

Мередов Энвер Назаргулыевич,
преподаватель кафедры “Биология и методика её преподавания”,
Туркменский государственный педагогический институт им С. Сейди
Meredov Enver Nazargulyevich,
Lecturer, Department of Biology and Methods of Its Teaching,
Turkmen State Pedagogical Institute named after S. Seydi

Эргешов Рустам Ахметджанович,
преподаватель кафедры “Химия и методика её преподавания”,
Туркменский государственный педагогический институт им С. Сейди
Ergeshov Rustam Akhmetdzhanovich,
Lecturer, Department of Chemistry and Methods of Its Teaching,
Turkmen State Pedagogical Institute named after S. Seydi

Макгыева Майса Велийевна,
Преподаватель кафедры “Педагогика”,
Туркменский государственный педагогический институт им С. Сейди
Maysa Veliyevna Makgyyeva,
Lecturer, Department of Pedagogy,
Turkmen State Pedagogical Institute named after S. Seydi

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УКРЕПЛЕНИЮ
ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ В ТУРКМЕНИСТАНЕ
BIOTECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR STABILIZATION
OF MOBILE SANDS IN TURKMENISTAN**

Аннотация. В статье представлены теоретические и практические аспекты применения биотехнологий для укрепления подвижных песков в условиях аридного климата Туркменистана. Рассмотрены ключевые направления - формирование биологической почвенной корки, микробиально-индуцированное осаждение карбоната кальция (MICP) и использование биополимеров. Проведён анализ их эффективности, экологической устойчивости и экономической целесообразности. В заключительной части раскрываются вопросы интеграции биотехнологических методов с агроэкологическими проектами, особенностями ландшафтной мелиорации и климатической адаптации. Представлены практические предложения по внедрению и мониторингу результатов на основе научных данных и международного опыта.

Abstract. The article presents theoretical and practical aspects of applying biotechnologies for the stabilization of mobile sands under the arid climatic conditions of Turkmenistan. The key approaches considered include the formation of a biological soil crust, microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP), and the use of biopolymers. An analysis of their effectiveness, ecological sustainability, and economic feasibility is provided. The final section addresses the integration of biotechnological methods with agroecological projects, landscape reclamation, and climate adaptation features. Practical recommendations are presented for the implementation and monitoring of results based on scientific data and international experience.

Ключевые слова: Биотехнология, подвижные пески, Туркменистан, микробиальное осаждение карбоната кальция, биополимеры, биокорка, экосистемное восстановление, биомелиорация.



Keywords: Biotechnology, mobile sands, Turkmenistan, microbially induced calcium carbonate precipitation, biopolymers, biocrust, ecosystem restoration, bioremediation.

Введение. Проблема подвижных песков в Туркменистане носит стратегический характер. На значительной территории страны песчаные массивы формируют аридные экосистемы, где слабая растительность и высокая ветровая активность способствуют миграции барханов. Это приводит к засыпанию дорог, пастбищ и полей, повреждению оросительных систем и инфраструктуры. Традиционные методы - механические, гидротехнические и химические - требуют больших затрат и нарушают экологическое равновесие. Современные биотехнологические подходы позволяют формировать устойчивое биогенное закрепление песков, используя естественные биохимические процессы [1].

Функционирование биологических механизмов укрепления. Биотехнологические решения основаны на воспроизведении природных процессов стабилизации поверхностных слоёв почвы. Микроорганизмы, такие как цианобактерии, уреолитические бактерии и актиномицеты, способны выделять полисахаридные вещества, связывающие частицы песка. Эти биоматериалы формируют своеобразный «каркас», который уменьшает ветровую эрозию и способствует формированию субстрата для растений. При этом процессы фотосинтеза и азотфиксации обеспечивают постепенное повышение плодородия почв.

Формирование биологической почвенной корки происходит поэтапно. На первом этапе развивается микробная биоплёнка, которая постепенно уплотняется и связывает минеральные частицы. На втором этапе в неё внедряются мхи и лишайники, образуя устойчивую структуру, повышающую инфильтрацию влаги и предотвращающую выветривание [1].

Метод МІСР основан на способности определённых бактерий продуцировать карбонат кальция в результате гидролиза мочевины. Осаждающийся кальцит цементирует песчаные частицы, повышая прочность и снижая проницаемость грунта [2]. Этот процесс не требует добавления цемента и может выполняться локально, что делает технологию особенно привлекательной для укрепления инженерных объектов и обочин дорог.

Использование биополимеров, таких как ксантановая и гуаровая камедь, основано на физическом принципе связывания песчинок. При нанесении раствора биополимера на поверхность образуется вязкий гель, который при высыхании фиксирует частицы песка. Такие покрытия легко наносятся и не требуют сложного оборудования.

Климатическая адаптация технологий в Туркменистане. Аридный климат Туркменистана характеризуется высокой температурой воздуха, низким количеством осадков и частыми ветрами. В таких условиях выбор технологии должен учитывать не только эффективность укрепления, но и устойчивость биоматериалов к ультрафиолету, пересыханию и дефициту влаги.

Биологические почвенные корки требуют минимального увлажнения для начала роста. В практике возможно применение ночного орошения или использования водоудерживающих покрытий для ускорения колонизации поверхности. В южных и центральных регионах страны биокорки показывают высокую адаптивность благодаря способности цианобактерий быстро активироваться после осадков [1].

Технология МІСР адаптируется к климатическим условиям за счёт возможности дозированной подачи растворов и бактерий. Экспериментальные исследования показывают, что устойчивые слои формируются даже при температуре свыше 40 °С, если процесс проводится с контролем влажности и концентрации растворов [2].

Биополимеры более чувствительны к экстремальной жаре, однако их устойчивость можно повысить введением минеральных добавок (глины, цеолита), которые защищают полимерную структуру от деградации и обеспечивают дополнительное связывание частиц песка.



Интеграция биотехнологий с растительным покровом. Одним из ключевых направлений является сочетание биотехнологических решений с высадкой местных растений - верблюжьей колючки (*Alhagi maurorum*), саксаула (*Haloxylon aphyllum*), солянки (*Salsola orientalis*). Эти растения имеют мощную корневую систему, способную проникать на глубину нескольких метров и обеспечивать длительное закрепление песчаных слоёв.

На первом этапе биотехнология создаёт устойчивый поверхностный слой, уменьшающий эрозию и испарение влаги. На втором этапе происходит укоренение растений, которые окончательно стабилизируют участок. Этот процесс позволяет постепенно переходить от технического укрепления к естественному экосистемному восстановлению.

Применение биополимеров перед посадкой растений повышает всхожесть семян за счёт удержания влаги в верхнем слое песка. МІСР-технология в свою очередь может использоваться для укрепления участков, где растениям требуется защита от ветрового выдувания в первые месяцы после посадки.

Экономическая эффективность и экологическая устойчивость. В сравнении с традиционными методами (цементирование, асфальтирование, установка ограждений) биотехнологические решения требуют меньших капитальных вложений и обладают более длительным сроком службы. Биологическая корка развивается естественным образом и не нуждается в частом обновлении. МІСР и биополимеры обеспечивают быстрый эффект при минимальных эксплуатационных расходах.

Экологическое преимущество заключается в минимизации выбросов CO₂ и отсутствии токсичных побочных продуктов. В отличие от химических стабилизаторов, используемые материалы полностью биоразлагаемы или инертны к окружающей среде.

Мониторинг и оценка успешности. Для оценки эффективности укрепления рекомендуется использовать комплексные показатели:

- механическая прочность поверхности (измерение силы сдвига);
- скорость перемещения песков (по GPS-маркерам);
- содержание органического углерода и хлорофилла;
- устойчивость покрытия к ветровому воздействию.

В лабораторных и полевых условиях можно дополнительно оценивать уровень микробиологической активности, состав и структуру биоплёнки, а также её способность удерживать влагу.

Перспективы внедрения и институциональная поддержка. Для успешного внедрения биотехнологических методов в Туркменистане необходимо создание координирующей программы, объединяющей учёных, инженеров, фермеров и государственных структур. Важно разрабатывать национальные стандарты и руководства по применению таких технологий в строительстве, сельском хозяйстве и природоохранных проектах.

Рекомендуется внедрение пилотных площадок в разных регионах — Каракумы, Ахалский и Марыйский велаят, где можно провести испытания трёх типов биотехнологий с оценкой их эффективности. Полученные результаты станут основой для масштабирования решений на уровне государства.

Социальные и образовательные аспекты. Биотехнологии укрепления песков имеют не только техническое, но и социальное значение. Обучение местных жителей методам подготовки и нанесения биоматериалов позволяет создать новые рабочие места и вовлечь сельское население в программы экологического восстановления. Кроме того, использование местных природных ресурсов и адаптированных биостаммов снижает зависимость от импорта и укрепляет локальные научные компетенции.



В образовательных учреждениях Туркменистана целесообразно включить дисциплины по биотехнологии почв и экоинженерии, чтобы формировать кадровый потенциал для реализации подобных проектов.

Заключение. Биотехнологические решения являются перспективным направлением борьбы с подвижными песками в Туркменистане. Применение биокорок, МИСР и биополимеров способствует формированию устойчивой почвенной структуры, восстановлению экосистем и защите инфраструктуры. Эти методы экологичны, экономически выгодны и адаптированы к экстремальным климатическим условиям страны.

Интеграция биотехнологий с растительным покровом, создание национальных стандартов и развитие научного сопровождения позволят обеспечить системный подход к мелиорации песчаных территорий. Туркменистан обладает всеми необходимыми предпосылками для становления центра инноваций в области биоинженерии засушливых земель, что будет способствовать повышению экологической безопасности и устойчивому развитию страны.

Список литературы:

1. Belnap J., Lange O. L. Biological soil crusts: structure, function and management — Berlin: Springer-Verlag, 2003. — 471 p.
2. DeJong J. T., Mortensen B. M., Martinez B. C., Nelson D. C. Bio-mediated soil improvement — Ecological Engineering. — 2010. — Vol. 36, No. 2. — P. 197–210.

