

Мередов Энвер Назаргулыевич

преподаватель кафедры “Биология и методика её преподавания”

Атамедова Нуртач Орешовна

студент специальности “Биология”

Ягшымырадова Айзада Вепаевна

студент специальности “Китайский язык и литература, английский язык”

Туркменский государственный педагогический институт им С. Сейди г.

Туркменабат. Туркменистан

Научный руководитель: Вейсов Султан Керимович канд. геогр. наук

Национальный институт пустынь, флоры и фауны г.Ашхабат. Туркменистан

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ В БОРЬБЕ С ЗАСОЛЕНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НОРМАТИВНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Аннотация. Засоление сельскохозяйственных земель является одной из ключевых проблем, угрожающих продовольственной безопасности и экологической устойчивости экосистем. Биотехнологии — в частности фиторемедиация и микробиологическая ремедиация — представляют собой перспективные инструменты для восстановления засоленных и деградированных почв. В статье анализируются нормативные и практические аспекты применения биотехнологий в борьбе с засолением: рассматриваются механизмы действия, ограничения, а также регуляторные рамки и риски. Приводится обоснование для интегрированного подхода, сочетающего научные разработки, мониторинг и масштабирующие практики, а также предлагаются рекомендации для дальнейшего внедрения биоземледелия с учётом регуляторной среды.

Ключевые слова: биотехнологии, засоление почв, фиторемедиация, микробиологическая ремедиация, нормативное регулирование, устойчивое земледелие.

Meredov Enver Nazargulyyevich

Lecturer, Department of “Biology and Methods of Its Teaching”

Atamedova Nurtach Oreshovna

Student, specialty “Biology”

Yagshymyradova Aizada Vepaevna

Student, specialty “Chinese Language and Literature, English”

S. Seidi Turkmen State Pedagogical Institute

Turkmenabat, Turkmenistan

Scientific Supervisor: *Veysov Sultan Kerimovich*, Candidate of Geographical

Sciences, National Institute of Deserts, Flora and Fauna

Ashgabat, Turkmenistan

**APPLICATION OF BIOTECHNOLOGIES IN COMBATING SOIL
SALINIZATION OF AGRICULTURAL LANDS: REGULATORY AND
PRACTICAL ASPECTS**

Abstract. Soil salinization of agricultural lands is one of the key challenges threatening food security and the ecological sustainability of ecosystems. Biotechnologies, in particular phytoremediation and microbiological remediation, represent promising tools for the restoration of saline and degraded soils. This article analyzes the regulatory and practical aspects of applying biotechnologies to combat soil salinization: the mechanisms of action, limitations, as well as regulatory frameworks and associated risks are examined. A rationale for an integrated approach combining scientific research, monitoring, and scalable practices is provided, along with recommendations for further implementation of bio-agriculture considering the regulatory environment.

Keywords: biotechnologies, soil salinization, phytoremediation, microbiological remediation, regulatory framework, sustainable agriculture.

Введение. Засоление почв — это накопление растворимых солей в корнеобитаемом слое, что приводит к снижению урожайности, деградации почв

и ухудшению биоразнообразия. Эти процессы особенно актуальны в засушливых и полузасушливых регионах, где выщелачивание солей ограничено и ирригация часто усугубляет проблему. Биотехнологии предлагают инновационные решения для смягчения последствий засоления за счёт использования живых организмов — растений и микроорганизмов — для восстановления структуры и функции почв.

Биотехнологические механизмы в борьбе с засолением.

Фиторемедиация. Фиторемедиация — это использование растений для очистки и восстановления почв посредством поглощения, накопления или трансформации загрязняющих веществ (в данном случае — солей). Такой подход экономичен, экологически безопасен и может быть применён *in situ*.

Механизмы фиторемедиации включают:

- **Фитоэкстракция:** растения поглощают соли из почвы и накапливают их в надземной биомассе.
- **Фитостабилизация:** корневые системы стабилизируют соли в ризосфере, уменьшая подвижность и минимизируя эрозионные потери.
- **Фитодеградация:** за счёт корней и микроорганизмов вокруг корней соли могут трансформироваться.
- **Ризофильтрация:** корни поглощают солёную воду, тем самым способствуя очищению подземных вод и почвы.

Особенно перспективны галофиты — солеустойчивые растения, способные выживать и расти в условиях высокой солёности. Они способны извлекать и аккумулировать соли, тем самым снижая их концентрацию в почве.

Микробиологическая ремедиация. Микроорганизмы также играют ключевую роль. Специализированные бактерии и грибы могут способствовать снижению засоления посредством нескольких механизмов:

1. **Азотфиксирующие бактерии:** такие как род *Rhizobium* или *Azotobacter*, улучшают плодородие почвы и помогают растениям расти в неблагоприятных условиях.

2. **Продукция внеклеточных полимеров (EPS):** такие полимеры могут улучшать агрегацию частиц почвы, повышать водоёмкость и адсорбировать ионы, тем самым стабилизируя структуру почвы.
3. **Омопротекторы:** микроорганизмы могут синтезировать осмопротекторы (напр. пролины, сахара), которые помогают растениям справляться с осмотическим стрессом, вызванным высокой солёностью.
4. **Гормональная регуляция:** некоторые почвенные микроорганизмы регулируют баланс фитогормонов, стимулируя рост корней и улучшая устойчивость к солевому стрессу.

Практические аспекты применения. Интегрированный подход. Самое эффективное применение биотехнологий предполагает интеграцию фиторемедиации и микробиологической ремедиации в систему устойчивого земледелия. Международные руководства, такие как учебное руководство ФАО для маргинальных засоленных земель, рекомендуют модульный подход, где оценка почвы, водных ресурсов и биоземледелие рассматриваются комплексно.

Масштабирование и мониторинг. Для того чтобы биотехнологические методы были эффективны и устойчивы, необходим мониторинг засоленности и динамики восстановления. Например, карта засоленных земель и регулярное обновление данных позволяет оценивать изменения и корректировать меры управления.

Таблица 1. Сравнительный анализ биотехнологических методов

Метод	Механизм действия	Преимущества	Ограничения / риски
Фиторемедиация (галофиты)	Поглощение и накопление солей растениями	Экономична, in situ, экологически безопасна	Медленный рост, сезонность, возможная инвазивность

Микробиологическая ремедиация (PGPB)	Азотфиксация, EPS, осмопротекторы, гормоны	Улучшают структуру почвы, стимулируют растения	Требует адаптацию штаммов, хранение, себестоимость
Интегрированный подход	Сочетание растений и микроорганизмов	Синергия, повышенная эффективность	Комплексность внедрения, требует мониторинга и координации
Генетическая инженерия	Геном-редактирование / трансформация	Повышенная солестойкость, специфичные функции	Регуляторные барьеры, биобезопасность, общественное восприятие

Заключение. Биотехнологии — фиторемедиация и микробиологическая ремедиация — предлагают мощные и устойчивые пути борьбы с засолением сельскохозяйственных земель. При правильной реализации они способны восстанавливать продуктивность почв, повышать экологическую устойчивость и способствовать продовольственной безопасности. Однако для этого необходимы надёжные нормативные рамки, междисциплинарные подходы, участие местных сообществ и системный мониторинг. Только интеграция научных инноваций с политикой и практикой может обеспечить масштабирование биоземледелия и долгосрочную устойчивость.

Библиографический список

1. Cui, Y., Ning, Z., Li, M., Qin, X., Yue, X., Chen, X., Zhu, C., Sun, H., Huang, Y. Microbial network-driven remediation of saline-alkali soils by salt-tolerant plants // *Frontiers in Microbiology*, 2025.
2. Masmoudi, F., Alsafran, M., Jabri, H. A., Hosseini, H., Trigui, M., Sayadi, S., Tounsi, S., & Saadaoui, I. «Halobacteria-Based Biofertilizers: A Promising

Alternative for Enhancing Soil Fertility and Crop Productivity under Biotic and Abiotic Stresses» // *Microorganisms*, 2023, 11(5): 1248.