

DOI: <https://doi.org/10.55505/sa.2022.2.02>

УДК: 631.427(478)

## ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ МОЛДОВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ

Нина ФРУНЗЕ, Диана ИНДОИТУ

**Abstract.** Based on the new generation sequencing method – pyrosequencing (Illumina), for the first time in Moldova, there were determined and described the metagenomic characteristics of the typical chernozem microbiome under different land use conditions. It was revealed that the prokaryotic community is represented by both domains, in particular, seventeen bacterial phyla (59.8%) and two phylum *Archaea* (6.2%), only nine phyla had an abundance above 1.0%: the archaeal phylum *Thaumarchaeota* and the bacterial phyla *Proteobacteria*, *Actinobacteriota*, *Bacteroidota*, *Acidobacteriota*, *Firmicutes*, *Verrumicrobiota*, *Planctomycetota*, and *Myxococcota*. Phyla with a share of less than 1.0% preferred the conditions of experimental variants of crop rotations. A significant proportion were unclassified microorganisms, the abundance of which varied from 25.8 to 38.2% in spring and from 27.9 to 40.2% in summer. The conducted studies showed that the agrotechnical measures had a significant impact on the structure of the microbiome community of a typical chernozem.

**Key words:** Typical chernozem; Microbiome; Soil DNA; Sequencing; *Prokaryotae*.

**Реферат.** На основании метода секвенирования нового поколения – пиросеквенирование (Illumina) впервые в Молдове проведено определение и описание метагеномной характеристики микробиома чернозема типичного в разных условиях землепользования. Выявлено, что сообщество прокариот представлено обеими доменами, в частности семнадцатью бактериальными филумами (59,8%) и двумя филумами *Archaea* (6,2 %). Только девять филумов имели обилие выше 1,0%: архейный филум *Thaumarchaeota* и бактериальные филумы *Proteobacteria*, *Actinobacteriota*, *Bacteroidota*, *Acidobacteriota*, *Firmicutes*, *Verrumicrobiota*, *Planctomycetota* и *Myxococcota*. Филумы с долей менее 1,0% предпочитали условия экспериментальных вариантов севооборотов. Значительную долю составляли неклассифицированные микроорганизмы, обилие которых варьировало от 25,8 до 38,2% весной и от 27,9 до 40,2% летом. Проведенные исследования показали, что влияние агротехнических мероприятий оказало существенное влияние на структуру микробного сообщества чернозема типичного.

**Ключевые слова:** Чернозем типичный; Микробиом; Почвенная ДНК; Секвенирование; *Prokaryotae*.

### ВВЕДЕНИЕ

До недавних пор определение таксономического состава микробного сообщества представляло собой трудноразрешимую задачу (Андронов, Е.Е. и др. 2012). Ситуация существенно изменилась с внедрением технологии пиросеквенирования (Чирак, Е.Л. и др. 2013). Классическая микробиология, используя методы, связанные с культивированием микроорганизмов, имела дело лишь с незначительной долей почвенной микробиоты, тогда как только при анализе тотальной ДНК, выделенной из почвенного образца, можно судить об истинном составе и структуре микробного сообщества и биологическом разнообразии изучаемого объекта (Кутовая, О.В. и др. 2015).

Анализ филогенетической структуры микробиомов и выявление ее связи с физико-химическими процессами представляется многообещающим способом решения вопросов экологии почвенных микроорганизмов (Gray, N. D. и др. 2001; Leininger, S. и др. 2006; Pester, M. и др. 2011; Paul, E. A. 2015). Почвенный метагеном может играть роль биодиагностического инструмента, позволяющего оценить степень влияния антропогенной нагрузки и предсказать дальнейшие изменения экосистемы. Настоящая работа посвящена перспективному направлению в экологии

почвенных микроорганизмов: использовать данные о структуре микробных сообществ почвы, как индикатор своего состояния, то есть рассматривать микробное сообщество как своеобразное «зеркало», в котором отражаются особенности местообитания. Данные по метагеномному анализу почв Молдовы в научной литературе отсутствуют.

Целью наших исследований является характеристика прокариотного сообщества чернозема типичного на основе анализа их метагенома, в частности идентификация прокариот, определение соотношения между доменами бактерий и архей, выявление доминирующих филумов и определение их особенностей развития на разных фонах.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследований – это микробные сообщества чернозема типичного Центральной почвенно-климатической зоны Молдовы. Исследования проводились на двух системах земледелия: в лесополосе и на пашне многолетнего стационара «Биотрон» (г. Кишинёв). Выбранные для исследования участки полевого опыта (пашни) были заняты растениями двух контрастных кормовых севооборотов с и без люцерны, изучались три варианта: 1 – неудобренный фон (контроль); 2 – минеральный фон (минеральные удобрения); 3 – органический фон (навоз крупного рогатого скота) (Табл. 1).

Планирование полевого эксперимента осуществлялась по Доспехову (1985) в 3-х повторностях. Площадь экспериментальных участков составляла 260 м<sup>2</sup>. Удобрения вносились в зависимости от культуры таким образом, чтобы компенсировать вынос NPK растениями, поэтому дозы удобрений в таблице 1 не являются фиксированными. Эталонном в сравнительной оценке микробиологического состояния опытных вариантов служила почва необработанной почвы лесополосы, расположенной рядом с пашней.

**Таблица 1.** Схема ротации и удобрения культур стационара «Биотрон» на черноземе типичном

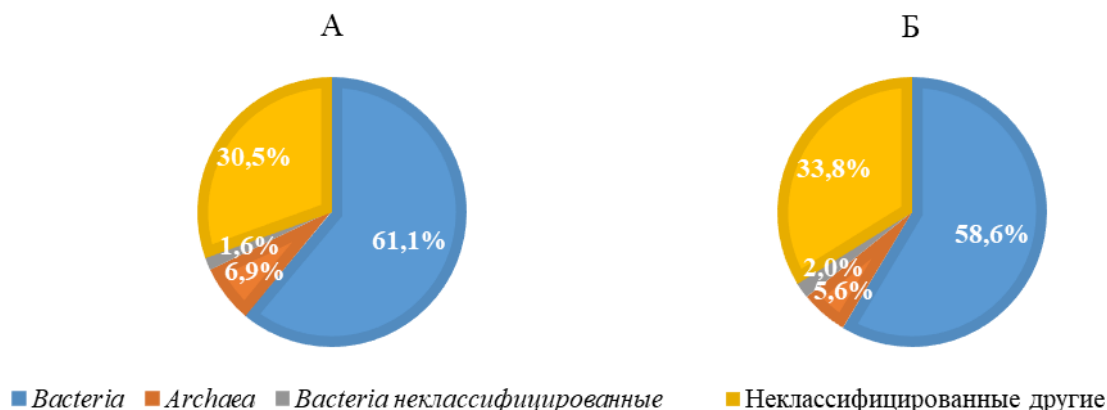
Год исследования	Экспериментальные фоны		
	Контроль	Минеральный	Органический
Севооборот с люцерной			
1995, 2002, 2009, 2016	Люцерна, 1-й год	По выносу: (N <sub>45-90</sub> P <sub>30-60</sub> K <sub>60-90</sub> )	Навоз 10-12 т/га
1996, 2003, 2010, 2017	Люцерна, 2-й год		Последствие
1997, 2004, 2011, 2018	Люцерна, 3-й год		Последствие
1998, 2005, 2012, 2019	Озимая пшеница		Последствие
1999, 2006, 2013, 2020	Тритикале		Последствие
2000, 2007, 2014, 2021	Соя или горох/ зерно		Последствие
2001, 2008, 2015, 2022	Озимая пшеница		Последствие
Севооборот без люцерны			
1995, 2002, 2009, 2016	Свекла кормовая	По выносу: (N <sub>45-90</sub> P <sub>30-60</sub> K <sub>60-90</sub> )	Навоз 20-24 т/га
1996, 2003, 2010, 2017	Соя или горох/ зерно		Навоз 10-12 т/га
1997, 2004, 2011, 2018	Кукуруза на силос		Последствие
1998, 2005, 2012, 2019	Озимая пшеница		Последствие
1999, 2006, 2013, 2020	Тритикале		Последствие
2000, 2007, 2014, 2021	Соя или горох/зерно		Последствие
2001, 2008, 2015, 2022	Озимая пшеница		Навоз 10 -12 т/га

Почва опытных участков – чернозем типичный, суглинистый. Содержание гумуса в слое 0-60 см от 2,2 до 3,4%. Среднее исходное содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O и NO<sub>3</sub>-N в слое 0-20 см составляло, соответственно, 3,70, 19,10 мг/100 г и 1,43 мг/кг. Сумма поглощенных оснований в слое 0-50 см составляла 28-30 мг-экв./100 г почвы, реакция почвенной среды – слабощелочная (pH = 7,8), удельный вес почвы – 2,6 г/см<sup>3</sup>, порозность – 50-60%, объемная масса – 1,06-1,30 г/см<sup>3</sup>.

Пробы почвы 0-30 см отбирались весной и летом 2020 года согласно микробиологическим требованиям (Звягинцев, Д.Г. 1991). Агрохимические анализы проводились по классическим методам (Аринушкина, Е.В. 2013). 2020 год характеризовался недостаточным количеством осадков. Весенняя засуха растянулась на весь год. Влажность почвы в пахотном слое не превышала 8-10%. Метагеномный анализ почвенных микробиомов был проведен с применением технологии высокопроизводительного секвенирования, т.е. «считывания» нуклеотидных последовательностей в ДНК. Работа проводилась с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ, Санкт-Петербург, Россия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Согласно данным анализа нуклеотидных последовательностей на уровне доменов мажоритарная часть микробных сообществ (в среднем 59,8%) состоит из прокариотов, принадлежащих домену *Bacteria* (Рис. 1). Из них около 1,8% составляли неклассифицированные последовательности и 1,0% редко встречающиеся прокариоты домена *Bacteria* (с обилием менее 1,0%).



**Рисунок 1.** Доля бактерий и архей микробиома чернозема типичного в разные периоды: А - весенний, Б – летний

Обилие архей (в среднем 6,2%) уступало обилию бактерий и было обратно пропорционально прокариотам домена *Bacteria*. В весеннем периоде ( $r = -0,4$ ) коррелятивная связь была более выраженной, чем летом ( $r = -0,3$ ). Доля архей в сравнении с представителями домена *Bacteria* составляла около 10%. Кроме бактерий и архей, все изученные образцы содержали неклассифицированные последовательности, доля которых в среднем составляла 32,2%.

Анализ нуклеотидных последовательностей на уровне филумов выявил сходный таксономический состав прокариотных сообществ на вариантах, состоящий из 19 филумов (рисунок 2). Из филумов с обилием более 0,1% домену *Bacteria* принадлежало 11 филумов: *Proteobacteria* – 21,2%, *Actinobacteriota* – 17,5%, *Bacteroidota* – 7,2%, *Acidobacteriota* – 4,3%, *Firmicutes* – 4,1%, *Verrucomicrobiota* – 1,9%, *Planctomycetota* – 1,3%, *Mycococcota* – 1,3%, *Gemmatimonadota* – 0,4%, *Nitrospirota* – 0,4%, *Patescibacteria* – 0,2%, а домен *Archaea* был представлен филумом *Thaumarchaeota* – 6,2%.

Сравнительный анализ на уровне филумов показал некоторые различия структуры микробного сообщества между вариантами. Таксономический состав прокариот в весенний и летний периоды отличался как в севооборотах, так и на разных фонах чернозема типичного. Наибольшее количество филумов весной регистрировалось на неудобренных и органических фонах севооборота без участия люцерны – 16, наименьшее – в почве органического фона севооборота с участием люцерны и в лесной полосе – 13 и 12 соответственно. Летом на всех вариантах было идентифицировано максимальное количество филумов – 15-17, кроме необработанной почве лесополосы – 12.

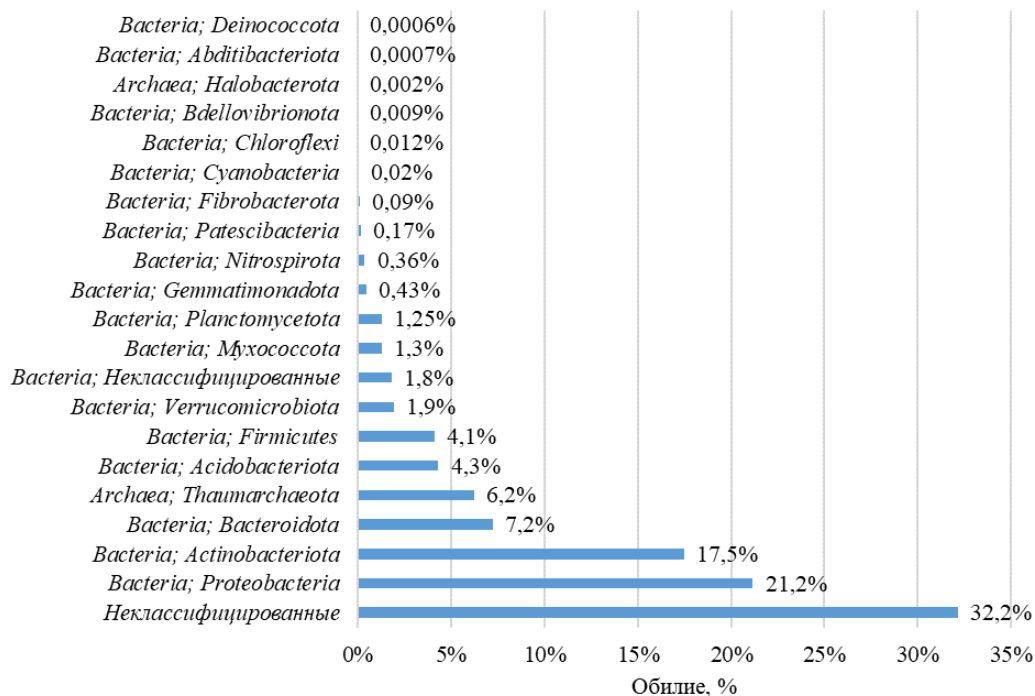


Рисунок 2. Таксономический состав почвенных прокариот на уровне филумов

Так, прокариоты филума *Proteobacteria* весной регистрировали наивысшие показатели, примерно одинаково проявив себя в экспериментальных вариантах (21,1-25,0%) и в почве лесополосы (20,3%), наивысшее обилие наблюдалось в почве минерального фона обеих севооборотов. Летом представители этого филума встречались также с наибольшим обилием в экспериментальных вариантах обоих севооборотов (18,9-24,0%). В варианте необработанной почвы лесополосы это обилие составляло 14,3% (Рис. 3).

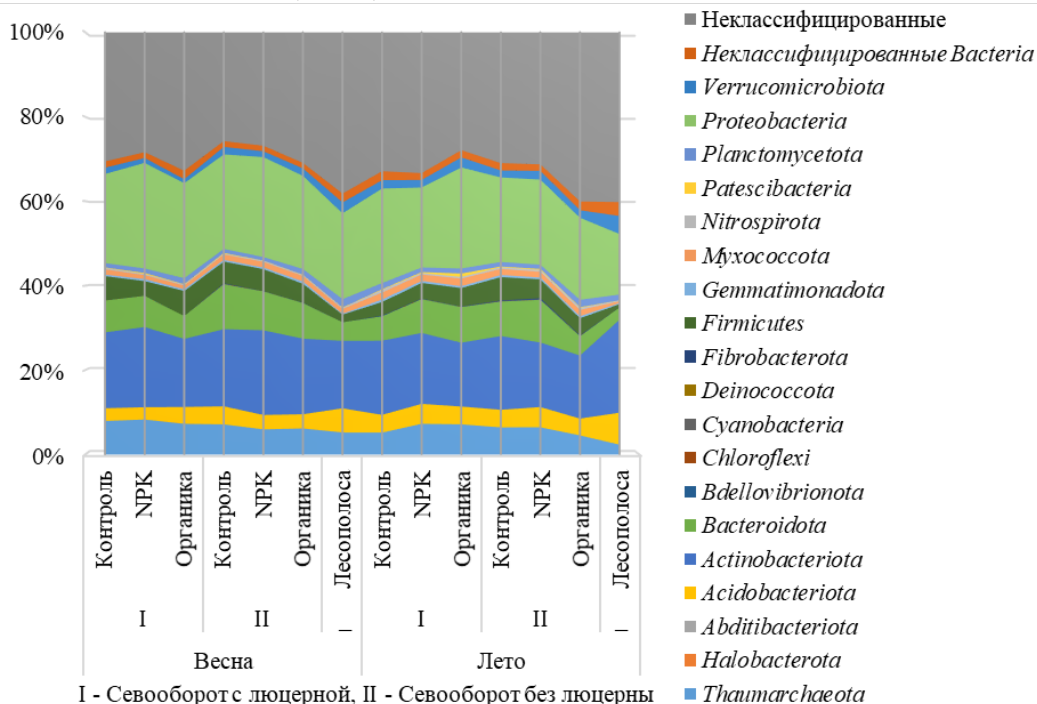


Рисунок 3. Таксономическая структура микробиомов типичного чернозема (на уровне филумов)

Представители филума *Actinobacteriota* весной имели наибольшее обилие в экспериментальных вариантах севооборотов, а именно в почве минерального фона севооборота без люцерны, в почве лесной полосы их обилие было наименьшим – 16%. Летом же их обилие было наибольшим в почве лесной полосы – 22,0% и несколько меньшим в почве экспериментальных вариантов севооборотов – 14,9-17,6%.

Бактерии, принадлежащие филуму *Bacteroidota*, также предпочитали весной условия экспериментальных вариантов севооборотов, а именно минерального фона севооборота без участия люцерны. В необработанной почве лесополосы их обилие было наименьшим – 4,4%. В летний период прокариоты филума *Bacteroidota* предпочитали условия неудобренного и минерального фона севооборота без люцерны – 5,8-10,1%. Меньшее обилие наблюдалось в органическом фоне севооборота без участия люцерны – 4,6% и необработанной почве лесной полосы – 2,9%.

Представители филума *Acidobacteriota* весной предпочитали условия необработанной почвы лесной полосы (5,7%) и севооборота без участия люцерны, особенно условия неудобренного (3,0-4,3%) и минерального фона (2,9-3,4%), тогда как в органическом фоне больше предпочиталась почва севооборота с люцерной. Летом же, они наоборот регистрировали наивысшие показатели в почве лесополосы (7,6%) и наименьшие в почве экспериментальных вариантов севооборотов с тенденцией увеличения их обилия в почве минерального фона обеих севооборотов (4,7-4,8%).

Микроорганизмы, которые относятся к филуму *Firmicutes*, в весенний период предпочитали условия почвы экспериментальных вариантов севооборотов, а именно почву неудобренного и органического фона севооборота с люцерной (5,7-5,9%). Наименьшее их обилие было зарегистрировано в необработанной почве лесополосы – 1,8%. Летом же, эти прокариоты предпочитали условия неудобренного и минерального фона севооборота без люцерны (4,0%-5,5%), с наименьшим обилием в почве лесной полосы – 0,8%.

Представители филума *Verrucomicrobiota* весной предпочитали условия почвы лесополосы – 2,6%. Почва экспериментальных вариантов севооборотов незначительно уступала – 1,0-1,8%, наивысшие показатели наблюдались в почве неудобренного и органического фона севооборота без люцерны – 1,8%. В летний период они имели наибольшее обилие в почве лесной полосы – 4,3%, а наименьшее – в почве экспериментальных вариантов – 1,6-2,4%.

Представители филума *Planctomycetota* весной одинаково проявляли себя в почве экспериментальных вариантов севооборотов (0,8-1,4%) с легкой тенденцией возрастания в севообороте с люцерной. Наивысшие показатели наблюдались в почве лесополосы – 2,0%. Летом данные прокариоты встречались относительно одинаково во всех вариантах – 1,1-1,4%, и только в органическом фоне севооборота без люцерны их обилие составляло 1,8%.

Микроорганизмы, относящиеся к филуму *Muxococcota*, одинаково проявляли себя в весенний период как в почве экспериментальных вариантов севооборотов (0,9-1,3%), так и в необработанной почве лесополосы (1,1%), с тенденцией возрастания в почве севооборота без участия люцерны. Летом бактерии этого филума также относительно ровно были представлены в экспериментальных вариантах севооборотов – 1,4-1,8% с тенденцией увеличения долевого участия в почве севооборота с люцерной. В необработанной почве лесной полосы их обилие составляло 0,4%.

Бактерии филума *Gemmatimonadota* весной лучше проявляли себя в почве экспериментальных вариантов севооборотов – 0,4-0,6%. В необработанной почве лесополосы они были наименее всего представлены – 0,2%. Летом они были относительно ровно представлены в экспериментальных вариантах (0,4-0,6%) с наименьшим обилием в необработанной почве лесной полосы – 0,2%.

Филум *Nitrospirota* редко встречался, но одинаково проявлял себя в весенний период как в почве экспериментальных вариантов севооборота (0,2-0,4%), так и в почве лесополосы (0,3%). Летом же, хотя представители этого филума также редко встречались, обилие их было одинаково представлено в экспериментальных вариантах (0,4-0,7%), но меньше в необработанной почве лесной полосы (0,2%).

Прокариоты филума *Patescibacteria*, также редко встречаемые, весной предпочитали почву экспериментальных вариантов (0,1-0,2%), в почве минерального фона севооборота без люцерны и в почве лесополосы обилие этого филума составляло 0,04%. Летом же этот филум имел наибольшее обилие в органическом фоне севооборота с люцерной (0,2%), а в почве лесной полосы присутствие было минимальным – 0,03%.

Археи, принадлежащие к филуму *Thaumarchaeota*, характеризовались как прокариоты с доминирующим присутствием. Весной они больше предпочитали условия почвы севооборота с люцерной, в особенности вариант с минеральным фоном, их обилие варьировало от 6,0 до 8,3% по сравнению с почвой лесной полосы – 5,2%. Летом они регистрировали наивысшие показатели в почве экспериментальных вариантов севооборотов (от 4,5 до 7,3%), наибольшие значения наблюдались в почве удобренных вариантов севооборота с люцерной – 7,1-7,3%, в почве лесополосы их обилие было наименьшим – 2,3%.

Таким образом, при помощи метода высокопроизводительного секвенирования, обладающего высокой разрешающей способностью и возможностью исследовать, в том числе, некультивируемые формы микроорганизмов, впервые проведено определение и описание метагеномной характеристики микробиомов типичного чернозема Молдовы, которое представляет собой отражением реального разнообразия почвенных прокариотных сообществ. Сочетание особенностей черноземной почвы и выращиваемых на ней растений в кормовых севооборотах приводило к значительным изменениям в прокариотных сообществах. По результатам наших исследований эти сообщества существенно отличаются от сообществ исходной почвы (Leininger, S. и др. 2006; Paul, E. A. 2015; Pester, M. и др. 2011). Объяснением отличительных особенностей изученной почвы может быть конкуренция микроорганизмов за скудные ресурсы малогумуссированных субстратов изученного чернозема, а также их высокий адаптивный потенциал к условиям экологической обстановки (Иванова, Е. А. и др. 2015). В данном случае имеется в виду прослеживаемая зависимость прокариот от ведущих экологических факторов, какими в рассматриваемых условиях являются абиотические показатели – недостаточная влажность, повышенная температура и скудное содержание питательных веществ (Звягинцев, Д. Г. 1987).

Установленная индивидуальность изученных микробиомов позволила выявить расхождения в таксономическом составе исследуемых вариантов, которые могут быть обусловлены несколькими причинами. Во-первых, это связано с неоднородностью химических свойств изученных фонов (Звягинцев, Д.Г. 1987). Во-вторых, причиной неоднородности микробиома является гетерогенность почвы как среды обитания почвенных микроорганизмов, а также локализация вегетирующих форм микроорганизмов в микроразнообразиях с доступными элементами питания и более благоприятными условиями для поддержания их жизненного статуса (Чернов, Т.И. 2015). Взаимодействие между живой и неживой частью почвы (Вернадский, В.И. 2004) определяет широту экологических функций изученной почвы, обуславливая разнообразие почвенных прокариот, и формируя таким образом дифференцированные сообщества почвенных микроорганизмов в малогумуссированных черноземах.

## ВЫВОДЫ

Полученные результаты выявили, что формирование микробных сообществ черноземных экосистем зависит от физико-химических факторов. Это связано с нехваткой влажности и высокой температурой (засухой), а также с дефицитом питательных веществ в пахотном слое малогумуссированного чернозема типичного.

Метагеномный анализ прокариотных сообществ показал наличие 19 филумов, относящихся к доменам архей и бактерий. Выявлены 12 филумов, доля которых была выше 1,0%, в частности филум архей *Thaumarchaeota* и следующие филумы бактерий: *Proteobacteria*, *Actinobacteriota*, *Bacteroidota*, *Acidobacteriota*, *Firmicutes*, *Verrucomicrobiota*, *Planctomycetota*, *Mycococcota*, *Gemmatimonadota*, *Nitrospirota*, *Patescibacteria*. Филумы, обладающие долей менее 1,0%, предпочитали условия экспериментальных вариантов севооборотов. Значительную долю составляли неклассифицированные микроорганизмы, обилие которых варьировало от 25,8 до 38,2% весной и от 27,9 до 40,2% летом.

Проведенные исследования показали, что влияние агротехнических мероприятий оказало существенное влияние на структуру микробиомного сообщества чернозема типичного.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. GRAY, N.D., HEAD, I. M. (2001). Linking genetic identity and function in communities of uncultured bacteria. In: Environmental Microbiology, no. 3(8), pp. 481–492. ISSN 1462-2920.
2. LEININGER, S., URICH, T., SCHLOTTER, M., SCHWARK, L., QI, J., NICOL, G.W., PROSSER, J.I., SCHUSTER, S.C., SCHLEPER, C. (2006). Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils. In: Nature, no. 442, pp. 806-809. ISSN 1476-4687.
3. PAUL, E.A. (2015). Soil microbiology, ecology, and biochemistry: An exciting present and great future built on basic knowledge and unifying concepts. In: Soil microbiology, ecology, and biochemistry, 4th edition. Academic Press, pp. 1-14. ISBN 978-0123914118.
4. PESTER, M., SCHLEPER, C., WAGNER, M. (2011). The Thaumarchaeota: an emerging view of their phylogeny and ecophysiology. In: Current Opinion in Microbiology, no. 14(3), pp. 300-306. ISSN 1369-5274.
5. АНДРОНОВ, Е.Е., ПЕТРОВА, С.Н., ПИНАЕВ, А.Г., ПЕРШИНА, Е.В., РАХИМГАЛИЕВА, С.Ж., АХМЕДЕНОВ, К.М., ГОРОБЕЦ, А.В., СЕРГАЛИЕВ, Н.Х. (2012). Изучение структуры микробного сообщества почв разной степени засоления с использованием T-RFLP и ПЦР в реальном времени. В: Почвоведение, № 2, с. 173-183. ISSN 0032-180X.
6. АРИНУШКИНА, Е.В. (2013). Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 489 с. ISBN 978-5-458-28118-8.
7. ВЕРНАДСКИЙ, В.И. (2004). Биосфера и ноосфера. Москва: Айрис Пресс, 576 с. ISBN 5-8112-0320-9.
8. ДОСПЕХОВ, Б.А. (1985). Методика полевого опыта. Москва: Колос, 351 с. ISBN 978-5-458-23540-2.
9. ЗВЯГИНЦЕВ, Д.Г. (1991). Методы почвенной микробиологии и биохимии. Москва: МГУ, 304 с. ISBN 5-211-01675-0.
10. ЗВЯГИНЦЕВ, Д.Г. (1987). Почва и микроорганизмы. Москва: МГУ, 256 с.
11. ИВАНОВА, Е.А., КУТОВАЯ, О.В., ТХАКАХОВА, А.К., ЧЕРНОВ, Т.И., ПЕРШИНА, Е.В., МАРКИНА, Л.Г., АНДРОНОВ, Е.Е., КОГУТ, Б.М. (2015). Структура микробного сообщества агрегатов чернозема типичного в условиях контрастных вариантов сельскохозяйственного использования. В: Почвоведение, №11, с. 1367-1382. ISSN 0032-180X.
12. КУТОВАЯ, О.В., ЛЕБЕДЕВА, М.П., ТХАКАХОВА, А.К., ИВАНОВА, Е.А., АНДРОНОВ, Е.Е. (2015). Метагеномная характеристика биологического разнообразия крайнеаридных пустынных почв Казахстана. В: Почвоведение, № 5, с. 554-561. ISSN 0032-180X.
13. ЧЕРНОВ, Т.И., ТХАКАХОВА, А.К., ИВАНОВА, Е.А., КУТОВАЯ, О.В., ТУРУСОВ, В.И. (2015). Сезонная динамика почвенного микробиома многолетнего агрохимического опыта на черноземах Каменной Степи. В: Почвоведение, №12, с. 1483–1488. ISSN 0032-180X.
14. ЧИРАК, Е.Л., ПЕРШИНА, Е.В., ДОЛЬНИК, А.С., КУТОВАЯ, О.В., ВАСИЛЕНКО, Е.С., КОГУТ, Б.М., МЕРЗЛЯКОВА, Я.В., АНДРОНОВ, Е.Е. (2013). Таксономическая структура микробных сообществ в почвах различных типов по данным высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S-rРНК. В: Сельскохозяйственная биология, № 3, с. 100-109. ISSN 0131-6397.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ФРУНЗЕ Нина Ивановна**  <https://orcid.org/0000-0001-7263-5863>

доктор хабилитат, главный научный сотрудник, Лаборатория „Национальная коллекция непатогенных микроорганизмов”, Институт микробиологии и биотехнологии технического университета Молдовы, Республика Молдова

*E-mail:* ninafrunze@mail.ru

**ИНДОИТУ Диана Дмитриевна**  <https://orcid.org/0000-0003-4190-7816>

научный сотрудник, Лаборатория „Национальная коллекция непатогенных микроорганизмов”, Институт микробиологии и биотехнологии технического университета Молдовы, Республика Молдова

*E-mail:* ind.diana@hotmail.com

Data prezentării articolului: 27.09.2022

Data acceptării articolului: 04.11.2022