [et al.] // *Agrarnaya Rossiya.* 2025. Issue 3. P. 39-42. [In Russ.]
15. Fedorova, D.G., Galaktionova, L.V. Influence of biofertilizer on the water regime, photosynthesis intensity and yield of grain crops in the steppe Cis-Urals // *Grain Economy of Russia.* 2025. Vol. 17, Issue 1. P. 89-97. [In Russ.]
16. Narwade J.D., Odaneth A.A. & Lele S.S. Solid-state fermentation in an earthen vessel: *Trichoderma viride* spore-based biopesticide production using corn cobs // *Fungal Biology.* 2023. Vol. 127 (7/8). P. 1146-1156.
17. Nevenchannaya, N.M., Shoikin, O.D., Tabachenko, A.V. Effect of different tillage systems on soil properties // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy.* 2024. Issue 9. P. 76-82. [In Russ.]
18. Kruglov, Yu.V. Soil microbial community: physiological diversity and research methods // *Agricultural Biology.* 2016. Vol. 51, Issue 1. P. 46-59. [In Russ.]
19. Willer H., Trávníček J., Schlatter B. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2025*; International Federation of Organic Agriculture Movements: Bonn, Germany, 2025.
20. Bhardwaj S., Pandey P.K., Bansal S. Global sustainable organic product movement: Embracing production and consumption shifts // *Int. J. Glob. Environ.* 2024. Iss. 23. P. 59-74.

21. Sabanova, A.A. Enrichment of chestnut soils with organic matter during the cultivation of legumes and amaranth // *Bulletin of the Gorsky State Agrarian University*. 2022. Vol. 59-1. P. 12-19. [In Russ.]
22. Bekuzarova, S. Degradation and restoration of mountain pastures // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Moscow, 2020. P. 012046. Doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012046. [In Russ.]
23. Farniev A.T. Basic issues of soil microbiology. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University, 2015. 152 p. [In Russ.]
24. Bioresources in Organic Farming: Implications for Sustainable Agricultural Systems / Akanmu A.O. [et al.] // *Horticulturae*. 2023. No. 9. P. 659.
25. Net ecosystem carbon exchange for Bermuda grass growing in mesocosms as affected by irrigation frequency / Yuan L. [et al.] // *Pedosphere*. 2022. No. 32. P. 393-401.
26. Effective role of beneficial microbes in achieving the sustainable agriculture and eco-friendly environment development goals: A review / Ahirwar N.K. [et al.] // *Front. Microbiol.* 2020. No. 5. P. 111-123.
27. Farniev, A.T. The role of agrotechnical practices in increasing the intensity of nitrogen fixation by alfalfa nodule bacteria on leached chernozems of the Republic of North Ossetia-Alania // *Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy*. 1998. Issue 1. P. 87-95. [In Russ.]
28. Microbial inoculants with higher capacity to colonize soils improved wheat drought tolerance / Li J. [et al.] // *Microb. Biotechnol.* 2023. No. 16. P. 2131-2144.
29. Challenges for Plant Growth Promoting Microorganism Transfer from Science to Industry: A Case Study from Chile / Muñoz-Carvajal E. [et al.] // *Microorganisms*. 2023. No. 11. P. 1061.
30. Samada L.H., Tambunan U.S.F. Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: A review of their current and future status // *Online J. Biol. Sci.* 2020. No. 20. P. 66-76.
31. Advances in microbial-based bio-inoculum for amelioration of soil health and sustainable crop production / Samantaray A. [et al.] // *Curr. Res. Microb. Sci.* 2024. No. 7. P. 100251.
32. Trichoderma: Potential bio-resource for the management of tomato root rot diseases in Africa / Olowe O.M. [et al.] // *Microbiol. Res.* 2022. Vol. 257. P. 126978.
33. Biological plant protection products / Alborova P.V. [et al.]. Vladikavkaz: Gorsky SAU, 2022. 80 p. [In Russ.]
34. Farniev, A.T., Kozyrev, A.Kh., Pukhaev, A.R. Biological efficiency of PGPR strains against winter wheat diseases // *Bulletin of the Gorsky State Agrarian University*. 2012. Vol. 49, Issue 1/2. P. 80-83. [In Russ.]
35. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture / Chen K. [et al.] // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2019. Vol. 70. Pp. 667-697.
36. Bagheri A., Fathipour Y. Induced Resistance and Defense Primings. In *Molecular Approaches for Sustainable Insect Pest Management*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021. P. 73-139.
37. Ovcharenko, N.S. Micromycetes of aromatic and medicinal plants of Crimea. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University, 2018. 256 p. ISBN 978-5-906647-55-9. [In Russ.]
38. Agroenergetic assessment of the cultivation of perennial legumes / Abasov Sh.M. [et al.] // *Niva Povolzhya*. 2025. Issue 2 (74). P. 1003. [In Russ.]
39. Cabbage greens / Soldatenko A.V. [et al.]. Moscow: FGBNU FNTsO, 2022. 296 p. [In Russ.]

Информация об авторах / Information about the authors

Хусайнов Харон Адамович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела ландшафтного земледелия, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 366021, Российская Федерация, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Лиловая, 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8048-5025>, e-mail: ironlag@mail.ru

Тунтаев Альви Вахаевич, научный сотрудник отдела ландшафтного земледелия, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 366021, Российская Федерация, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Лиловая, 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1798-837X>

Елмурзаева Фатима Дадаевна, младший научный сотрудник отдела ландшафтного земледелия, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 366021, Российская Федерация, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Лиловая, 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2928-5997>

Haron A. Husainov, PhD (Biol.), Senior Researcher, Department of Landscape Agriculture, Chechen Research Institute of Agriculture; 366021, the Russian Federation, the Chechen Republic, Grozny, 1 Lilovaya St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8048-5025>, e-mail: ironlag@mail.ru

Alvi V. Tuntaev, Researcher, Department of Landscape Agriculture, Chechen Research Institute of Agriculture; 1 Lilovaya St., Grozny, the Chechen Republic; 366021, the Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1798-837X>

Fatima D. Elmurzaeva, Junior Researcher, Department of Landscape Agriculture, Chechen Research Institute of Agriculture; 1 Lilovaya St., Grozny, the Chechen Republic; 366021, the Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2928-5997>

Заявленный вклад авторов

Хусайнов Харон Адамович. – подбор литературных источников.

Тунтаев Альви Вахаевич. – валидация данных.

Елмурзаева Фатима Дадаевна. – оформление статьи по требованиям журнала.

Claimed contribution of the authors

Haron A. Husainov – selection of literary sources.

Alvi V. Tuntaev – data validation.

Fatima D. Elmurzaeva – preparation of the article according to the requirements of the Journal.

Поступила в редакцию 22.09.2025

Поступила после рецензирования 28.10.2025

Принята к публикации 29.10.2025

Received 22.09.2025

Revised 28.10.2025

Accepted 29.10.2025