

Микробиологическая активность естественных биотопов горно-лесных желтоземных почв

В. Т. Мамедзаде✉

Институт почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджанская Республика

✉Email: vafa.mammadzade@mail.ru

Аннотация. Цель – провести исследование микробиологической обстановки горно-лесных желтоземных почв. **Методы.** В 2022–2024 годах были проведены межевания на Ленкоранской равнине, одном из важных туристических и экономических регионов Азербайджана. Микробиологические пробы отбирали стерильными инструментами. Собранные образцы почвы помещали в стерильные бумажные пакеты. Было обследовано 13 почвенных профилей. Почвенный материал для анализа был собран из горизонта А. **Научная новизна.** Научные инновации, полученные в ходе исследований, могут быть использованы в качестве литературного материала в связи с отсутствием в последние годы в Ленкоранском районе биологических исследований почвы современными методами. **Результаты.** Установлено, что микробиологическая активность тесно связана с гумусовыми веществами. Поэтому проведены исследования на двух естественных биотопах: лесных и Ханбуланчайском. Потепление почвы может изменить бактериальные сообщества, влияя на накопление углерода (С) и круговорот азота (N) в лесных экосистемах. Потепление сместило бактериальное сообщество в сторону олиготрофных таксонов, тогда как добавление азота могло ослабить эту тенденцию. Мы пришли к выводу, что высота является фактором окружающей среды, наиболее сильно связанным с общим количеством микробов. Кислотность почвы не связана с изменением численности микробов, но повышенное количество микромицетов обнаруживается в более кислых почвах независимо от их высоты. Общее микробное число микроорганизмов в исследуемых накопительных горизонтах варьировало от 5,96 lg КОЕ/г сухой почвы до 6,41 lg КОЕ/г сухой почвы. Настоящее исследование, как и все его результаты, могут служить основой для проведения многолетнего сезонного анализа обследованных территорий. Это позволит искать устойчивые взаимосвязи в долгосрочном периоде, охватывая различные факторы окружающей среды, потенциально влияющие на микробную биоту почвы.

Ключевые слова: почва, микробиота, биотопы, взаимосвязь гумуса и микроорганизмов

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность за лабораторные исследования и за сезонные командировки Институту почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики. Исследование, представленное в статье, выполнено за счет собственных финансовых средств автора в Институте почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики.

Для цитирования: Мамедзаде В. Т. Микробиологическая обстановка естественных биотопов горно-лесных желтоземных почв // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 01. С. 10–19. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-10-19>.

Дата поступления статьи: 19.05.2024, **дата рецензирования:** 02.09.2024, **дата принятия:** 27.09.2024.

Microbiological activity of natural biotope of mountain forest yellow soils

V. T. Mammadzade✉

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan

✉Email: vafa.mammadzade@mail.ru

Abstract. The purpose is to conduct a study of the microbiological situation of mountain forest yellow soils. **Methods.** In 2022–2024, soil researches were carried out on the Lankaran Plain, one of the important tourist and economic regions of Azerbaijan. Soil material for analysis was collected from horizon A. **Scientific novelty.** Scientific innovations obtained in the course of research can be used as literary material due to the lack of biological soil research using modern methods in the Lenkoran region in recent years. **Results.** Research has established that microbiological activity closely related to humic substances. Therefore, research was carried out on two natural biotopes: forest and Khanbulanchay. Soil warming could change bacterial communities, affecting carbon (C) storage and nitrogen (N) cycling in forest ecosystems. Soil warming significantly altered the bacterial community structure, causing a decrease in Proteobacteria and Acidobacteria and an increase in Actinobacteria and Chloroflexi. High N addition had a greater effect on bacterial community structure than low N addition. Warming shifted the bacterial community toward oligotrophic taxa, whereas nitrogen addition may have weakened this trend. We conclude that altitude is the environmental factor most strongly associated with total microbial counts. Soil acidity is not associated with changes in microbial abundance, but increased numbers of micromycetes are found in more acidic soils regardless of altitude. The total microbial number of microorganisms in the studied accumulation horizons varied from 5.96 lg CFU/g dry soil to 6.41 lg CFU/g dry soil. This study, like all its results, can serve as the basis for conducting a multi-year seasonal analysis of the surveyed areas. This will allow for search for consistent relationships over the long term, covering different environmental factors potentially influencing soil microbial biota.

Keywords: soil, microbiota, biotopes, relationship between humus and microorganisms

Acknowledgements. The author expresses his deep gratitude to the institute for providing the necessary equipment for laboratory research and for seasonal business trips to the research site at the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. The research presented in the article was carried out at the expense of the author's own funds at the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan.

For citation: Mammadzade V. T. Microbiological activity of natural biotopes of mountain-forest yellow earth soils. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (01): 10–19. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-10-19>. (In Russ.)

Date of paper submission: 19.05.2024, **date of review:** 02.09.2024, **date of acceptance:** 27.09.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Леса являются высокопродуктивными экосистемами, вносят вклад в биогеохимические циклы углерода и азота, посредством которых они регулируют климат и глобальные изменения [1]. Леса также представляют собой пространственно весьма неоднородные экосистемы, которые содержат множество микробно-опосредованных реактивных интерфейсов. В основном это граница раздела корень – почва, граница раздела подстилка – почва, граница корень – корень и граница растение – атмосфера. Каждый из этих интерфейсов имеет свои уникальные характеристики и конкретные факторы, влияющие на численность микробов, доступность питательных веществ, микробное сообщество и доминирование определенных микробных таксонов.

Здесь мы рассматриваем опосредованные микробами реактивные взаимодействия в лесах, уделяя особое внимание взаимосвязи и динамике грибов и бактерий в широком временном масштабе, при этом экосистемные процессы варьируются от краткосрочных событий (например, сезонных изменений) до долгосрочного развития насаждений, страдающего от глобальное изменение климата (например, глобальное потепление или отложение азота).

Почвы и экологические исследования почв требуют осведомленности о непосредственной окружающей среде в пределах масштабов присутствия биологических организмов. Учитывая, что микробиологические процессы интенсивны в течение года, органические остатки древесной и травянистой растительности подвергаются сложным био-

химическим превращениям. Эти исследования могут включать предметные темы, имеющие отношение к почвоведению и его компонентам, растениеводству и устойчивому экономическому развитию, животноводству, лесному хозяйству, рыболовству, а также оценке экологических рисков [2; 3]. Поэтому знание биологических организмов необходимо во многих аспектах сельскохозяйственных и экологических оценок. Отсутствие доступа к этим знаниям является очевидным фактором, определяющим ограниченность надежных знаний о том, что представляет собой наша глобальная экосистема, а также научной проблемой для новых сельскохозяйственных разработок. Почвенные микроорганизмы являются важной частью пищевой сети леса [4; 6]. Они играют важную роль в трансформации органического вещества почвы и в подготовке трансформации органических компонентов к включению в биогеохимический круговорот [5]. Большое количество исследований сосредоточено на важной роли микроорганизмов как предсказателей изменений окружающей среды. Эти организмы, или почвенная биота, включают бактерии, актиномицеты, грибы и водоросли (микрофлора); простейшие и нематоды (микрофауна); коллемболы, клещи, термиты, муравьи и другие сопутствующие микроорганизмы, а также мезофауну и флору. Они играют жизненно важную роль в почве и очень важны для глобального биоразнообразия и глобальной экосистемы. Таким образом, обеспечивается лучшее понимание связей между исходными материалами почвы, составом растительного сообщества, регенерацией леса, органическим веществом и разнообразные организмы в более контрастных средах [8; 10]. Почвенная биота – это общий термин, обозначающий все почвенные организмы, живущие и взаимодействующие в почвенной среде, рассматриваемые как биологический двигатель Земли, движущие и преобразующие физические, химические, биологические и экологические процессы в почве. Почвенную биоту необходимо изучать выборочно из-за ее широкого разнообразия и распространения в сложной и неоднородной почвенной среде в масштабах от микронов до метров. Это означает, что биоразнообразие почвенной биоты представляет собой индустрию с разнообразными компонентами, которые вместе превращают почвы в живую и функциональную среду, и значительную часть глобального наземного биоразнообразия в почве. Типичными представителями почв влажных субтропиков являются горно-лесные желтоземные почвы. Они формируются под буково-грабовой, дубовой растительностью, вечнозеленым подлеском и разреженным травянистым покровом. В климатическом отношении горно-лесные желтоземные почвы отличаются контрастностью в распределении тепла, влаги, амплитуд температур, количеством выпада-

ющих осадков, которые всецело определяют интенсивность микробиологических процессов. Почвообразующими породами являются бескарбонатные делювиальные глины и суглинки с низкой порозностью и крайне слабой водопроницаемостью.

Достаточно продолжительный теплый период способствует интенсивной минерализации древесного опада и относительно глубокому микробиологическому распаду лесной подстилки. Процесс почвообразования протекает в условиях относительно повышенного поверхностного увлажнения и более глубокой промачиваемости почв [11; 13]. Большая продолжительность этого процесса в кислой и слабокислой среде приводит к интенсивному перераспределению минеральных элементов и илистых частиц по профилю почвы. Присутствующие в почвенном растворе катионы в процессе химической сорбции с органическими веществами образуют координационные связи. Процессы химического поглощения играют существенную роль в образовании между глинистыми минеральными и гумусовыми веществами органо-минеральных и глино-гумусовых соединений. Кроме того, на поверхности почвы удерживаются коллоидальные дисперсные частицы минералов и различных органических веществ. Поверхность образующихся глино-гумусовых соединений является хорошей питательной средой для многих групп микробиоты, поэтому почва активно сорбирует также живую массу микроорганизмов.

В итоге сорбированная микробиота создает дополнительную биомассу, которая совместно с дисперсными органическими компонентами в процессе гумификации пополняет резервы гумусовых веществ почвы. Микробиологические показатели все более широко используются при анализе и характеристике свойств многих типов почв, состояния экосистем и экологических функций самой почвы [12; 14]. При этом рассматриваются такие вопросы, как возможности и перспективы управления микробными сообществами, восстановления микробного звена, агрогеохимического круговорота CO_2 в качестве индикаторов при оценке экологического состояния загрязненных почв и механизмов функционирования природных и антропогенных экосистем.

В 2022–2024 годах были проведены межгосударственные исследования на Ленкоранской равнине, одном из важных туристических и экономических регионов Азербайджана. Исследованиями установлено, что микробиологическая активность тесно связана с гумусовыми веществами. Поэтому проведены исследования на двух естественных биотопах: лесных и Ханбуланчайском. Потепление почвы может изменить бактериальные сообщества, влияя на накопление углерода (C) и круговорот азота (N) в лесных экосистемах. Потепление почвы существенно изменило структуру бактериального сообщества, вызвав уменьше-

ние количества протеобактерий и ацидобактерий и увеличение количества актинобактерий и хлорофлукси. Высокое добавление азота оказало большее влияние на структуру бактериального сообщества, чем его низкое добавление. Потепление сместило бактериальное сообщество в сторону олиготрофных таксонов, тогда как добавление азота могло ослабить эту тенденцию.

Учитывая, что изучаемые нами горно-лесные желтоземные почвы являются одним из доминирующих типов среди почв желтоземного ряда Ленкоранской области, мы сочли целесообразным провести исследование их микробиологической обстановки. Результаты экологических сетей показали, что потепление привело к усложнению сети совместного возникновения и усилению взаимодействия между сообществами разных типов, в то время как добавление азота усилило сотрудничество внутри сообществ, относящихся к одному и тому же типу. Мы утверждаем, что глубокие знания лесной микробиологии можно получить только путем изучения сложного лесного микробиома и функций его экосистемы. Создание основы для индивидуальных изменений лесов в итоге в будущем облегчит разработку стратегий, основанных на микробиоме. В этом отношении микроорганизмы управляют нишевыми процессами, оказывая значительное влияние на питательные вещества, взаимодействия и конкуренцию растений. Быстрые изменения в микробном сообществе почвы влияют на реакцию распространения деревьев и сосуществование популяций на новое давление отбора в окружающей среде. По сравнению с бактериями грибы, по-видимому, привлекают больше внимания в лесных экосистемах, и исследования показали, что грибы в лесах очень разнообразны и чувствительны к изменениям окружающей среды с точки зрения структуры сообщества, разнообразия и биомассы. Изучение лесных микробных сообществ отстает от изучения микробиомов сельскохозяйственных растений, поскольку развитие лесной экосистемы представляет собой сложный систематический процесс, на который влияют не только почва, но и корни, ризосфера, подстилка. Взаимодействия между деревьями и связанными с ними микробными сообществами чрезвычайно сложны. Пространственная неоднородность этих интерфейсов усложняет прогнозирование функций экосистем на уровне насаждений, и все эти микробные интерфейсы взаимосвязаны частыми потоками микробов (микробное рассеивание и смешивание). Таким образом, существует острая необходимость исходить из лесного микробиома путем интеграции микробиологии, сопряженной с основными реактивными взаимодействиями в лесных экологических процессах, с целью охватить всю микробиоту, связанную с многочисленными средами обитания в лесу любого типа. Коллектив-

ная информация о микробном статусе (например, о структуре и функциях микробиоты) позволяет понять взаимосвязь между микробами, а также между микробиомом и параметрами окружающей среды. Связанный с корнем микробиом является важным фактором эволюции лесного микробиома. В частности, биотрофная связь, установившаяся между растениями и микоризными грибами, влияет на эволюционную траекторию растения-хозяина. Разложение подстилки, особенно в лесах умеренного пояса, сильно зависит от времени года.

Материалы и методы исследования (Methods)

Микробиологические пробы отбирали стерильными инструментами. Собранные образцы почвы помещали в стерильные бумажные пакеты с соблюдением всех правил стерильности. Было обследовано 13 почвенных профилей. Почвенный материал для анализа был собран из горизонта А (рис. 3). В качестве объекта исследования были выбраны естественный лесной биотоп под дубово-железняковой, мертво-покровной растительностью и биотоп, расположенный вблизи озера Ханбуланчайского. Почвенные пробы из указанных ценозов отбирались послойно с горизонтов 0–10 см; 10–20 см и 20–30 см. Лабораторный анализ проводился с целью определения основных характеристик почвы: кислотность почвы ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$) – ISO 10390; содержание органического углерода – модифицированный метод Турина и метод разложения Кьельдаля (ISO 11261) для определения общего содержания азота с соблюдением всех мер асептики. Для определения общего микробного числа использовали метод последовательного разведения и последующую инокуляцию на соответствующую элективную агар-среду. Для определения общего количества бактерий использовалась питательная среда, состоящая из мясо-пептонного агара (МПА). Для определения актиномицетов и микроскопических грибов использовались крахмально-аммиачный агар и сусло-агар, подкисленный лимонной кислотой. Для выделения микромицетов используют агар Чапека – Докса. Подсчет выражали в виде колониеобразующих единиц на грамм сухой почвы (КОЕ/г сухой почвы) под логарифмом (\lg). Мы изучали состояние, а также изменения бактериального сообщества путем нагревания почвы и добавления двух уровней азота (40 и 80 kg N ga^{-1}) в течение двух лет на субтропической лесах. Микробиологические исследования собранных образцов почвы проводились сразу после их сбора. Проанализированы основные микробиологические показатели, связанные с биогенностью почвы: общая микробная численность, определение процентного распределения различных микробных групп (спорообразующие бактерии, неспорообразующие бактерии, актиномицеты и микромицеты). Для определения спорообразующих бактерий почвенный экстракт

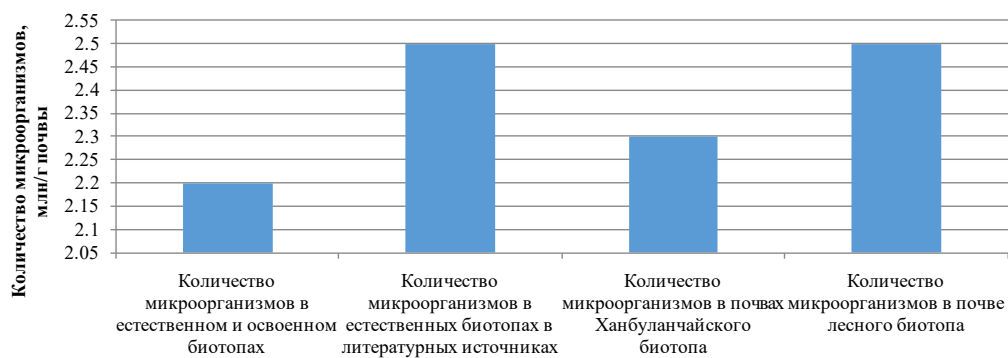
предварительно пастеризовали. Питательный агар использовали для культивирования спорообразующих и неспорообразующих бактерий. Для выделения актиномицетов использовали агар для выделения актиномицетов.

Результаты (Results)

Изучено и проанализировано 13 почвенных профилей. Учитывая вышеизложенное, микробные популяции будут располагаться в определенных микросредах в соответствии с их потребностями для роста и выживания. Благодаря своей чувствительности и адаптивности микроорганизмы могут служить индикатором состояния почв лесных территорий и отсюда предоставлять своевременную информацию о состоянии и динамических изменениях, происходящих в лесных экосистемах в результате глобального изменения климата. Именно терапевтическая реакция на изменения окружающей среды позволяет использовать микроорганизмы в качестве индикатора изменений состояния почвы. Численность и распределение микробных групп являются важными показателями здоровья и качества почвы. Биогенность почвы – динамический показатель, связанный с параметрами почвы. Динамика численности и процентного распределения почвенных микроорганизмов является показателем активности преобразования органического вещества почвы. Наличие высокой биогенности лесных почв предполагает процессы трансформации органического вещества со скоростью, обеспечи-

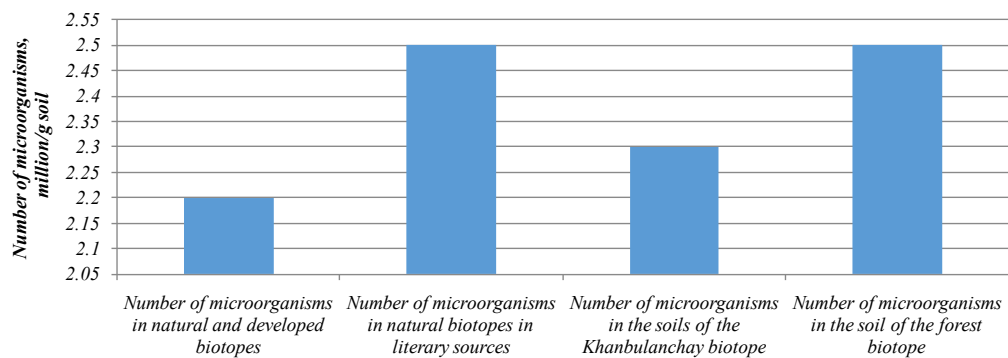
вающей необходимые питательные вещества растениям и поддерживающей регулярный круговорот веществ. Почвенные микроорганизмы являются ключевым элементом лесных почв. Они участвуют в превращении растительного сырья в гумус. Исследуемые почвы вследствие избыточного увлажнения, слабокислой и кислой реакции почвенной среды (рН = 4,7...6,0) резко понижают микробиологические темпы деструкции подстилки и вовлечение продуктов разложения на гумусообразование. Поскольку процесс минерализации подстилки протекает в течение года, то растительные остатки успевают значительно разложиться.

Вследствие интенсивного вымывания образующихся гумусовых веществ не происходит накопления и образования мощных запасов гумусовых горизонтов. Все это существенным образом отражается на количественных показателях микроорганизмов и их распределении по отдельным почвенным горизонтам. Первоначально наши исследования охватывали определение общего количества микроорганизмов в выбранных биотопах. Было установлено, что в почве лесного биотопа в слое 0–30 см было 2,6 млн/г почвы микроорганизмов, аналогично в почве Ханбуланчайского биотопа численность микроорганизмов составила в среднем 2,3 млн/г почвы. Как видно из диаграммы (рис. 1), полученные нами данные по естественным биотопам полностью согласуются с литературными показателями.



Горно-лесная желтоземная почва

Рис. 1. Сравнительный анализ количества микроорганизмов по отдельным биотопам горно-лесных желтоземных почв



Mountain-forest yellow soil

Fig. 1. Comparative analysis of the number of microorganisms in individual biotopes of mountain-forest yellow earth soils

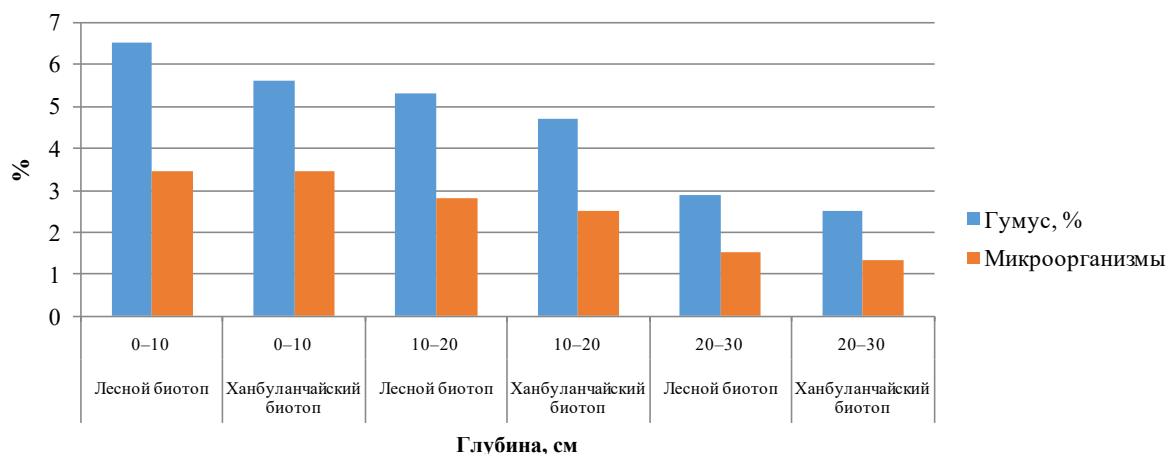


Рис. 2. Взаимосвязь количественных показателей гумуса и микроорганизмов по отдельным слоям изучаемых биотопов горно-лесной желтоземной почвы

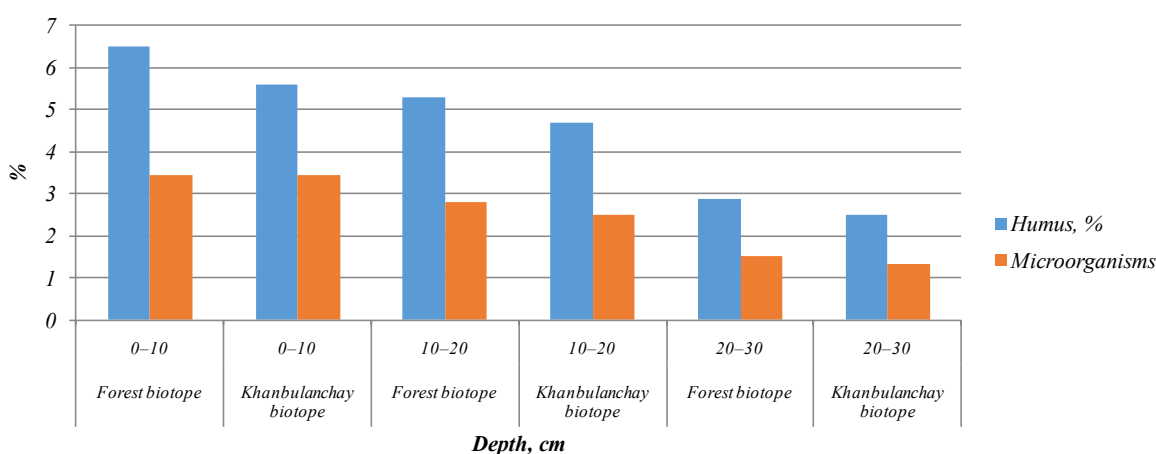


Fig. 2. Relationship between quantitative indicators of humus and microorganisms

Сравнение карт, составленных в разные годы, показывает, что биологическое разнообразие лесных экосистем равнинной территории когда-то было богатым, а основным типом ландшафта был лесной покров. Площадь лесов региона составляет 150 000 га. Однако из-за воздействия долговременных антропогенных факторов реликтовые растения сокращаются, а биологическое разнообразие деградирует. Исключение составляет лишь почва освоенного биотопа, где общее количество микроорганизмов возрастает до 3,5 млн/г почвы.

Поскольку жизнедеятельность микроорганизмов тесно связана с гумусовыми веществами, особую значимость приобретает анализ взаимосвязи между изменением количества микроорганизмов и гумуса по отдельным горизонтам изучаемых биотопов (рис. 2). Так, если в почвенных горизонтах (0–10, 10–20 и 20–30 см) лесного биотопа содержание гумуса изменяется в пределах 2,9–6,5 %, то адекватно ему общее количество микроорганизмов в этих горизонтах соответственно варьирует от 3,45 до 1,54 млн/г почвы. В почве Ханбуланчайского биотопа содержание гумуса несколько уменьшается до 2,5–5,6 %, при этом понижаются и количественные показатели микроорганизмов до 1,34–2,97 млн/г по-

чвы. Как видно из этих данных, гумусовые вещества составляют важную часть пищевых ресурсов автохтонной группы микроорганизмов. Объединив изменения в содержании азота, наблюдаемые в почве, бактериях и растениях, мы предположили, что как потепление, так и добавление азота увеличивают оборот углерода и азота (между растениями и микроорганизмами) и продуктивность растений в долгосрочной перспективе. Наш эксперимент может быть ценным для понимания механизмов потепления и воздействия добавления азота на почвенные микробы. Кроме того, двухлетний период для изучения последствий потепления почвы и добавления азота, а также их взаимодействия может оказаться слишком коротким. Краткосрочные последствия потепления и добавления азота могут заметно отличаться от долгосрочных реакций. Хотя наши результаты показали, что бактериальное сообщество изменилось за два года потепления, необходимы более долгосрочные исследования, а механизмы экологических эффектов требуют дальнейшего изучения. Изменения в структуре и образе жизни почвенных бактериальных сообществ могут влиять на разложение органического вещества почвы и, как следствие, на рост растений. Изменения в составе

бактериального сообщества могут отражать изменения в доступности питательных веществ в почве при потеплении. Доля олиготрофных и копитрофных таксонов в бактериальном сообществе является важным предиктором содержания органического углерода в почве минерализация. Учитывая сдвиг (от копитрофных к олиготрофным таксонам), наблюдаемый после двух лет потепления почвы; экология и функции этих двух групп в лесных биогеохимических циклах заслуживают дальнейшего изучения. Наши результаты показывают, что разные виды могут реагировать на потепление по-разному, что приводит к изменениям в относительной численности определенных таксонов; однако экологические последствия требуют дальнейшего изучения. В нашем исследовании структура почвенного бактериального сообщества изменилась после двух лет прогрева почвы и внесения азота. В ответ на потепление значительно увеличилось количество актинобактерий и хлорофлекси, тогда как концентрации протеобактерий и ацидобактерий снизились. Обработка высоким содержанием азота оказала большее влияние на структуру бактериального сообщества, чем легкое добавление азота. Хотя добавление азота оказало меньшее воздействие, чем по-

тепление, оно привело к схожим закономерностям изменений на уровне типа и класса. Потепление вызвало сдвиг в сторону олиготрофных таксонов, тогда как добавление азота могло ослабить эту тенденцию. Топологические индексы экологических сетей еще раз подчеркнули различные модели совместного существования внутри почвенного бактериального сообщества в условиях потепления и добавления азота. Потепление усложнило сеть совместной встречаемости, увеличив взаимодействие между различными микробными типами, в то время как добавление азота индуцировало более высокий уровень сотрудничества внутри типа. Нагревание почвы и добавление азота ускорили циклы углерода и азота в почве, увеличивая восходящий поток азота (из подземных в надземные) и скорость разложения, тем самым способствуя росту деревьев. Нам необходимо провести дополнительные исследования зрелых лесов и провести долгосрочное исследование для изучения механизмов, лежащих в основе этих экологических последствий. Общее микробное число микроорганизмов в исследуемых накопительных горизонтах варьировало от 5,96 lg КОЕ/г сухой почвы до 6,41 lg КОЕ/г сухой почвы (таблица 1).

Таблица 1
Общее микробное число и количество основных микробных групп, lg КОЕ/г сухой почвы

Общее микробное число	Спорообразующие бактерии	Неспорообразующие бактерии	Актиномицеты	Микромицеты
6,32 ± 0,15	5,58 ± 0,16	5,72 ± 0,19	4,88 ± 0,23	5,13 ± 0,37
6,36 ± 0,15	5,62 ± 0,16	5,85 ± 0,19	4,62 ± 0,23	5,09 ± 0,37
6,40 ± 0,15	5,96 ± 0,16	6,11 ± 0,19	5,00 ± 0,23	5,26 ± 0,37
6,41 ± 0,15	5,88 ± 0,16	6,18 ± 0,19	5,10 ± 0,23	5,28 ± 0,37
6,32 ± 0,15	5,88 ± 0,16	6,00 ± 0,19	5,17 ± 0,23	5,27 ± 0,37
6,31 ± 0,15	5,90 ± 0,16	6,00 ± 0,19	5,06 ± 0,23	5,08 ± 0,37
6,30 ± 0,15	5,84 ± 0,16	5,90 ± 0,19	5,49 ± 0,23	5,30 ± 0,37
6,26 ± 0,15	5,73 ± 0,16	6,04 ± 0,19	4,93 ± 0,23	4,88 ± 0,37
6,10 ± 0,15	5,71 ± 0,16	5,74 ± 0,19	5,26 ± 0,23	4,43 ± 0,37
6,11 ± 0,15	5,51 ± 0,16	5,65 ± 0,19	5,15 ± 0,23	5,59 ± 0,37
6,18 ± 0,15	5,69 ± 0,16	5,76 ± 0,19	5,42 ± 0,23	5,21 ± 0,37
6,00 ± 0,15	5,54 ± 0,16	5,69 ± 0,19	5,15 ± 0,23	4,30 ± 0,37
5,96 ± 0,15	5,51 ± 0,16	5,59 ± 0,19	5,17 ± 0,23	4,72 ± 0,37

Table 1
Total microbial amount and number of main microbial groups, lg CFU/g dry soil

Total microbial number	Spore forming bacteria	Non-spore forming bacteria	Actinomycetes	Micromycetes
6.32 ± 0.15	5.58 ± 0.16	5.72 ± 0.19	4.88 ± 0.23	5.13 ± 0.37
6.36 ± 0.15	5.62 ± 0.16	5.85 ± 0.19	4.62 ± 0.23	5.09 ± 0.37
6.40 ± 0.15	5.96 ± 0.16	6.11 ± 0.19	5.00 ± 0.23	5.26 ± 0.37
6.41 ± 0.15	5.88 ± 0.16	6.18 ± 0.19	5.10 ± 0.23	5.28 ± 0.37
6.32 ± 0.15	5.88 ± 0.16	6.00 ± 0.19	5.17 ± 0.23	5.27 ± 0.37
6.31 ± 0.15	5.90 ± 0.16	6.00 ± 0.19	5.06 ± 0.23	5.08 ± 0.37
6.30 ± 0.15	5.84 ± 0.16	5.90 ± 0.19	5.49 ± 0.23	5.30 ± 0.37
6.26 ± 0.15	5.73 ± 0.16	6.04 ± 0.19	4.93 ± 0.23	4.88 ± 0.37
6.10 ± 0.15	5.71 ± 0.16	5.74 ± 0.19	5.26 ± 0.23	4.43 ± 0.37
6.11 ± 0.15	5.51 ± 0.16	5.65 ± 0.19	5.15 ± 0.23	5.59 ± 0.37
6.18 ± 0.15	5.69 ± 0.16	5.76 ± 0.19	5.42 ± 0.23	5.21 ± 0.37
6.00 ± 0.15	5.54 ± 0.16	5.69 ± 0.19	5.15 ± 0.23	4.30 ± 0.37
5.96 ± 0.15	5.51 ± 0.16	5.59 ± 0.19	5.17 ± 0.23	4.72 ± 0.37

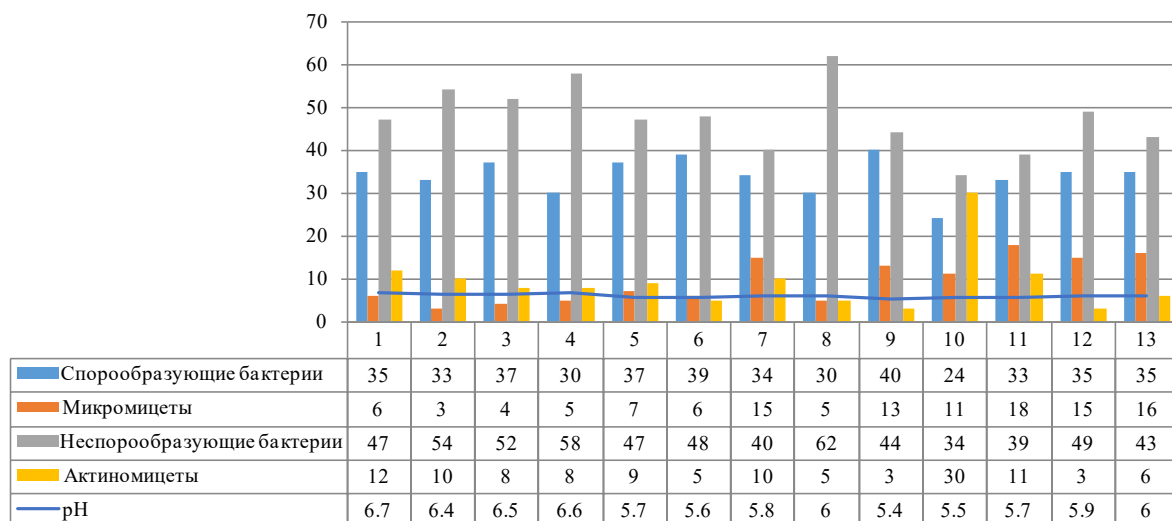


Рис. 3. Процентная доля микробных групп в общей микробной численности в 13 почвенных профилях, %

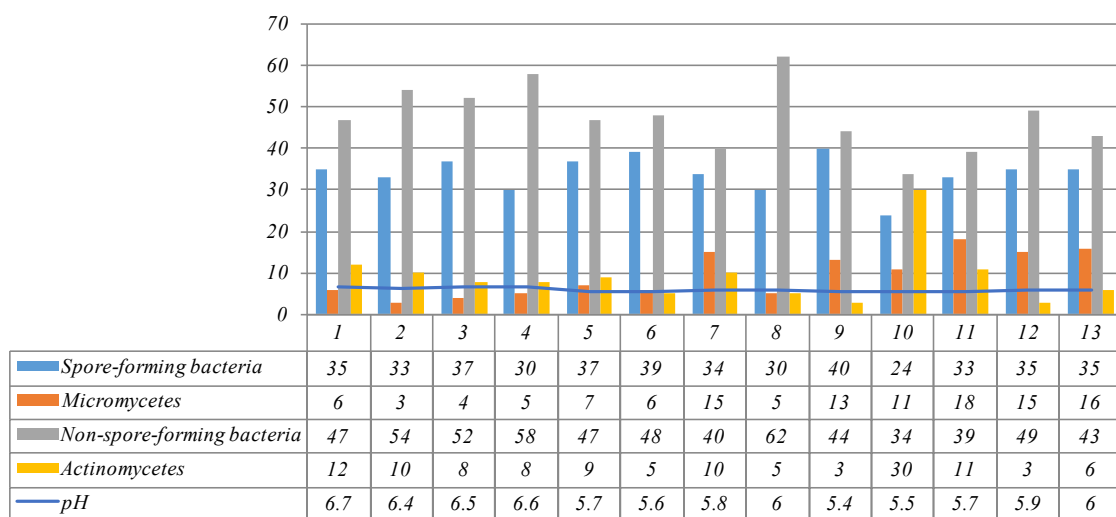


Fig. 3. Percentage share of microbial groups in 13 microbial profiles, %

Преобладание в почве определенной группы микроорганизмов свидетельствует о преобладании определенных процессов преобразования органического вещества почвы. На всех изученных участках доминируют неспорообразующие бактерии, за ними следуют спорообразующие. Такое распределение микробных групп свидетельствует о преобладании процессов трансформации более легкоразлагаемого органического вещества почвы.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Микробиологическими анализами установлено, что в почве лесного биотопа в слое 0–30 см общее количество микроорганизмов составляет 2,6 млн/г почвы, аналогично в этом слое почвы Ханбуланчайского биотопа численность микроорганизмов составила 2,3 млн/г почвы. Была установлена взаимосвязь между содержанием гумуса и количественными показателями микроорганизмов. Изменение содержания гумуса в почве обоих биотопов между 2,9–6,5 % и 2,5–5,6 % сопровождалось динамическими изменениями численности микрооргани-

мов соответственно между 1,54–3,45 млн/г почвы и 1,34–2,97 млн/г почвы. Ареалы распространения перекрываются, но группируют каждый тип почвы. Установлена значимая отрицательная корреляция между коэффициентом активности свободных оксидов железа и годовой температурой в целом ($r = -0,76, P < 0,001$). Наибольшая активность ферментов, связанных с грибами-деструкторами, обнаруживается в подстилке зимой, тогда как пика грибная биомасса достигает весной. Транскрипционные признаки грибов, архей и большинства типов бактерий сильно различаются в зависимости от сезона: например, в лесах вклад грибов-деструкторов в общее количество микробных транскриптов снизился с 33 % летом до 16 % зимой, а 26–33 % введенных родов бактерий различались по численности летом и зимой. Настоящее исследование показывает значительную отрицательную корреляцию между численностью микробов и увеличением высоты. Результаты нашего исследования показывают основную роль высоты над уровнем моря в обилии

микроорганизмов почв. Мы пришли к выводу, что высота является фактором окружающей среды, наиболее сильно связанным с общим количеством микробов. Установлено, что наибольшая численность микробов наблюдается на высоте от 1000 до 1600 м. Содержание органического углерода и общего азота, хотя они и важны для развития почвенной микрофлоры, находится под сильным влиянием высоты и ее роли в перераспределении температуры,

влажности и преобладающего растительного покрова. Кислотность почвы не связана с изменением численности микробов, но повышенное количество микромицетов обнаруживается в более кислых почвах независимо от их высоты. Большее количество микробов обнаружено на пробных участках под лиственной растительностью по сравнению с травянистой растительностью.

Библиографический список

1. Uphoff N., Thies J. (Eds.) Biological approaches to regenerative soil systems. 2nd edition. USA: CRC Press, 2023. 606 p. DOI: 10.1201/9781003093718.
2. Lal R. (Ed.) The soil-human health-nexus. USA: CRC Press, 2020. 336 p. DOI: 10.1201/9780367822736.
3. Борисов А. В., Демкина Т. С., Каширская Н. Н., Хомутова Т. Э., Чернышева Е. В. Биологическая память почв об изменениях условий почвообразования и антропогенной деятельности в прошлом: микробная и ферментная составляющие // Почвоведение. 2021. № 7. С. 849–861. DOI: 10.31857/S0032180X21070029.
4. Башкин В. Н., Галиулина Р. А. Агрогеохимические технологии управления потоками CO₂ в агроэкосистемах сообщение. Восстановление микробного звена агрогеохимического круговорота // Агрохимия. 2023. № 7. С. 86–96. DOI: 10.31857/S0002188123070049.
5. Власова А. П., Павлов К. В., Марачевская Е. В. [и др.] Изменение структуры прокариотного сообщества нефтезагрязненного чернозема при внесении нитрата и хлорида калия // Почвоведение. 2023. № 7. С. 853–863. DOI: 10.31857/S0032180X22601165.
6. Никитин Д. А., Семенов М. В., Чернов Т. И. [и др.] Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 228–243. DOI: 10.31857/S0032180X22020095.
7. FAO and UNEP. 2020. the state of the world's forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome, 2019. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.
8. Mammadova A. O., Mammadova R. N., Ashurova N. D. Ecological assessment of pastures semi-deserts and dry steppes of Azerbaijan // International Journal of Advances in Applied Sciences. 2024. Vol. 13, No. 2. Pp. 439–446. DOI: 10.11591/ijaas.v13.i2.pp439-446.
9. Delavaux C. S., Weigelt P., Dawson W., Duchicela J., Essl F., Kleunen M., et al. Mycorrhizal fungi influence global plant biogeography // Nature Ecology & Evolution. 2019. Vol. 3. Pp. 424–429. DOI: 10.1038/s41559-019-0823-4.
10. Langer R. Permaculture gardening: turning your backyard into a flourishing food forest and embracing the abundance of nature. Independently publish, 2023. 107 p.
11. Hivesworth T. Soil science for beginners: from barren to fertile: a guide to regenerative agriculture, no-till farming, composting, and natural farming for enhanced soil health. Independently publish, 2024. 86 p.
12. Корабельников И. С. Производственно-экономические особенности сельскохозяйственного районирования: региональный аспект // Аграрный вестник Урала. 2022. № 08 (223). С. 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-81-90 DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-81-90.
13. Needham N. A Spoonful of soil helps the world go round: basic soil science, testing, amendments, composting, cover crops and watering techniques. Self published, 2022. 134 p.
14. Bray R. No dig gardening: grow more, work less – a simple guide to no till gardening. Monkey Publishing, 2024. 123 p.
15. Bai Y., Wang G., Cheng Y., Shi P., Yang C., Yang H., Xu Z. Soil acidification in continuously cropped tobacco alters bacterial community structure and diversity via the accumulation of phenolic acids // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. Article number 12499. DOI: 10.1038/s41598-019-48611-5.
16. Mercado-Blanco J., Abrantes I., Barra Caracciolo A., Bevivino A., Ciancio A., Grenni P., Hrynkiwicz K., Kredics L., Proença D. N. Belowground microbiota and the health of tree crops // Frontiers in Microbiology. 2018. Vol. 9. Article number 1006. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01006.

Об авторе:

Вафа Тельмановна Мамедзаде, доктор философии по биологическим наукам, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биологии почв, Институт почвоведения и агрохимии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджанская Республика; ORCID 0009-0001-1087-8242. Email: vafa.mammadzade@mail.ru

References

1. Uphoff N., Thies J. (Eds.) *Biological approaches to regenerative soil systems*. 2nd edition. USA: CRC Press, 2023. 606 p. DOI: 10.1201/9781003093718.
2. Lal R. (Ed.) *The soil-human health-nexus*. USA: CRC Press, 2020. 336 p. DOI: 10.1201/9780367822736.
3. Borisov A. V., Demkina T. S., Kashirskaya N. N., Khomutova T. E., Chernysheva E. V. Changes in the past soil-forming conditions and human activity in soil biological memory: microbial and enzyme components. *Eurasian Soil Science*. 2021; 7: 849–861. DOI: 10.31857/S0032180X21070029. (In Russ.)
4. Bashkin V. N., Galiulina R. A. Agrogeochemical technologies for managing CO₂ flows in agroecosystems message. Restoration of the microbial link of the agrogeochemical cycle. *Agrohimiâ*. 2023; 7: 86–96. DOI: 10.31857/S0002188123070049. (In Russ.)
5. Vlasova A. P., Pavlov K. V., Marachevskaya E. V., et al. The prokaryotic community structure of oil-contaminated chernozem during the introduction of nitrate and potassium chloride. *Počvovedenie*. 2023; 7: 853–863. DOI: 10.31857/S0032180X22601165. (In Russ.)
6. Nikitin D. A., Semenov M. V., Chernov T. I., et al. Microbiological indicators of soil ecological functions: a review. *Eurasian Soil Science*. 2022; 2: 228–243. DOI: 10.31857/S0032180X22020095. (In Russ.)
7. FAO and UNEP. 2020. the state of the world's forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome, 2019. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.
8. Mammadova A. O., Mammadova R. N., Ashurova N. D. Ecological assessment of pastures semi-deserts and dry steppes of Azerbaijan. *International Journal of Advances in Applied Sciences*. 2024; 13 (2): 439–446. DOI: 10.11591/ijaas.v13.i2.pp439-446.
9. Delavaux C. S., Weigelt P., Dawson W., Duchicela J., Essl F., Kleunen M., et al. Mycorrhizal fungi influence global plant biogeography. *Nature Ecology & Evolution*. 2019; 3: 424–429. DOI: 10.1038/s41559-019-0823-4.
10. Langer R. *Permaculture gardening: turning your backyard into a flourishing food forest and embracing the abundance of nature*. Independently publish, 2023. 107 p.
11. Hivesworth T. *Soil science for beginners: from barren to fertile: a guide to regenerative agriculture, no-till farming, composting, and natural farming for enhanced soil health*. Independently publish, 2024. 86 p.
12. Korabelnikov I. S. Production and economic features of agricultural zoning: regional aspect. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 8: 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-81-90. (In Russ.)
13. Needham N. *A Spoonful of soil helps the world go round: basic soil science, testing, amendments, composting, cover crops and watering techniques*. Self published, 2022. 134 p.
14. Bray R. *No dig gardening: grow more, work less – a simple guide to no till gardening*. Monkey Publishing, 2024. 123 p.
15. Bai Y., Wang G., Cheng Y., Shi P., Yang C., Yang H., Xu Z. Soil acidification in continuously cropped tobacco alters bacterial community structure and diversity via the accumulation of phenolic acids. *Scientific Reports*. 2019; 9: 12499. DOI: 10.1038/s41598-019-48611-5.
16. Mercado-Blanco J., Abrantes I., Barra Caracciolo A., Bevivino A., Ciancio A., Grenni P., Hryniewicz K., Kredics L., Proença D. N. Belowground microbiota and the health of tree crops. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 1006. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01006.

Author's information:

Vafa T. Mammadzade, doctor of philosophy in biological sciences, associate professor, leading researcher of the laboratory of soil biology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan; ORCID 0009-0001-1087-8242.
 Email: vafa.mammadzade@mail.ru