МИКРООРГАНИЗМЫ В СОСТАВЕ ПОЧВЫ: СТРУКТУРА, ФУНКЦИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Бакаева Шоира Бахшиллоевна,
Акрамова Бахрона Азимжоновна
Бухарский Государственный
Педагогический Институт
e-mail: bahronaakramova@gmail.com

Аннотация. *Почва представляет собой сложную биокосную систему, в составе которой микроорганизмы играют ключевую роль в формировании ее структуры, плодородия и устойчивости экосистем. В статье рассматриваются основные группы почвенных микроорганизмов, их функциональная активность, участие в биогеохимических циклах и влияние на продуктивность агроценозов. Анализируются современные представления о микробном биоразнообразии почвы и факторы, определяющие его динамику.*

Ключевые слова: *почва, микроорганизмы, бактерии, грибы, актиномицеты, плодородие, биогеохимические циклы, микробиом почвы, водоросли почвы.*

Annotatsiya. *Tuproq murakkab bioinert tizim bo‘lib, uning tarkibida mikroorganizmlar tuzilma, unumdorlik va ekotizimlar barqarorligini shakllantirishda muhim rol o‘ynaydi. Maqolada tuproq mikroorganizmlarining asosiy guruhlari, ularning funksional faolligi, biogeokimyoviy aylanishlardagi ishtiroki hamda agrotsenozlar mahsuldorligiga ta’siri ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, tuproqning mikrob xilma-xilligi haqidagi zamonaviy qarashlar va uning dinamikasini belgilovchi omillar tahlil qilinadi.*

Kalit so‘zlar: *tuproq, mikroorganizmlar, bakteriyalar, zamburug‘lar, aktinomitsetlar, unumdorlik, biogeokimyoviy aylanishlar, tuproq mikrobiomi, tuproq suvo‘tlari.*

Abstract. *Soil is a complex biogenic-abiotic system in which microorganisms play a key role in the formation of its structure, fertility, and ecosystem stability. The article examines the main groups of soil microorganisms, their functional activity, participation in biogeochemical cycles, and their influence on the productivity of agroecosystems. Modern perspectives on soil microbial biodiversity and the factors determining its dynamics are also analyzed.*

Keywords: *soil, microorganisms, bacteria, fungi, actinomycetes, fertility, biogeochemical cycles, soil microbiome, soil algae.*

Введение

Урбанизация, интенсификация сельского хозяйства и изменение климата оказывают беспрецедентное давление на почвенный покров планеты.[1] Почва — это не просто субстрат, а живая, динамичная система, функционирование которой более чем на 90% зависит от населяющих ее микроорганизмов. Несмотря на свою невидимость, почвенный микробиом управляет ключевыми процессами: от разложения растительных остатков и образования гумуса до обеспечения растений элементами питания и защиты от стрессов.

За последние три десятилетия количество публикаций, посвященных почвенным микроорганизмам, неуклонно росло, чему способствовало развитие молекулярно-генетических методов. [2] Если ранее ученые могли изучать лишь малую долю культивируемых микроорганизмов, то сегодня высокопроизводительное секвенирование (NGS) позволяет заглянуть в "мир невидимок" и оценить их колоссальное

разнообразие. Цель данного обзора — представить целостную картину структуры и функций почвенного микробиома, а также обсудить практические аспекты управления микробными сообществами для обеспечения продуктивности и устойчивости агроценозов.

1. Основные группы почвенного микробиома и их вклад

Почвенный микробиом представлен тремя доминирующими доменами: бактерии, археи и эукариотические микроорганизмы (преимущественно грибы).

Бактерии являются наиболее многочисленной и разнообразной группой. Они выполняют широкий спектр функций: от деструкции органических полимеров до фиксации атмосферного азота. Ключевые функциональные группы включают:

Азотфиксирующие бактерии (симбиотические рода Rhizobium и свободноживущие Azotobacter, Clostridium), переводящие инертный азот атмосферы (N_2) в доступную для растений форму (NH_3).

Фосфат- и калиймобилизующие бактерии, способные растворять труднорастворимые минеральные соединения почвы за счет выделения органических кислот и ферментов.[3]

Актиномицеты, участвующие в разложении сложных полимеров (хитин, целлюлоза) и являющиеся продуцентами антибиотиков, подавляющих развитие фитопатогенов.

Грибы формируют разветвленную сеть гиф (мицелий), которая физически связывает частицы почвы, улучшая ее структуру и водоудерживающую способность. Особое значение имеют:

Микоризные грибы (в частности, арбускулярная микориза), вступающие в симбиоз с корнями большинства наземных растений. Гриб снабжает растение водой и минеральными элементами (особенно

фосфором), получая взамен углеводы. Этот симбиоз критически важен для выживания растений в стрессовых условиях.[4]

Археи долгое время оставались "скрытыми игроками" почвенной микробиологии. Сегодня известно, что они играют важнейшую роль в завершающих этапах цикла углерода (метаногенез в анаэробных условиях) и азота (окисление аммиака). Археи, окисляющие аммиак (Thaumarchaeota), часто более многочисленны в почвах, чем их бактериальные аналоги, и вносят существенный вклад в нитрификацию.

2. Экологические функции и влияние на здоровье почвы

Термин "здоровье почвы" (soil health) подразумевает ее способность функционировать как живая система, поддерживая продуктивность растений и качество окружающей среды. Микроорганизмы — центральный элемент этого концепта. Они обеспечивают:

Структурную организацию: Полисахариды, выделяемые бактериями, и гифы грибов склеивают почвенные частицы в устойчивые агрегаты, что предотвращает эрозию и обеспечивает аэрацию. [5]

Подавление болезней: В здоровых почвах формируются супрессивные микробные сообщества, которые естественным образом ограничивают развитие фитопатогенов. Это достигается за счет конкуренции за ресурсы, продукции антибиотиков и паразитизма. Снижение микробного разнообразия, напротив, повышает уязвимость почвы к инвазии патогенов.

Деградацию поллютантов: Почвенные микроорганизмы обладают уникальной способностью разлагать ксенобиотики и нефтепродукты, что лежит в основе биоремедиации загрязненных почв.

3. Методология изучения: от культивирования к метагеномике

Прорыв в понимании почвенного микробиома связан с внедрением молекулярных методов. Традиционные методы посева на питательные

среды позволяют изучить не более 1% от реального разнообразия микроорганизмов.[6]

Современный подход базируется на анализе тотальной ДНК, выделенной непосредственно из почвы:

Метабаркодинг (ампликонное секвенирование): Секвенирование маркерных генов (например, 16S рРНК для бактерий и архей, ITS для грибов) позволяет получить "отпечатки пальцев" микробных сообществ и оценить их таксономическое разнообразие.

Метагеномика (метагеномное секвенирование): Секвенирование всей совокупности генов почвенного метагенома дает информацию не только о том, кто присутствует в сообществе, но и о том, на что микроорганизмы потенциально способны (гены азотфиксации, деградации поллютантов и т.д.).

Метатранскриптомика и метапротеомика: Позволяют оценить, какие гены реально экспрессируются и какие белки синтезируются, то есть определить актуальную функциональную активность микробного сообщества.

Для оценки интегральной активности сообщества по-прежнему широко используются физиолого-биохимические показатели: базальное и субстрат-индуцированное дыхание, микробная биомасса углерода, ферментативная активность. Эти показатели признаны наиболее надежными и интерпретируемыми индикаторами при мониторинге состояния почв.[7]

4. Практическое применение: управление микробиомом в агроценозах

Понимание закономерностей функционирования почвенных микроорганизмов открывает путь к управлению ими. Интенсивные агропрактики (вспашка, монокультура, избыточное применение

пестицидов и минеральных удобрений) приводят к обеднению микробного сообщества и гомогенизации микробиома.

Альтернативные подходы, способствующие восстановлению и поддержанию микробного разнообразия, включают:

Использование покровных культур и сидератов для обеспечения постоянного притока органического вещества в почву.

Минимизация обработки почвы (No-Till) для сохранения структуры мицелия грибов.

Применение микробных биопрепаратов на основе PGPR-бактерий (plant growth-promoting rhizobacteria) и микоризных грибов. Эти препараты (биоудобрения, биофунгициды) повышают эффективность использования питательных веществ растениями и их устойчивость к патогенам, снижая потребность в химических удобрениях и пестицидах.

Заключение и перспективы

Почвенный микробиом является основой функционирования наземных экосистем. Современные исследования демонстрируют прямую связь между микробным разнообразием, здоровьем почвы и продуктивностью растений. Однако до сих пор остаются значительные пробелы в знаниях о том, как именно комбинации различных агротехнических приемов влияют на отдельные функциональные группы микроорганизмов, как формируется устойчивость почв к инвазиям патогенов и как микробные сообщества будут реагировать на глобальные климатические изменения.

Будущие исследования должны быть направлены на интеграцию многомасштабных данных — от генов до экосистемных функций — с использованием методов системной биологии и биоинформатики. Ключевой задачей является переход от простого описания структуры микробиома к пониманию причинно-следственных связей и разработке

надежных, стандартизированных микробиологических критериев для оценки качества почв и сертификации органической продукции.[8]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьева, Н. Д., Иващенко, К. В., & Сушко, С. В. (2021). Микробные показатели городских почв и их роль в оценке экосистемных сервисов (обзор). Почвоведение, (10), 1231-1246.

2. Добровольская, Т. Г., Звягинцев, Д. Г., Чернов, И. Ю., и др. (2015). Роль микроорганизмов в экологических функциях почв. *Почвоведение*, (9), 1087–1096.

3. Корчмару, С., Меренюк, Г., Ursu, А., & Боинчан, Б. (2011). Почвенно-микробиологические аспекты устойчивости земледелия и охраны почв. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*, (315), 135-139

4. Полянская, Л. М., & Звягинцев, Д. Г. (2005). Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв. *Почвоведение*, (6), 706–714.

5. Cozim-Melges, F., Ripoll-Bosch, R., Oggiano, P., et al. (2025). The effect of alternative agricultural practices on soil biodiversity of bacteria, fungi, nematodes and earthworms: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 379, 109329.

6. Korneykova, M., Kozlova, E., Ivashchenko, K., et al. (2023). Urban soil microbiome: Activity, diversity and functioning. In *Urban Soil Microbiome*. Elsevier.

7. Singh, B. K., Trivedi, P., Singh, T. S., et al. (2025). Plant pathogens, microbiomes, and soil health. *Trends in Microbiology*, 33(8), 887-902.

8. Volkogon, V. V. (2024). The significance of microorganisms for soil health and optimization of the formation of biocenoses. *Plant Physiology and Genetics*, 56(1), 3-26.