



## **БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ УДОБРЕНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

**Мельникова Анна Сергеевна**

Студент, кафедра агрохимии и почвоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева  
г. Москва, Россия

**Громов Илья Павлович**

Доцент, кафедра агрохимии и почвоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева  
г. Москва, Россия

### **Аннотация**

В статье рассматриваются современные направления разработки биоразлагаемых удобрений нового поколения, их технологическая основа, экологические преимущества, механизмы взаимодействия с почвенной биотой и перспективы внедрения в аграрную отрасль. Анализируются органоминеральные композиции, микробиологические препараты, полимерные матрицы, биостимулирующие комплексы и инновационные формулы, основанные на растительном сырье и биополимерах. Показано, что биоразлагаемые удобрения позволяют снизить нагрузку на окружающую среду, стабилизировать агроэкосистемы, улучшить физико-химические параметры почв и обеспечить устойчивое производство сельскохозяйственной продукции. Отмечается, что переход к устойчивому земледелию невозможен без внедрения удобрений нового поколения, сочетающих эффективность, экологическую безопасность и способность к биологическому разложению.

**Ключевые слова:** биоразлагаемые удобрения, биополимеры, почвенная биота, биостимуляторы, агроэкосистема, устойчивое земледелие, органоминеральные комплексы.

### **Введение**

Мировая аграрная система переживает период глубоких трансформаций, вызванный необходимостью устойчивого производства продовольствия, восстановления плодородия почв, сокращения экологических рисков и перехода к технологиям, соответствующим принципам «зелёной» экономики.

Химические удобрения, обеспечившие значительный рост урожайности в XX веке, одновременно стали источником ряда экологических проблем, включая деградацию почв, загрязнение водных ресурсов нитратами, разрушение структуры почвенной биоты и накопление труднорастворимых соединений. Современный этап развития аграрной науки требует перехода к удобрениям, которые являются не только высокоэффективными, но и безопасными для экосистем.

Биоразлагаемые удобрения нового поколения предлагаются как ключевое направление развития экологичного сельского хозяйства. Они основаны на принципах природоподобия, биологического соответствия и замкнутых циклов питания растений. Их ценность заключается в способности разлагаться под воздействием естественных биохимических процессов, не оставляя токсичных остатков и снижая риск долговременного загрязнения почвы.

Актуальность разработки биоразлагаемых удобрений определяется также растущими требованиями к качеству сельскохозяйственной продукции, нормативами экологического контроля, глобальным ростом интереса к органическому земледелию и перспективами внедрения интеллектуальных систем управления питанием растений. В условиях изменения климата, расширения засушливых зон и ухудшения состояния почвенных ресурсов биоразлагаемые удобрения рассматриваются как стратегический ресурс агропромышленного комплекса.

### **Технологическая основа биоразлагаемых удобрений нового поколения**

Создание биоразлагаемых удобрений базируется на сочетании агрохимии, биотехнологии, полимерной химии и экологии почв. В основе таких удобрений лежат биологически активные вещества природного происхождения, органические соединения, полисахаридные матрицы, аминокислоты, гуминовые вещества и микробные комплексы. Главная задача технологий заключается в разработке формул, способных постепенно выделять элементы питания и одновременно разлагаться под действием почвенной микрофлоры.

Особую роль играют биополимерные носители. Наиболее часто используются крахмал, хитозан, альгинат, целлюлоза и полилактид, которые обеспечивают контролируемое высвобождение питательных веществ. Такие матрицы разрушаются микроорганизмами, возвращаясь в природный цикл углерода и не нарушая структуру почвы.

Инновационные направления включают разработку наноструктурированных удобрений. Наноматериалы природного происхождения позволяют повышать биодоступность элементов питания, улучшать сорбционные свойства и увеличивать стабильность препарата. Наноформы, заключённые в биоразлагаемую оболочку, обеспечивают пролонгированное действие и минимальные потери при внесении.

Широкое распространение получают микробиологические удобрения. Они основаны на живых бактериях, грибах и азотофиксирующих микроорганизмах, способных активно участвовать в разложении органики, мобилизации фосфора, синтезе фитогормонов и подавлении патогенов. Микробные консорциумы рассматриваются как ключевой элемент устойчивого земледелия.

### **Экологические преимущества биоразлагаемых удобрений**

Экологическая ценность биоразлагаемых удобрений заключается в их способности интегрироваться в естественные биогеохимические циклы без формирования стойких загрязнителей. Они уменьшают антропогенную нагрузку на агроландшафты, снижают вынос токсичных соединений в грунтовые воды и предупреждают деградацию экосистем.

В отличие от традиционных минеральных удобрений, которые могут вызывать засоление, подкисление и разрушение структуры почвы, биоразлагаемые композиции оказывают мягкое воздействие и обеспечивают постепенное восстановление почвенных характеристик. Они улучшают водоудерживающую способность, повышают агрегацию структурных частиц и стимулируют развитие почвенной биоты.

Особой ценностью обладает способность таких удобрений уменьшать неэффективные потери азота, которые формируют значительный вклад в глобальные выбросы парниковых газов. Пролонгированное высвобождение азота снижает эмиссию оксидов азота, которые являются мощными климатическими агентами.

Экологическая безопасность также связана с отсутствием тяжёлых металлов и токсичных примесей. Препараты на основе биополимеров и микробных культур не нарушают биологический баланс в почве и могут использоваться на территориях, где требуются особо строгие экологические стандарты.

### **Взаимодействие биоразлагаемых удобрений с почвенной биотой**

Почвенная биота играет ключевую роль в функционировании агроэкосистем. Микроорганизмы участвуют в трансформации органических остатков, минерализации элементов, формировании гумуса, подавлении патогенов и обеспечении структурного состояния почвы. Биоразлагаемые удобрения нового поколения оптимально согласуются с природными механизмами, стимулируя развитие полезной микрофлоры.

Бактериальные и грибные сообщества активируются в присутствии биополимерных субстратов, которые используются ими как источник углерода. Это ускоряет разложение удобрения и обеспечивает постепенный переход элементов в доступные формы. Одновременно происходит повышение разнообразия почвенных экосистем, что усиливает биологическую устойчивость и улучшает способность почвы к саморегуляции.

Многие современные формулы включают в себя биостимуляторы, стимулирующие рост ризосферных микроорганизмов. Они повышают усвоение фосфора, фиксируют атмосферный азот и выделяют фитогормоны, способствующие росту растений. Такое взаимодействие создаёт синергетический эффект, обеспечивая высокую эффективность удобрения при минимальных нормах внесения.

### **Органоминеральные композиции и биостимулирующие формулы**

Органоминеральные биоразлагаемые удобрения являются наиболее перспективным направлением, поскольку они объединяют преимущества органической и минеральной составляющих. Органическая матрица обеспечивает биологическую активность, вододержание и постепенное разложение, а минеральная часть предоставляет необходимые элементы в доступной форме.

Современные формулы включают гуминовые кислоты, фульвокислоты, аминокислотные комплексы и микроэлементы. Они улучшают метаболизм растений, повышают устойчивость к стрессам, усиливают фотосинтетическую активность и ускоряют развитие корневой системы.

Стимуляторы роста растительного происхождения, такие как экстракты морских водорослей, фитогормоны, пептиды и антиоксиданты, повышают адаптивные возможности растений в условиях климатических аномалий. Применение таких удобрений обеспечивает более высокую устойчивость к засухе, засолению и температурным стрессам.

### **Влияние биоразлагаемых удобрений на качество сельскохозяйственной продукции**

Использование биоразлагаемых удобрений повышает качество продукции за счёт улучшения минерального и органического состава растений. Отсутствие вредных примесей, таких как хлор, тяжёлые металлы или остаточные синтетические соединения, делает урожай безопасным для питания.

Применение биостимулирующих препаратов способствует накоплению полезных веществ: витаминов, аминокислот, микроэлементов и антиоксидантов. Плоды и овощи отличаются лучшими вкусовыми характеристиками, повышенной лежкостью и сниженной восприимчивостью к болезням.

Выраженное влияние наблюдается на содержание нитратов. Плавное высвобождение азота исключает его чрезмерное накопление в тканях растений, что является важным фактором экологического земледелия и пищевой безопасности.

## **Перспективы промышленного внедрения биоразлагаемых удобрений**

Внедрение биоразлагаемых удобрений в агропромышленный комплекс имеет высокий потенциал. Рост мирового спроса на экологичные продукты, ужесточение стандартов качества, развитие органического земледелия и повышение внимания к вопросам экологии стимулируют расширение таких технологий.

Промышленное производство сталкивается с рядом задач, которые требуют решения. Среди них выделяются необходимость улучшения технологических процессов, снижение себестоимости, расширение сырьевой базы и разработка стандартов качества. Однако тенденции указывают на неизбежность распространения биоразлагаемых удобрений в ближайшие десятилетия.

Особый интерес представляет интеграция таких удобрений в интеллектуальные системы питания растений. В сочетании с точным земледелием и агродиагностикой они могут стать основой высокоэффективных агротехнологий, обеспечивающих устойчивый рост урожайности и минимизацию воздействия на окружающую среду.

### **Заключение**

Биоразлагаемые удобрения нового поколения представляют собой важнейший элемент будущего устойчивого сельского хозяйства. Они объединяют в себе природоподобные технологии, экологическую безопасность, высокую агрономическую эффективность и способность к интеграции в биологические процессы почвы. Их применение открывает возможности для перехода к устойчивым моделям земледелия, способным обеспечить мировой рынок экологически чистой и качественной продукцией.

Перспективы биоразлагаемых удобрений связаны с развитием биотехнологий, совершенствованием материалов, расширением применения микробных консорциумов и возникновением инновационных агротехнологий. В условиях глобальных экологических вызовов и роста населения биоразлагаемые удобрения становятся стратегическим инструментом сохранения почвенного плодородия и обеспечения продовольственной безопасности.

### **Литература**

1. Кашин А. С. Агрохимия устойчивого земледелия. М., 2021.
2. Трофимов И. А. Биологизация аграрного производства. СПб., 2020.
3. Жученко А. А. Экологические основы агрохимии. М., 2019.
4. Сидоренко В. Н. Почвенные микроорганизмы и продуктивность агроэкосистем. Новосибирск, 2022.
5. Федотова Е. Н. Инновационные удобрения и биостимуляторы. Краснодар, 2023.