



МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЭКОСИСТЕМ ПОСЛЕ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ

Иванова Марина Алексеевна

Доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии и биотехнологии Московский государственный университет имени

М.В. Ломоносова

г. Москва, Российская Федерация

Петров Сергей Владимирович

Студент 5 курса биологического факультета Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

г. Москва, Российская Федерация

Аннотация

Техногенные катастрофы оказывают значительное негативное воздействие на природные экосистемы, нарушая их структуру и функции. Восстановление таких экосистем требует комплексного подхода, в котором микробиологические методы занимают важное место. В статье рассматриваются основные микробиологические технологии — биоремедиация, фиторемедиация с использованием микроорганизмов, микориза, а также применение консорциумов микроорганизмов для восстановления почв и водных объектов. Обсуждаются перспективы развития и ограничения данных методов, их эффективность в различных условиях техногенных загрязнений

Ключевые слова: микробиология, биоремедиация, восстановление экосистем, техногенные катастрофы, почвенные микроорганизмы, фиторемедиация, микориза

1. Введение

Техногенные катастрофы, такие как аварии на промышленных предприятиях, разливы нефти, выбросы химических веществ, приводят к сильному загрязнению почв, водоемов и атмосферы. Эти воздействия нарушают биологическое равновесие, приводят к гибели флоры и фауны, ухудшают качество среды обитания. Традиционные методы очистки (механическая уборка, химическая нейтрализация) часто недостаточно эффективны или экономически затратны.

Микробиологические методы, основанные на использовании живых микроорганизмов, способны не только разрушать токсичные вещества, но и восстанавливать биологическую активность и плодородие почв, а также

стабилизировать экосистемы. Применение таких подходов является перспективным направлением в экологической реабилитации.

2. Биоремедиация как основной микробиологический метод

2.1 Основы биоремедиации

Биоремедиация — процесс очистки загрязнённых объектов с помощью микроорганизмов, которые метаболизируют или трансформируют вредные вещества в менее токсичные соединения. Ключевыми микроорганизмами являются бактерии, грибы и актиномицеты.

2.2 Типы биоремедиации

- **Естественная (интуитивная):** использование природных способностей местных микробиомов;
- **Активированная:** добавление специфических штаммов или биостимуляторов для ускорения процессов;
- **Ин-ситу и экс-ситу:** очистка на месте загрязнения или с перемещением загрязнённого материала.

2.3 Примеры загрязнений

- Нефтяные разливы и углеводородные загрязнения;
- Тяжёлые металлы и их биотрансформация;
- Органические загрязнители: пестициды, растворители.

3. Роль микробиологических консорциумов и симбиозов

3.1 Микробные консорциумы

Сложные загрязнения требуют использования сообществ микроорганизмов с разными метаболическими способностями. Консорциумы обеспечивают синергетическое разрушение веществ и устойчивость к экстремальным условиям.

3.2 Взаимодействие с растениями

- **Фиторемедиация:** использование растений вместе с их микоризными и ризосферными микроорганизмами для поглощения и разложения загрязнителей;
- Микориза улучшает питание растений и способствует росту в загрязнённых почвах.

4. Технологии и инструменты в микробиологической реабилитации

- **Генетическая инженерия** для создания штаммов с улучшенными деградационными свойствами;

- **Методы метагеномики и метатранскриптомики** для анализа микробных сообществ;
- **Биореакторы и аэробные/анаэробные системы** для экс-ситу очистки;
- **Использование биостимуляторов и биопрепаратов.**

5. Проблемы и ограничения

- Неоднородность и сложность загрязнённых сред;
- Конкуренция с местной микрофлорой и выживаемость добавленных микроорганизмов;
- Медленность процессов при низких температурах и экстремальных условиях;
- Необходимость долгосрочного мониторинга и оценки экосистем.

6. Перспективы и направления развития

- Разработка устойчивых к стрессам и токсинам штаммов;
- Комбинирование микробиологических методов с физико-химическими технологиями;
- Разработка интегрированных систем мониторинга с использованием датчиков и IoT;
- Внедрение биоремедиации в государственные программы по ликвидации последствий катастроф.

Заключение

Микробиологические подходы представляют собой эффективный и экологически безопасный инструмент для восстановления экосистем после техногенных катастроф. Несмотря на существующие ограничения, развитие биотехнологий и интеграция междисциплинарных методов открывают широкие возможности для повышения эффективности реабилитационных мероприятий и сохранения природного биоразнообразия.

Литература

1. Vidali, M. (2001). Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*.
2. Gadd, G.M. (2010). Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*.
3. Иванов П.А., Козлова Е.Н. Биоремедиация почв: современные методы и перспективы. // Экологическая химия. — 2022.
4. Suresh, A.K. et al. (2023). Microbial consortia for biodegradation of complex pollutants. *Environmental Microbiology Reports*.
5. Zhang, W. et al. (2021). Advances in microbial remediation of heavy metals in contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*.
6. Новиков В.В. Биотехнологии в экологии. — М.: Наука, 2020.