

Ушакова О.В.¹, Рахманин Ю.А.^{1,2}, Евсеева И.С.¹

Особенности микробиома почв захоронений

¹Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина
ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровья»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В Российской Федерации, как и во многих странах, значительные площади отведены под захоронения. В зависимости от химического и биологического воздействия может происходить изменение микробного состава почвы территорий захоронения. На этот процесс влияет множество факторов: влажность, исходное содержание органических и минеральных веществ, уровень кислотности, структура почвы и особенности протекания внутрипочвенных газофазных реакций. Ключевыми участниками процесса разложения органического материала являются бактерии и грибы, многообразие и динамика которых напрямую зависят от степени загрязнения почв загрязнителями.

Цель исследования — анализ микробиоты кладбищенской почвы в различных её слоях.

Материалы и методы. Объектами исследования для оценки микробиома почв были кладбища Москвы (Николо-Хованское, Николо-Архангельское, Перепеченское), Московской (Мытищинское, Домодедовское), Тульской (Городское кладбище № 1 МКП КСО, г. Тула), Курской (старое городское кладбище, г. Курчатова) областей, Красноярского (г. Железнодорожск) и Алтайского (г. Яровое) краёв.

Результаты. Установлено, что наиболее распространёнными в изученных почвах бактериями являются *Enterococcus* spp. (81%), *Bacillus* spp. (75%) и кишечная палочка (45,1%). Грибы *Penicillium* spp. выделены из 61% проб. Выявленные профили микробиоты образцов исследованных кладбищенских почв отражают микробный состав тела человека, что позволяет обосновать основные методы и алгоритм идентификации процессов разложения в зависимости от временных рамок захоронений.

Ограничение исследования. Ограничением исследования является то, что не оценивался риск контакта с кладбищенской почвой, поскольку не все роды выделенных микроорганизмов можно было идентифицировать по их биохимическим свойствам.

Заключение. Исследования, проведённые на территориях кладбищ, показали, насколько разнообразен микробиом почв в местах захоронений и различен в зависимости от глубины отбора проб. Выделенные в ходе исследования профили микробиоты образцов кладбищенской почвы отражают прижизненный микробный состав тела человека, что позволяет обосновать подходы к идентификации процессов разложения в зависимости от временных рамок захоронений.

Ключевые слова: кладбища; микробиом; почва; микробиологический риск

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требовало одобрения локального этического комитета.

Для цитирования: Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С. Особенности микробиома почв захоронений. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 920–924. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-920-924> <https://elibrary.ru/hagtcl>

Для корреспонденции: Ушакова Ольга Владимировна, e-mail: Oushakova@cspmrz.ru

Участие авторов: Ушакова О.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Рахманин Ю.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Евсеева И.С. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследования проводились в рамках государственного задания по теме «Мониторинг» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 16.04.2024 / Поступила после доработки: 03.06.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликовано: 16.10.2024

Olga V. Ushakova¹, Yuriy A. Rakhmanin^{1,2}, Irina S. Evseeva¹

Features of the microbiome of burial soils

¹A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the FMBA, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. On the territory of the Russian Federation, as well as worldwide, a large amount of space is allocated for burials. The soils found in the burial areas have their own characteristics. In the scientific literature there is a few works devoted to the problem of hygienic assessment of cemeteries from the point of view of their impact on the environment, as well as on the population living next to necrosols or working on them. Depending on the chemical and biological effects, the microbial composition of the soil changes. This process is influenced by many factors, including humidity, the initial content of organic and mineral substances, level of acidity, structure of the soil and peculiarities of the course of intra-soil gas-phase reactions. The key participants in the decomposition of organic material are bacteria and fungi, the diversity and dynamics of which directly depend on the degree of soil contamination with pollutants.

The purpose of this study was to analyze the microbiota of cemetery soil in its various layers.

Materials and methods. The cemeteries of Moscow (Nikolo-Khovanskoye, Nikolo-Arkhangelskoye, Perepechenskoye), Moscow (Mytishchenskoye, Domodedovo), Tula (Municipal Cemetery No. 1 of the Municipal State Enterprise of the Municipal Formation of the City of Tula Combine of Specialized Services), Kursk (old city cemetery Kurchatov), Krasnoyarsk (Zheleznogorsk) regions and Altai (Yarovoye) Krai were selected as research objects for assessing the microbiome of soils.

Results. The most common bacterial pathogens were found to be *Enterococcus* spp. (81%), *Bacillus* spp. (75%) and *E. coli* (45.1%). Mushrooms of *Penicillium* spp. were isolated from 61% of the samples. The revealed microbiota profiles of the samples of the studied cemetery soils reflect the microbial composition of humans, which allows substantiating the main methods and algorithm for identifying decomposition processes depending on the time frame of burials.

Limitations. The limitation of the study is due to the risk of contact with cemetery soil was not assessed, since not all genera of isolated microorganisms could be identified by their biochemical properties.

Conclusion. Studies conducted in cemetery areas have shown how diverse the soil microbiome is in burial sites and varies depending on the depth of sampling. The microbiota profiles of cemetery soil samples identified during the study reflect the lifetime microbial composition of the human body, which makes it possible to substantiate approaches to identifying decomposition processes depending on the time frame of burials.

Keywords: cemeteries; microbiome; soil; microbiological risk

Compliance with ethical standards. The approval of the local ethics committee is not required for this study.

For citation: Ushakova O.V., Rakhmanin Yu.A., Evseeva I.S. Features of the microbiome of burial soils. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(9): 920–924. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-920-924> <https://elibrary.ru/hagtcl> (In Russ.)

For correspondence: Olga V. Ushakova, e-mail: Oushakova@cspmrz.ru

Contribution: Ushakova O.V. — the concept and design of the study, writing the text, collecting material and processing data, editing, approving the final version of the article; Rakhmanin Yu.A. — the concept and design of the study, editing, approving the final version of the article; Evseeva I.S. — collecting material and processing data. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. Acknowledgment. The research was carried out within the framework of the state task on the topic “Monitoring” at the Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the FMBA of Russia.

Received: April 19, 2024 / Revised: June 3, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: October 16, 2024

Введение

Разрастание городских агломераций приводит к сокращению и ухудшению качества плодородных почв во всём мире. Быстрое и безопасное разложение трупов требует высококачественных функциональных почв и значительного объёма землепользования, которое зачастую конкурирует с потребностями сельского хозяйства и городского строительства. Проводимая кремация трупов, не связанная со значительными земельными изъятиями, требует большого количества энергии, загрязняет атмосферу и неприемлема для некоторых религиозных общин.

Ключевой функцией почвы является разложение органических материалов, как естественных, так и вносимых с мёртвыми телами животных и человека. Разнообразие микроорганизмов в почве определяется совокупностью факторов, основная роль принадлежит биологическому и химическому загрязнению, которое может оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Возможный риск заражения людей на кладбище связан в большинстве случаев с повреждениями целостности кожного покрова и загрязнением ран во время работ. В настоящее время недостаточно исследований, посвящённых оценке микробиологического риска для сотрудников и посетителей кладбищ [1].

В зависимости от химического и биологического воздействия может происходить изменение микробного состава почвы. На этот процесс влияет множество факторов: влажность, исходное содержание органических и минеральных веществ, уровень кислотности, структура почвы и особенности протекания внутрипочвенных газофазных реакций [2]. Ежегодно в почву различными путями поступают экзогенные органические вещества [3–7].

Биологически активные загрязнители, такие как осадки сточных вод, биомусор, органические остатки мёртвых тел, создают благоприятную среду для выживания и развития патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов, являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод биогенными веществами, которые представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды.

Разложение органического вещества, в котором участвуют прежде всего бактерии и грибы, имеет основополагающее значение для функционирования почвенной экосистемы и способствует высокой степени неоднородности её физического, химического и биологического состава [8]. Бактерии в почве подразделяются на две группы: автохтонные (совокупность микроорганизмов, господствующих в почве, не получающих длительное время свежих органических веществ)¹, относящиеся к микроорганизмам, адаптированным к присутствию минимальных питательных веществ (*Arthrobacter* spp., *Azotobacter* spp., *Clostridium* spp., *Nitrobacter* spp., *Nitrosomonas* spp., *Pseudomonas* spp., *Serratia*

spp., *Bradyrhizobium* spp., *Mesorhizobium* spp., *Rhizobium* spp., *Sinorhizobium* spp., *Acidithiobacillus* spp., *Desulfovibrio* spp. и *Thiobacillus* spp.), и зимогенные (совокупность микроорганизмов, господствующих в почвах, в которые поступают свежие органические вещества)¹ охватывающие микроорганизмы, показывающие быстрый рост только после внесения высококонцентрированных питательных веществ (*Bacillus* spp., *Corynebacterium* spp., *Escherichia coli*, *Proteus* spp. и термофильные микроорганизмы) [5, 9].

Цель исследования — анализ микробиоты кладбищенской почвы, полученной в регионах Москвы, Московской, Тульской, Курской областей, Красноярского и Алтайского краёв, и оценке состава микробиоты в избранных слоях почвы.

Материалы и методы

Объектами исследования для оценки микробиома почв кладбищ как источников загрязнения объектов окружающей среды были кладбища Москвы (Николо-Хованское, Николо-Архангельское, Перепеченское), Московской (Мытищинское, Домодедовское), Тульской (Городское кладбище № 1 МКП КСО, г. Тула), Курской (старое городское кладбище, г. Курчатова) областей, Красноярского (г. Железногорск) и Алтайского краёв (г. Яровое).

При санитарно-микробиологических исследованиях проб почв кладбищ выбор микробиологических показателей проводили на основании МУК 4.2.3695–21 «Методы микробиологического контроля почвы». Также почвы кладбищ исследованы по санитарно-паразитологическим показателям (санитарно-гельминтологическому и санитарно-протозоологическому) в соответствии с МУК 4.2.2661–10 «Методы санитарно-паразитологических исследований». Статистическая обработка результатов проведена с использованием пакета стандартной компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Область исследований. Кладбища, вошедшие в исследование, созданы в XX–XXI веках. Все они, за исключением старого городского кладбища г. Курчатова, продолжают принимать захоронения в соответствии с действующим законодательством². Кладбищенский период реабилитации соответствующего земельного участка в них составляет не менее 20 лет для погребения в гробах, а среднее количество погребений на одном месте захоронения не менее двух, с учётом создания семейных мест захоронения. Срок эксплуатации кладбища для подобных погребений составляет не менее двух кладбищенских периодов, то есть 40 лет, но за счёт прирезок к первоначальным территориям этот срок может быть увеличен. Среднегодовая температура в выбранных местах захоронения составляет плюс 0,5–7,4 °С, среднее количество осадков — 300–650 мм с максимумом в июле и минимумом в феврале.

² Федеральный закон РФ «О погребении и похоронном деле» от 12.01.1996 г. № 8.

¹ Термин предложен С.Н. Виноградовым (1949).

Санитарно-эпидемиологическая характеристика грунта захоронений
Sanitary and epidemiological characteristics of burials

Энтомопатогенные микроорганизмы, КОЕ/г Entomopathogenic microorganisms, CFU/g	Наименование кладбища / Cemetery name																					
	Николю-Хованское Nikolo-Khovanskoye				Николю-Архангельское Nikolo-Arkhangelskoye		Перепеченское Perepetchenskoye		Мытищинское Mytishchinskoye		Домодедовское Domodedovskoye		Городское кладбище № 1 МКП КСО г. Тулы Municipal Cemetery No. 1 of the Municipal State Enterprise of the Municipal Formation of the City of Tula Combine of Specialized Services				Старое городское кладбище г. Курчатова Old City Cemetery of Kurchatov		кладбище г. Железнодорожска Cemetery of Zheleznogorsk		кладбище г. Ярового Cemetery of Yarovoye city	
	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2	1.5		
<i>Bacillus</i> spp.	30	30	20	20	30	30	25	25	25	25	50	50	5	—	15	—	—	—	—	—		
<i>Bacillus cereus</i>	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—	6500	50	—	—		
<i>Bacillus megaterium</i>	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Bacillus pumilus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	650	250	—	—		
<i>Enterococcus</i> spp.	30	30	800	400	400	400	7000	3000	200	15	50	15	50	25	200	20	1200	200	—	—		
<i>Enterococcus faecalis</i>	10	10	240	200	200	100	300	100	25	—	—	—	20	20	15	5	—	—	—	—		
<i>Lelliotia amnigena</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	500	—	—	—	—	—	—		
<i>Enterobacteraceae</i> spp.	10	25	5	5	0	15	5	15	15	25	25	50	164	224	50	50	25	200	—	—		
<i>Escherichia coli</i>	10	10	—	—	—	—	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Staphylococcus</i> spp.	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	—	—	—	—	—	—	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
CNS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8500	7500	—	—		
<i>Pseudomonas thivervalensis</i>	—	170	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 600	8500	—	—		
<i>Pseudomonas koreensis</i>	—	200	—	—	—	200	—	4000	—	—	—	—	—	300	—	—	9000	—	—	—		
<i>Achromobacter piecha-ii</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	—	—	10 500	—	—	—		
<i>Variovorax paradoxus</i>	—	—	—	—	50	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	50	—	—	—		
<i>Streptococcus mitis</i>	30	30	20	20	—	—	10	10	20	20	50	30	—	—	—	—	2050	1000	—	—		
<i>Penicillum</i> spp.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3650	—	—	—		
<i>Mycelia sterilia</i>	—	200	—	—	—	—	—	900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1500	—	—		
<i>Mucor</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—		
<i>Lamblia intestinalis</i>	6	—	—	—	2	—	12	—	28	—	—	—	18	—	—	—	14	—	—	—		
<i>Toxocara</i> spp.	—	—	6	—	5	—	12	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Nematodae numinae</i>	—	—	—	—	—	—	8	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Giardia species</i>	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Taeniidae</i> spp.	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Heminolepis diminuta</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Cryptosporidium</i> spp.	—	—	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
<i>Trichocephalus</i> spp.	13	—	—	—	20	—	—	—	24	—	—	—	—	24	—	—	9	—	—	—		
<i>Ascaris</i> spp.	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

Отбор образцов. Почвенные образцы для микробиологических исследований отобраны в 97 захоронениях. Точечные пробы отбирали почвенным буром на пробной площадке из нескольких слоёв (20 см; 1,5 и 2 м) методом конверта, по диагонали с таким расчётом, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для генетических горизонтов или слоёв данного типа почв.

На основании анализа точечных проб сравнивали встречаемость микроорганизмов на трёх глубинах (сравнение проводили в общей выборке на могилу и на кладбище). Оценивали наличие аэробных и анаэробных грамположительных и грамотрицательных кокков и палочек.

Для сравнения пропорций использовали критерий Пирсона (двусторонний, уровень значимости 0,05), а перекрёстный табличный анализ проводили с использованием программного обеспечения Statistica.

Результаты

Обнаружены представители семи родов бактерий. Виды *Bacillus* (*Bacillus megaterium*, *Bacillus Cereus* и *Bacillus pumilus*), виды *Enterococcus* (включая *Enterococcus faecalis* и *Lelliotia amnigena*), виды *Escherichia* (включая *E. coli*) и виды *Staphylococcus* из образцов почвы кладбищ (*Staphylococcus epidermidis* и другие коагулазонегативные стафилококки) — CNS, а также три рода грибов (*Penicillium* spp., *Mycelia sterilia*, *Mucor*) наиболее распространёнными возбудителями являлись *Enterococcus* spp., *Bacillus* spp. и *Escherichia coli*. Выявлены также возбудители паразитарных болезней гельминтной и протозойной этиологии: *Lambliа intestinalis*, *Toxocara* spp., *Nematodae numinae*, *Giardia species*, *Taeniidae* spp., *Heminolepis diminuta*, *Cryptosporidium* spp., *Trichocephalus* spp., *Ascaris* spp. Результаты представлены в таблице.

Независимо от глубины отбора проб в двух слоях почвы на территориях всех кладбищ отмечался обильный рост бактерий *Bacillus* spp. Рост *Enterococcus* spp. показал выраженную тенденцию к снижению в зависимости от глубины отбора в обоих слоях почвы. Рост видов *Escherichia* (преимущественно *E. coli*) был выше в образцах из глубокого слоя почвы в сравнении с образцами из поверхностного слоя.

В почвах выявлена в основном микрофлора, представленная в таблице (наиболее часто обнаруживаемые варианты), однако встречались и другие виды. Их учёт также проводили для характеристики биотопа почв кладбищ. На всех могильниках преобладали три рода бактерий: *Bacillus* spp., *Enterococcus* spp. и *Escherichia* spp.

Обсуждение

Исследования кладбищенской почвы начались во второй половине XX века, когда появился термин «некрозоль». Этот слой не превышает глубины 0,2 м при условии изменения по профилю почвы [9–12]. За рубежом научное исследование некрозмов сосредоточено в основном на определении уровней химических соединений органического углерода, фосфора, азота в почве [13, 14], грунтовых водах и атмосферном воздухе. Показано, что основными загрязнителями атмосферного воздуха являются фосфин и этилен, а грунтовых вод — путресцин и кадаверин. Что касается микрофлоры некрозоль, то в ней установлено значительное содержание бактерий *Escherichia coli* [15, 16].

В нашей стране процедура оценки риска для здоровья населения практически не предусматривает оценки микробиологического риска для сотрудников и посетителей кладбищ. Изучение потенциальных рисков, связанных с кладбищами и микробиотой в различных глубинах почвы в местах захоронений, только начинается. Развитие возможных болезней у работников кладбищ, посетителей и лиц, проживающих вблизи некрозмов, связано прежде всего с повреждением кожных покровов и последующим инфицированием ран, однако нельзя исключать и риски, связанные со случайным проглатыванием и вдыханием микроорганизмов или переносом их

на слизистые оболочки глаз. Для людей, проживающих вблизи кладбищ, следует учитывать возможность развития болезней, которые будут связаны с инфицированием продуктов питания, воды и почвы микробными агентами. Немногочисленные исследования показали, что грунтовые воды вблизи захоронений содержат *Pseudomonas aeruginosa* и *Clostridium perfringens* в высоких концентрациях [17, 18]. Результаты этих исследований подчёркивают необходимость углублённого системного анализа микробного пейзажа территорий захоронений с использованием чувствительных лабораторных методов. Воздействие почвенных микроорганизмов следует оценивать с учётом их возможных контактов с людьми.

Профили микробиоты образцов кладбищенской почвы, протестированных в настоящем исследовании, аналогичны прижизненному микробному составу тела человека. К наиболее распространённым таксономическим группам, выделенным из живых изолятов тканей человека, относятся *Streptococcus* spp., *Staphylococcus* spp., *Clostridium* spp., *Bacillus* spp. и *Lactobacillus* spp. [7].

Эта композиция во многом отражает процессы разложения захоронений. Следует отметить, что риски возникновения болезней человека, вызванных идентифицированными в пробах почвы некрозмов видами бактерий, достаточно велики. Установлено, что в различных слоях почвы, отобранной из мест захоронения, микробиота была схожа. Основными представителями являлись бактерии *Bacillus cereus*, *Enterococcus* spp. Часть представленных бактерий входит в группу ESKAPE-патогенов. Это особо опасные бактерии, вызывающие смертельно опасные болезни и обладающие высокой антибиотикорезистентностью. Как показывают исследования, данные виды бактерий составляют основу биопробиоты изолятов с раневых поверхностей. Поскольку человек, ухаживающий за могилами или работающий на кладбище, непосредственно контактирует с почвой, изучение профиля микробиоты мест захоронения представляется актуальной задачей [6, 19–22]. Выделенная из образцов почв кладбищ *E. coli* также требует особого внимания. В большинстве случаев бактерия не вызывает опасных инфекций, однако при неблагоприятных условиях возможно изменение её вирулентности, приводящее к тяжёлым болезням [23]. В дальнейшем нами будет проведено определение потенциальной вирулентности *E. coli* с учётом глубины отбора проб кладбищенской почвы.

В ходе исследования обнаружены грибы *Penicillium* spp., которые вызывают инфекцию чаще всего при вдыхании спор. Как и большинство грибов, этот вид обладает сенсibiliзирующим действием, потенциально вызывая астму, аллергический ринит и атопический дерматит [24].

На территориях кладбищ обнаружены возбудители паразитарных болезней гельминтной и протозойной этиологии, такие как *Lambliа intestinalis*, *Toxocara* spp., *Nematodae numinae*, *Giardia species*, *Taeniidae* spp., *Heminolepis diminuta*, *Cryptosporidium* spp., *Trichocephalus* spp., *Ascaris* spp. Тесты показали жизнеспособность более 50% патогенов. Это говорит об эпидемической опасности некрозмов как источников постоянного паразитарного загрязнения. Наибольшую опасность представляет контаминирование яйцами токсокар и аскарид, которые опосредованно через заражение собак и кошек могут вызывать паразитарные болезни человека.

Заключение

Проведённые на территориях кладбищ исследования показали, насколько разнообразен микробиом почв в местах захоронений и различен в зависимости от глубины отбора проб. Наиболее распространёнными бактериальными возбудителями были *Enterococcus* spp. (81%), *Bacillus* spp. (75%) и *E. coli* (45,1%). Грибы *Penicillium* spp. выделены из 61% проб. Установлено, что выделенные в ходе исследования профили микробиоты образцов кладбищенской почвы отражают прижизненный микробный состав тела человека. Это позволяет обосновать подходы к идентификации процессов разложения в зависимости от временных рамок захоронений.

Литература

(п.п. 1–7, 9–11, 13–20, 22–24 см. References)

8. Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Зинякова Н.Б., Хромычкина Д.П., Соколов Д.А., Лопес де Гереню В.О. и др. Зависимость разложения органического вещества почвы и растительных остатков от температуры и влажности в длительных инкубационных экспериментах. *Почвоведение*. 2022; (7): 860–75. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22070085> <https://elibrary.ru/ackuyg>
12. Майгьер Л., Рахмонов О., Беднарек Р. Особенности почв заброшенных кладбищ северной Польши на песчаных субстратах. *Почвоведение*. 2014; (6): 759. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14060082> <https://elibrary.ru/sepzwf>
21. Ярец Ю.И. Патогенный потенциал бактерий группы ESKAPE, выделенных из ран: характеристика фено-и генотипических маркеров и возможность их практического применения. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2022; 20(4): 400–13. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2022-20-4-400-413> <https://elibrary.ru/vtsale>

References

1. Üçisik A.S., Rushbrook P. *The Impact of Cemeteries on the Environment and Public Health: an Introductory Briefing*. Copenhagen: WHO; 1998.
2. Eldor A.P., Frey S.D. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Elsevier; 2023.
3. Bourget M.Y., Fanin N., Fromin N., Hättenschwiler S., Roumet C., Shihan A., et al. Plant litter chemistry drives long-lasting changes in the catabolic capacities of soil microbial communities. *Functional Ecology*. 2023; 37(7): 2014–28. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14379>
4. Valderrama-Beltrán S., Gualtero S., Álvarez-Moreno C., Gil F., Ruiz A.J., Rodríguez J.Y., et al. Risk factors associated with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* skin and soft tissue infections in hospitalized patients in Colombia. *Int. J. Infect. Dis.* 2019; 87: 60–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.07.007>
5. Asare M.O., Šmejda L., Horák J., Holodňák P., Černý M., Pavlu V., et al. Human burials can affect soil elemental composition for millennia – analysis of necrosols from the Corded Ware Culture graveyard in the Czech Republic. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 2020; 12(11): 255. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01211-1>
6. García-López Z., Martínez Cortizas A., Álvarez-Fernández N., López-Costas O. Understanding Necrosol pedogenetical processes in post-Roman burials developed on dunes sands. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 10619. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14750-5>
7. Křišťuf P., Janovský M., Turek J., Horák J., Ferenczi L., Hejzman M. Neolithic long barrows were built on the margins of settlement zones as revealed by elemental soil analysis at four sites in the Czech Republic. *J. Archaeol. Sci.* 2023; 160(105881): 105881. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2023.105881>
8. Semenov V.M., Lebedeva T.N., Zinyakova N.B., Khromyckina D.P., Sokolov D.A., Lopes de Gerenyu V.O., et al. The dependence of decomposition of soil organic matter and plant residues on temperature and humidity in long-term incubation experiments. *Pochvovedenie*. 2022; (7): 860–75. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22070085> <https://elibrary.ru/ackuyg> (in Russian)
9. Drewnik M., Życa M. Properties and classification of heavily eroded post-chernozem soils in Proszowice Plateau (southern Poland). *Soil Sci. Annu.* 2019; 70(3): 225–33. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824448-7.00012-7>
10. Tripathi M., Gaur R. Bioactivity of soil microorganisms for agriculture development. In: *Microbes in Land Use Change Management*. Elsevier; 2021: 197–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824448-7.00012-7>
11. Messelhäußer U., Ehling-Schulz M. *Bacillus cereus* – a multifaceted opportunistic pathogen. *Curr. Clin. Microbiol. Rep.* 2018; 5: 120–5. <https://doi.org/10.1007/s40588-018-0095-9>
12. Majgier L., Rahmonov O., Bednarek R. Features of abandoned cemetery soils on sandy substrates in northern Poland. *Pochvovedenie*. 2014; (6): 759. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14060082> <https://elibrary.ru/sepzwf> (in Russian)
13. Greinert A., Kostecki J. The problem of identifying and classifying post-cemetery soils in urban areas. *Geoderma*. 2024; 442: 116774. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116774>
14. Chazrynski P., Bednarek R., Świtoniak M., Żołnowska B. Ekranic technosols and urtic technosols of Toruń necropolis. *Geologija*. 2011; 53(4): 179–85. <https://doi.org/10.6001/geologija.v53i4.1905>
15. Majgier L., Rahmonov O. Selected chemical properties of Necrosols from the abandoned cemeteries Stabowo and Szymonka (Great Mazurian Lakes District). *Bull. Geogr. Phys. Geogr. Ser.* 2012; 5: 43–55. <https://doi.org/10.2478/v10250-012-0003-8>
16. Żychowski J. Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review. *Catena*. 2012; 93: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.009>
17. Ministry of Infrastructure and Development Poland. Regulation of the Minister of Infrastructure and Development of February 27, 2015 on the methodology for determining the energy performance of a building or part of a building and energy performance certificates; 2015.
18. Forbes S.L., Stuart B.H., Dent B.B. The effect of the burial environment on adipocere formation. *Forensic Sci. Int.* 2005; 154(1): 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.09.107>
19. Ubelaker D.H., DeGaglia C.M. The impact of scavenging: perspective from casework in forensic anthropology. *Forensic Sci. Res.* 2020; 5(1): 32–7. <https://doi.org/10.1080/20961790.2019.1704473>
20. Mou Y., Ye L., Ye M., Yang D., Jin M. A retrospective study of patients with a delayed diagnosis of allergic bronchopulmonary aspergillosis/allergic bronchopulmonary mycosis. *Allergy Asthma Proc.* 2014; 35(2): e21–6. <https://doi.org/10.2500/aap.2014.35.3731>
21. Yarets Yu.I. Pathogenic potential of ESKAPE group bacteria isolated from wounds: characterization of phenotypic and genotypic markers and possibility of their practical application. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2022; 20(4): 400–13. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2022-20-4-400-413> <https://elibrary.ru/vtsale> (in Russian)
22. Bocchi M.B., Cianni L., Perna A., Vitiello R., Greco T., Maccauro G., et al. A rare case of *Bacillus megaterium* soft tissues infection. *Acta Biomed.* 2020; 91(14-S): e2020013. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i14-s.10849>
23. García-Solache M., Rice L.B. The enterococcus: a model of adaptability to its environment. *Clin. Microbiol. Rev.* 2019; 32(2): e00058–18. <https://doi.org/10.1128/cmr.00058-18>
24. Rezatofighi S.E., Mirzarazi M., Salehi M. Virulence genes and phylogenetic groups of uropathogenic *Escherichia coli* isolates from patients with urinary tract infection and uninfected control subjects: a case-control study. *BMC Infect. Dis.* 2021; 21(1): 361. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-06036-4>

Сведения об авторах

Ушакова Ольга Владимировна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Oushakova@cspmr.ru

Рахманин Юрий Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, гл. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: awme@mail.ru

Евсеева Ирина Сергеевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Ievseeva@cspmr.ru

Information about the authors

Olga V. Ushakova, MD, PhD, leading researcher of the Hygiene Department, A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> E-mail: Oushakova@cspmr.ru

Yuriy A. Rakhmanin, MD, PhD, DSci., professor, academician of the RAS, Chief scientific adviser of the A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119121, Russian Federation, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014> E-mail: awme@mail.ru

Irina S. Evseeva, MD, PhD, senior researcher at the Hygiene Department, A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene of the Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5765-0192> E-mail: Ievseeva@cspmr.ru