

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3 (51). С.12–18
Vestnik Kurganskoj GSHA. 2024; 3(51): 12–18

Научная статья

УДК 631

Код ВАК 4.1.1

EDN: IPUFLB

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ БИОТОПОВ ГОРНО-ЛЕСНЫХ ЖЕЛТОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЛЕНКОРАНА

Вафа Тельмановна Маммадзе¹✉

¹Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики
Институт Почвоведения и Агрохимии, Баку, Азербайджан,

¹vafa.mammadzade@mail.ru✉, <https://orcid.org/0009-0001-1087-8242>

Аннотация. Микробные сообщества лесной породы необходимы для поддержания её качества и отвечают за функционирование лесной экосистемы. Способность почвенных микроорганизмов реагировать на абиотические стрессоры (потери органического углерода, нехватка воды, изменения температуры) имеет решающее значение в условиях продолжающихся изменений окружающей среды, а также в поддержке здоровья деревьев. Учитывая, что микробиологические процессы, протекающие в почве, интенсивны в течение всего года, органические остатки древесной и травянистой растительности подвергаются сложным биохимическим превращениям. В связи с тем, что горно-лесные желтоземные почвы являются одним из доминирующих типов среди почв желтоземного ряда Ленкоранской области Азербайджана, целесообразным является исследование их микробиологической обстановки. В 2022–2024 годах были проведены межевания на Ленкоранской равнине, в одном из важных туристических и экономических регионов Азербайджана. В связи с отсутствием в последние годы биологических исследований почвы Ленкоранского района современными методами полученные данные можно использовать в научных исследованиях. Проведено изучение лесных почв. Установлено, что 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 увеличение количества N могло ослабить эту тенденцию. Общее микробное число в исследуемых накопительных горизонтах варьировалось от $5,96 \cdot 10^6$ КОЕ/г до $6,41 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Настоящее исследование, как и все его результаты, могут служить основой для проведения многолетнего сезонного анализа обследованных территорий.

Ключевые слова: желтоземная почва, микробиота, естественный биотоп, взаимосвязь гумуса и микроорганизмов.

Для цитирования: Маммадзе В.Т. Микробиологическое состояние естественных биотопов горно-лесных желтоземных почв Ленкорана // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3(51). С. 12–18. EDN: IPUFLB.

Scientific article

MICROBIOLOGICAL STATE OF NATURAL BIOTOPES OF LANKARAN MOUNTAIN FOREST YELLOW-PODZOLIC SOILS

Vafa T. Mammadzade¹✉

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

¹vafa.mammadzade@mail.ru✉, <https://orcid.org/0009-0001-1087-8242>

Abstract. Microbial communities of forest species are required to maintain its quality and are responsible for forest ecosystem functioning. An ability of soil microorganisms to respond to abiotic stressors (loss of organic carbon, lack of water, temperature changes) is crucial in the face of ongoing environmental changes, as well as in supporting the health of trees. Considering that the microbiological processes occurring in the soil are intense throughout the year, the organic remains of tree and herbaceous vegetation undergo complex biochemical transformations. Due to the fact that mountain forest yellow-podzolic soils are one of the dominant types among the soils of the yellow-podzolic soils of the Lankaran region of Azerbaijan, it is advisable to study their microbiological situation. In 2022-2024, land surveys were carried out on the Lankaran plain, one of the important tourist and economic regions of Azerbaijan. Due to the lack of biological studies of the Lankaran soil in recent years using modern methods, the data obtained can be used in scientific research. The study of forest soils was carried out. It has been established that soil warming can change bacterial communities, affecting the accumulation of carbon (C) and the nitrogen cycle (N) in forest ecosystems. The warming shifted the bacterial community towards oligotrophic taxa, whereas an increase in the quantity of N could weaken this trend. The total microbial number in the studied storage horizons ranged from $5.96 \cdot 10^6$ CFU/g to $6.41 \cdot 10^6$ CFU/g. This study, as well as all its results, can serve as a basis for conducting a multi-year seasonal analysis of the surveyed territories.

Keywords: yellow-podzolic soil, microbiota, natural biotope, the relationship of humus and microorganisms.

For citation: Mammadzade V.T. Microbiological state of natural biotopes of Lankaran mountain forest yellow-podzolic soils. Vestnik Kurganskoj GSHA. 2024; 3(51): 12–18. EDN: IPUFLB. (In Russ).

Введение. Изменения в микробных сообществах могут происходить быстрее, чем существенные изменения в основных функциях почвы (фильтрация загрязняющих веществ, хранение питательных веществ), изучение микробных параметров считается чувствительным индикатором при оценке последствий нарушения почвы. Леса являются высокопродуктивными экосистемами и вносят значительный 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, подстилка-почва, 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. Обращают на себя внимание опосредованные микробами реактивные взаимодействия в лесах, особенно взаимосвязи и динамика грибов и бактерий в широком временном масштабе, при этом экосистемные процессы варьируются от краткосрочных событий (например, сезонных изменений) до долгосрочного развития насаждений, страдающего от изменений климата (например, глобальное потепление или отложение азота). Формы гумуса моделируются с точки зрения двух измерений: биогенной структуры почвы в минеральной почве и наличия органических слоев над минеральной почвой [2].

Почвы и их экологические исследования требуют наличия знаний об окружающей среде в пределах масштабов присутствия биологических организмов. Учитывая, что микробиологические процессы интенсивны в течение года, органические остатки древесной и травянистой растительности подвергаются сложным биохимическим превращениям. Эти исследования могут включать предметные темы, имеющие отношение к почвоведению, растениеводству, животноводству, а также оценке экологических рисков [3; 4]. Поэтому изучение биологических организмов необходимо во многих аспектах сельскохозяйственных и экологических оценок. Отсутствие сведений по данной теме является очевидным фактором, определяющим ограниченность надежных знаний о том, что представляет собой глобальная экосистема, а также научной проблемой для новых сельскохозяйственных разработок. Почвенные микроорганизмы являются важной частью пищевой сети леса [4–6]. Большое количество исследований сосредоточено на важной роли микроорганизмов как индикаторов изменений окружающей среды. Они играют

жизненно важную роль в почве и представляют собой функцию биоразнообразия и глобальной экосистемы. Таким образом, обеспечивается лучшее понимание связей между исходными материалами почвы, составом растительного сообщества, регенерацией леса, органическим веществом и разнообразными организмами в более контрастных средах [8; 10]. Почвенная биота – это 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 высокого разнообразия и широкого распространения в сложной и неоднородной почвенной. Биоразнообразие почвенной биоты представляет собой индустрию с комплексом компонентов, которые превращают почвы в живую и функциональную среду. Типичными представителями почв влажных субтропиков являются горно-лесные желтоземные почвы, которые 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 выпадающих осадков, которые и определяют интенсивность микробиологических процессов [11]. Почвообразующими породами являются бескарбонатные делювиальные глины и суглинки с низкой порозностью и крайне слабой водопроницаемостью.

Продолжительный теплый период способствует интенсивной минерализации древесного опада и относительно глубокому микробиологическому распаду лесной подстилки. Процесс почвообразования протекает в условиях повышенного поверхностного увлажнения и глубокой промачиваемости почв. Длительное протекание данного процесса в кислой и слабокислой среде приводит к интенсивному перераспределению минеральных элементов и илистых частиц по профилю почвы. Присутствующие в почвенном растворе катионы за счет 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 микробиоты, поэтому почва активно сорбирует живую массу микроорганизмов.

В конечном 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 типов почв, состояния экосистем и экологических функций самой почвы [12; 13]. Изучаются 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 межведомственные исследования на Ленкоранской равнине, в одном из важных туристических и экономических регионов Азербайджана. Исследованиями установлено, что микробиологическая активность тесно связана с гумусовыми веществами. Так, потепление почвы может изменить бактериальные сообщества, влияя на накопление углерода (С) и круговорот азота (N) в лесных экосистемах. Потепление почвы существенно изменило структуру бактериального сообщества, вызвав уменьшение количества протеобактерий, актинобактерий, а также увеличение количества актинобактерий и хлорофлексии. Увеличение количества N оказало большее влияние на структуру бактериального сообщества. Кроме того, потепление сместило бактериальное сообщество в сторону олиготрофных таксонов, тогда как увеличение количества N могло ослабить эту тенденцию [9; 14].

Горно-лесные желтоземные почвы являются одним из доминирующих типов среди почв желтоземного ряда Ленкоранской области Азербайджана. Целесообразным было проведение исследований их микробиологической обстановки. Установлено, что потепление привело к усложнению совместного возникновения и усилению взаимодействия между сообществами разных типов, в то время как увеличение количества N усилило связь внутри сообществ, относящихся к одному и тому же типу. В этом отношении микроорганизмы управляют нишевыми процессами, оказывая значительное влияние на питательные вещества, взаимодействие и конкуренцию растений. Быстрые изменения в микробном сообществе почвы влияют на сосуществование популяций в окружающей среде. По сравнению с бактериями, грибы привлекают больше внимания в лесных экосистемах. Исследования показали, что грибы, распространенные в лесах, очень разнообразны и чувствительны к изменениям окружающей среды. Изучение лесных микробных сообществ актуально, поскольку развитие лесной экосистемы представляет со-

бой сложный систематический процесс, на который влияют не только почва, корни, ризосфера и подстилка. Взаимодействие между деревьями и связанными с ними микробными сообществами является сложным. Неоднородность этих данных усложняет прогнозирование функций экосистем, где микробные интерфейсы взаимосвязаны частыми потоками микробов (микробное рассеивание и смешивание).

Целью данной работы являлось изучение микробиологического состояния естественных биотопов горно-лесных желтоземных почв Ленкорана Азербайджана.

Для достижения поставленной цели были определены микробиологические характеристики почв полувлажных субтропиков. Полученные данные анализировались в сравнительном аспекте по отдельным биотопам: в естественном лесном и под зерновыми и сопоставлены по численности и групповому составу микроорганизмов. Изучена динамика изменения количественных показателей микробиоты по отдельным почвенным глубинам. На основе полученных данных по численности микроорганизмов почв составлены графики, характеризующие эти изменения.

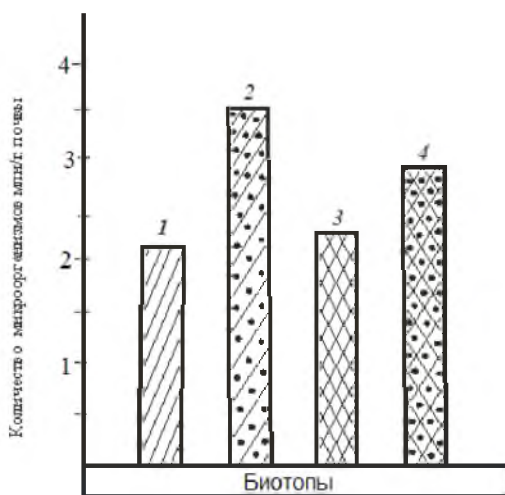
Материалы и методы. Исследовано тринадцать почвенных профилей. Почвенный материал для анализа был собран из горизонта А. Образцы почвы помещали в стерильные бумажные пакеты с соблюдением всех правил стерильности. В качестве объекта исследования были выбраны естественный лесной биотоп под дубово-железняковой, сухой покровной растительностью и естественный лесной биотоп, расположенный вблизи озера Ханбуланчай в Ленкоранской низменности Азербайджана. Почвенные пробы из указанных ценозов отбирались послойно с 0–10 см; 10–20 см и 20–30 см горизонтов. Лабораторный анализ проводился с целью определения основных характеристик почвы: кислотности почвы ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$) – по ISO 10390; содержание органического углерода – модифицированным методом Турина, а методом Кьельдаля (ISO 11261) – определение общего содержания азота. Образцы почвы помещали в стерильные бумажные пакеты с соблюдением всех правил стерильности. Для определения численности микроорганизмов в почве пользовались методом последовательного разведения с высевом на соответствующую селективную среду: общего количества бактерий на мясо-пептонный агар (МПА), актиномицетов и микроскопических грибов – на крахмально-аммиачный агар (КАА) и сусло-агар (СА) подкисленный лимонной кислотой. Количество микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах на грамм сухой почвы (КОЕ/г сухой почвы). Микробиологические исследования собранных образцов почвы прово-

дились 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 [6–8].

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенными исследованиями установлено, что изучаемые почвы вследствие избыточного увлажнения, слабо-кислой и кислой реакции почвенной среды (4,7–6,0) резко понижают микробиологические темпы деструкции подстилки, а также вовлечение продуктов разложения на гумусообразование. Поскольку процессы минерализации подстилки проходят в течение года, то растительные остатки успевают значительно разложиться.

Биогенность почвы – динамический показатель, связанный с параметрами почвы. Динамика численности и процентного распределения почвенных микроорганизмов является показателем активности преобразования органического вещества почвы [15].

Ввиду интенсивного вымывания образующихся гумусовых веществ почвы не происходит накопления и образования мощных запасов гумусовых горизонтов. Первоначально наши исследования охватывали определение общего количества микроорганизмов в выбранных биотопах (рисунок 1).



1, 2 – в естественном и освоенном биотопах (по данным С. А. Алиева, 1978); 3 – в почвах Ханбуланчайского биотопа; 4 – в почве лесного биотопа

Рисунок 1 – Количество микроорганизмов по отдельным биотопам горно-лесных желтоземных почв (10⁶ г почвы)

Исследованиями было установлено, что в почве лесного биотопа в 0–30 см слое было 2,6 · 10⁶ КОЕ/г почвы микроорганизмов, а в почве Ханбуланчайского биотопа их численность составила в среднем 2,3 · 10⁶ КОЕ/г почвы. Биологическое разнообразие лесных экосистем изучаемой территории было богатым, а основным типом ландшафта был лесной покров площадью около 150000 га. Однако из-за воздействия долговременных антропогенных факторов численность реликтовых растений сокращается, а биологическое разнообразие деградирует. Исключение составляет почва освоенного биотопа, где общее количество микроорганизмов увеличилось до 3,5 · 10⁶ КОЕ/г почвы. Поскольку жизнедеятельность микроорганизмов тесно связана с гумусовыми веществами, особую значимость приобретает анализ изменения количества микроорганизмов и гумуса по отдельным горизонтам изучаемых биотопов (рисунок 2). Так, если в почвенных горизонтах (0–10; 10–20 и 20–30 см) лесного биотопа, содержание гумуса изменялось между 2,9–6,5 %, то адекватное ему общее количество микроорганизмов в этих горизонтах варьировалось между 3,45–1,54 · 10⁶ КОЕ/г почвы. В почве Ханбуланчайского естественного биотопа содержание гумуса изменялось в пределах 5,6–2,5 %, при этом сократились количественные показатели микроорганизмов до 2,97–1,34 · 10⁶ КОЕ/г почвы. Следовательно, гумусовые вещества составляют важную часть пищевых ресурсов автохтонной группы микроорганизмов. Объединив изменения в содержании N, наблюдаемые в почве, бактериях и растениях, мы предполагаем, что как потепление, так и увеличение количества N способствует обороту C и N (между растениями и микроорганизмами) и росту продуктивности растений в долгосрочной перспективе. Полученные результаты необходимы для понимания механизмов потепления и увеличе-

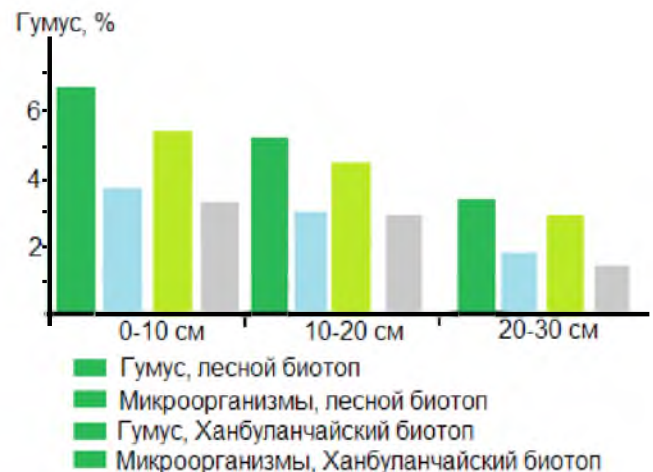


Рисунок 2 – Показатели гумуса (%) и микроорганизмов (10⁶ г почвы) по отдельным слоям изучаемых биотопов

ния количества N на почвенные микробы. Однако двухлетний период изучения последствий потепления почвы и увеличения количества N, а также их взаимодействия может оказаться слишком коротким и заметно отличаться от долгосрочных реакций. Результаты показали, что бактериальное сообщество изменилось за два года потепления, но необходимы более длительные исследования, а механизмы экологических эффектов требуют дальнейшего изучения.

Изменение в структуре почвенных бактериальных сообществ может влиять на разложение органического вещества почвы и рост растений. Изменения в составе бактериального сообщества отражает изменения в доступности питательных веществ в почве при потеплении. Учитывая количественный сдвиг от копиотрофных к олиготрофным таксонам, наблюдаемый после двух лет потепления почвы, экология и функции этих групп в лесных биогеохимических циклах заслуживают

Таблица – Общее микробное число и количество основных микробных групп в 10^6 КОЕ/г почвы

Гумусные слои	Общее микробное число	Спорообразующие бактерии	Неспорообразующие бактерии	Актиномицеты	Микромицеты
1	$6,32 \pm 0,15$	$5,58 \pm 0,16$	$5,72 \pm 0,19$	$4,88 \pm 0,23$	$5,13 \pm 0,37$
2	$6,36 \pm 0,15$	$5,62 \pm 0,16$	$5,85 \pm 0,19$	$4,62 \pm 0,23$	$5,09 \pm 0,37$
3	$6,40 \pm 0,15$	$5,96 \pm 0,16$	$6,11 \pm 0,19$	$5,00 \pm 0,23$	$5,26 \pm 0,37$
4	$6,41 \pm 0,15$	$5,88 \pm 0,16$	$6,18 \pm 0,19$	$5,10 \pm 0,23$	$5,28 \pm 0,37$
5	$6,32 \pm 0,15$	$5,88 \pm 0,16$	$6,00 \pm 0,19$	$5,17 \pm 0,23$	$5,27 \pm 0,37$
6	$6,31 \pm 0,15$	$5,90 \pm 0,16$	$6,00 \pm 0,19$	$5,06 \pm 0,23$	$5,08 \pm 0,37$
7	$6,30 \pm 0,15$	$5,84 \pm 0,16$	$5,90 \pm 0,19$	$5,49 \pm 0,23$	$5,30 \pm 0,37$
8	$6,26 \pm 0,15$	$5,73 \pm 0,16$	$6,04 \pm 0,19$	$4,93 \pm 0,23$	$4,88 \pm 0,37$
9	$6,10 \pm 0,15$	$5,71 \pm 0,16$	$5,74 \pm 0,19$	$5,26 \pm 0,23$	$4,43 \pm 0,37$
10	$6,11 \pm 0,15$	$5,51 \pm 0,16$	$5,65 \pm 0,19$	$5,15 \pm 0,23$	$5,59 \pm 0,37$
11	$6,18 \pm 0,15$	$5,69 \pm 0,16$	$5,76 \pm 0,19$	$5,42 \pm 0,23$	$5,21 \pm 0,37$
12	$6,00 \pm 0,15$	$5,54 \pm 0,16$	$5,69 \pm 0,19$	$5,15 \pm 0,23$	$4,30 \pm 0,37$
13	$5,96 \pm 0,15$	$5,51 \pm 0,16$	$5,59 \pm 0,19$	$5,17 \pm 0,23$	$4,72 \pm 0,37$

Данные авторов за 2022–2024 гг. в естественном биотопе (среднее значение и стандартное отклонение)

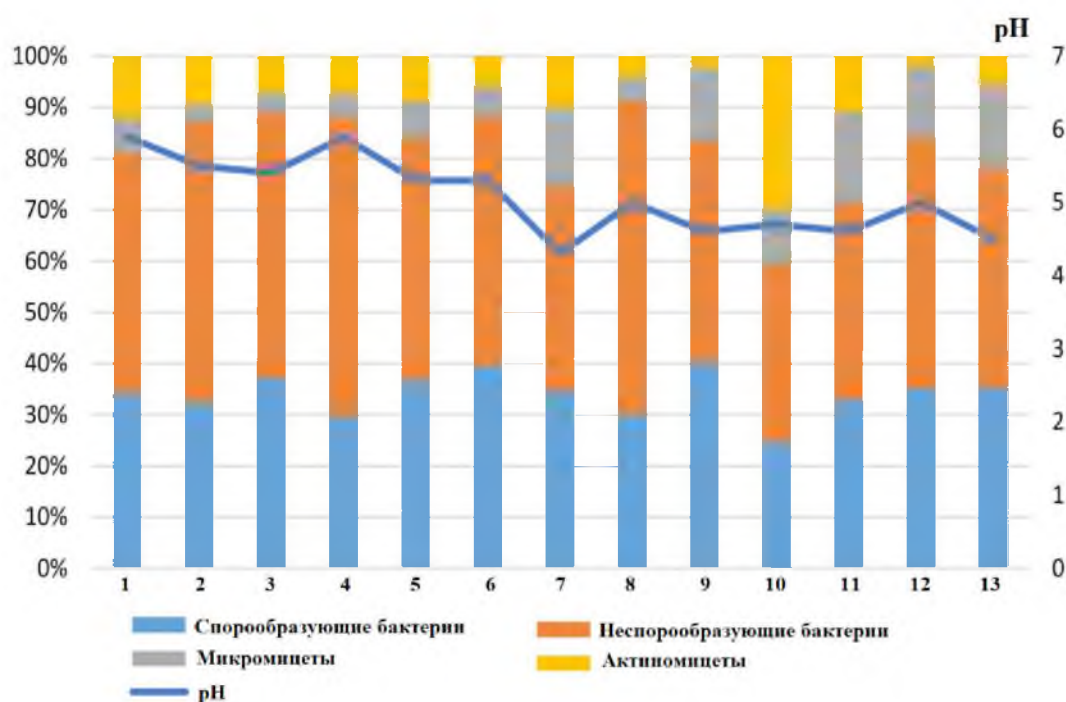


Рисунок 3 – Доля микробных групп в общей микробной численности в слоях гумусового горизонта (%)

дальнейшего изучения. Установлено, что структура почвенного бактериального сообщества изменилась после двух лет прогрева почвы и увеличения количества азота. Значительно увеличилось количество актинобактерий и хлорофлексии, тогда как концентрация протеобактерий и актинобактерий снизилась. Общее микробное число микроорганизмов варьировало от $5,96 \cdot 10^6$ КОЕ/г до $6,41 \cdot 10^6$ КОЕ/г (таблица).

Исследование микробных групп в слоях гумусового горизонта (рисунок 3) показало, что на всех изученных участках доминируют неспорообразующие бактерии, что свидетельствует о преобладании процессов трансформации более легко разлагаемого органического вещества почвы.

Заключение. Исследование микроорганизмов в различных типах почв имеет существенную значимость при определении влияния эколого-географического фактора на распределение почвенных микробов. Установлено, что потепление почвы повлияло на бактериальные сообщества, отразившись на накоплении углерода (C) и круговороте азота (N) в лесных экосистемах. Потепление сместило бактериальное сообщество в сторону олиготрофных таксонов, а увеличение количества N ослабило данную тенденцию. Общее микробное число в исследуемых накопительных горизонтах варьировалось от $5,96 \cdot 10^6$ КОЕ/г до $6,41 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Список источников

1. Вклад крупных древесных остатков в биогенный цикл углерода хвойно-широколиственных лесов юга Дальнего Востока России / А.В. Иванов [и др.] // Лесоведение. 2020. № 4. С. 357-366. DOI: 10.31857/S0024114820040051. EDN: IYTIWE.
2. Lal R. The Soil-Human Health-Nexus (Advances in Soil Science) 1st Edition. Part of: Advances in Soil Science. CRC Press. 2021. 336 p.
3. Биологическая память почв об изменениях условий почвообразования и антропогенной деятельности в прошлом: микробная и ферментная составляющие / А.В. Борисов [и др.] // Почвоведение. 2021. № 7. С. 849-861. DOI: 10.31857/S0032180X21070029. EDN: SMZPIU.
4. Башкин В.Н., Галиулина Р.А. Агрогеохимические технологии управления потоками CO₂ в агроэкосистемах. Сообщение 2. Восстановление микробного звена агрогеохимического круговорота // Агрохимия. 2023. № 7. С. 86-96. DOI: 10.31857/S0002188123070049. EDN: OFPDTZ.
5. Изменение структуры прокариотного сообщества нефтезагрязненного чернозема при внесении нитрата и хлорида калия / А.П. Власова [и др.] // Почвоведение. 2023. № 7. С. 853-863. DOI: 10.31857/S0032180X22601165. EDN: VOFTDS.
6. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) / Д.А. Никитин

[и др.] // Почвоведение. 2022. № 2. С. 228-243. DOI: 10.31857/S0032180X22020095. EDN: BJIKTJ.

7. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Book (series). Rome, Italy: FAO and UNEP publisher, 2019. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.

8. Mycorrhizal fungi influence global plant biogeography / C.S. Delavaux [et al.] // Nature ecology & evolution. 2019. Vol. 3. Pp. 424-429. DOI: 10.1038/s41559-019-0823-4

9. Фаттахова Л.А., Щербатов В.П., Кузина Д.М. Петромагнитные свойства залежных почв как индикатор содержания в них органического вещества // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19. № 1. С. 51-65. DOI: 10.21455/GPB2020.1-3. EDN: WOIXUR.

10. Яшин И.М., Черников В.А., Белопухов С.Л. Миграционные потоки, баланс и функции водорастворимых органических веществ в почвах таежных экосистем // Агрохимия. 2020. № 8. С. 13-21. DOI: 10.31857/S0002188120070108. EDN: UIKTPU.

11. Мамедзаде В.Т. Микробиологическая характеристика серо-коричневых (каштановых) почв полувлажных субтропиков Ленкоранской области // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 2. С. 33-38. DOI: 10.51886/1999-740X_2022_2_33. EDN: WTYAFP.

12. 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 (IJAAS). 2024. Vol. 13 (2). Pp. 439-446. DOI: 10.11591/ijaas.v13.i2.pp439-446.

13. Effects of warming and nitrogen addition on the soil bacterial community in a subtropical Chinese fir plantation / L. Xie [et al.] // Forests. 2019. Vol. 10. P. 861. DOI: 10.3390/f10100861.

14. 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. No 9. P. 12499. DOI: 10.1038/s41598-019-48611-5.

15. Belowground microbiota and the health of tree crops / J. Mercado-Blanco [et al.] // Front Microbiol. 2018. No 9. P. 1006. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01006.

References

1. Ivanov A.V. et al. Vklad krupnykh drevesnykh ostatkov v biogenniy tsikl ugleroda khvoyno-shirokolistvennykh lesov yuga Dal'nego Vostoka Rossii [Contribution of large woody debris to the biogenic carbon cycle of coniferous-broadleaf forests in the southern Russian Far East]. *Lesovedenie*. 2020; (4): 357-366. DOI: 10.31857/S0024114820040051. EDN: IYTIWE. (In Russ).

2. Lal R. The Soil-Human Health-Nexus (Advances in Soil Science) 1st Edition. Part of: Advances in Soil Science. CRC Press; 2021: 336.
3. Borisov A.V. et al. Biologicheskaya pamyat' pochv ob izmeneniyakh uslovii pochvoobrazovaniya i antropogennoi deyatel'nosti v proshlom: mikrobnaya i fermentnaya sostavlyayushchie [Biological memory of soils about changes in soil formation conditions and anthropogenic activity in the past: microbial and enzymatic components]. *Pochvovedenie*. 2021; (7): 849-861. DOI: 10.31857/S0032180X21070029. EDN: SMZPIU. (In Russ).
4. Bashkin V.N., Galiulina R.A. Agrogeokhimicheskie tekhnologii upravleniya potokami SO₂ v agroekosistemakh. Soobshchenie 2. Vosstanovlenie mikrobnogo zvena agrogeokhimicheskogo krugovorota [Agrogeochemical technologies for managing CO₂ flows in agroecosystems. Message 2. Restoration of the microbial link of the agrogeochemical cycle]. *Agrohimiya*. 2023; (7): 86-96. DOI: 10.31857/S0002188123070049. EDN: OFP-DTZ. (In Russ).
5. Vlasova A.P. et al. Izmenenie struktury prokariotnogo soobshchestva neftezagryaznennogo chernozema pri vnesenii nitrata i khlorida kaliya [Changes in the structure of the prokaryotic community of oil-contaminated chernozem with the introduction of potassium nitrate and chloride]. *Pochvovedenie*. 2023; (7): 853-863. DOI: 10.31857/S0032180X22601165. EDN: VOFTDS. (In Russ).
6. Nikitin D.A. et al. Mikrobiologicheskie indikatory ekologicheskikh funktsii pochv (obzor) [Microbiological indicators of ecological functions of soils (review)]. *Pochvovedenie*. 2022; (2): 228-243. DOI: 10.31857/S0032180X22020095. EDN: BJIKTJ. (In Russ).
7. *The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people*. Book (series). Rome, Italy: FAO and UNEP publisher; 2019: 214. DOI: 10.4060/ca8642en.
8. Delavaux C.S. et al. Mycorrhizal fungi influence global plant biogeography. *Nature ecology & evolution*. 2019; (3): 424-429. DOI: 10.1038/s41559-019-0823-4 .
9. Fattakhova L.A., Shcherbakov V.P., Kuzina D.M. Petromagnitnye svoystva zaleznykh pochv kak indikator sodержaniya v nikh organicheskogo veshchestva [Petromagnetic properties of fallow soils as an indicator of their organic matter content]. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. 2020; 19(1): 51-65. DOI: 10.21455/GPB2020.1-3. EDN: WOIXUR. (In Russ).
10. Yashin I.M., Chernikov V.A., Belopukhov S.L. Migratsionnye potoki, balans i funktsii vodorastvorimykh organicheskikh veshchestv v pochvakh taehnykh ekosistem [Migration flows, balance and functions of water-soluble organic matter in soils of taiga ecosystems]. *Agrohimiya*. 2020; (8): 13-21. DOI: 10.31857/S0002188120070108. EDN: UIKTPU. (In Russ).
11. Mamedzade V.T. Mikrobiologicheskaya kharakteristika sero-korichnevykh (kashtanovykh) pochv poluvlazhnykh subtropikov Lenkoranskoj oblasti [Microbiological characteristics of gray-brown (chestnut) soils of semi-humid subtropics of the Lankaran region]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2022; (2): 33-38. DOI: 10.51886/1999-740X_2022_2_33. EDN: WTYAFP. (In Russ).
12. 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 (IJAAS)*. 2024; 13(2): 439-446. DOI:10.11591/ijaas.v13.i2.pp439-446.
13. Xie L. et al. Effects of warming and nitrogen addition on the soil bacterial community in a subtropical Chinese fir plantation. *Forests*. 2019; (10): 861. DOI: 10.3390/f10100861.
14. 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.
15. Mercado-Blanco J. et al. Belowground microbiota and the health of tree crops. *Front Microbiol*. 2018; (9): 1006. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01006.

Информация об авторах

В.Т. Маммадзе – доктор философии по биологическим наукам, доцент.

Information about the author

V.T. Mammadzade – Doctor of Philosophy in Biological Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 25.06.2024; одобрена после рецензирования 26.08.2024; принята к публикации 03.10.2024.

The article was submitted 25.06.2024; approved after reviewing 26.08.2024; accepted for publication 03.10.2024.