

Читайте
онлайн
Read
onlineУшакова О.В.¹, Рахманин Ю.А.^{1,2}, Евсеева И.С.¹, Ибрагимова С.Ш.¹

Международные и отечественные подходы к оценке почв кладбищ различных природно-климатических зон (обзор литературы)

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»

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

Смерть неотделима от функционирования биосферы и демонстрирует её неотъемлемую связь с присутствием человечества на Земле. По данным на конец 2024 г., при общей численности населения планеты 8,156 млрд человек среднесуточное число смертей составляло 170 463 (7103 смерти в час). Анализ урбанизированных территорий, на которых сконцентрировано 4,42 млрд человек, выявил прямую корреляцию между развитием городов и организацией мест захоронения. Исторические документы подтверждают, что городские агломерации, существовавшие тысячелетиями, традиционно выполняли функцию площадок для погребения. В настоящее время территории бывших захоронений используются в основном как зоны постоянного погребального назначения либо как преобразованные в парковые зоны или застроенные участки с озеленёнными территориями.

Исследование почвенного покрова указанных выше территорий выявило специфические характеристики, обусловленные первоначальным назначением и последующими трансформациями землепользования. Все почвы мест захоронения классифицируются как некрополи и характеризуются следующими признаками: турбация почвенного профиля, обогащение более глубоких горизонтов почвы фосфором и углеродом, глубокое перемешивание почвы и наличие различных артефактов, останки захоронений. В современной классификации почв отсутствует место для тех почв, которые после захоронений используются в пределах застроенных территорий, их можно охарактеризовать только как «техногенные» или «другие почвы» без указания бывших захоронений.

В статье представлен обзор зарубежной и российской литературы, посвящённой исследованиям почв кладбищ и классификации их по степени воздействия на окружающую среду и здоровью населения. Исследованию не подлежали почвы, используемые для мест захоронения останков после сжигания тел умерших в крематории или для мест именных родовых захоронений в склепах.

Ключевые слова: некрозёмы; классификация; типы почв; урбаноём; кладбища; захоронения; городское землепользование; некрополи; защита мест захоронения

Для цитирования: Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С., Ибрагимова С.Ш. Международные и отечественные подходы к оценке почв кладбищ различных природно-климатических зон (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2025; 104(12): 1663–1669. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1663-1669> <https://elibrary.ru/vattcq>

Для корреспонденции: Ушакова Ольга Владимировна, e-mail: OUshakova@cspfmba.ru

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

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания.

Поступила: 13.11.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликована: 15.01.2026

Olga V. Ushakova¹, Yuri A. Rakhmanin^{1,2}, Irina S. Evseeva¹, Saida Sh. Ibragimova¹

International and domestic approaches to the assessment of cemetery soils in various natural-climatic zones (literature review)

¹Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation;²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, Russian Federation

ABSTRACT

Death is inseparable from the functioning of the biosphere and demonstrates its inherent connection to the presence of humanity on Earth. According to data from the end of 2024, with a total global population of 8.156 billion people, the average daily number of recorded deaths is 170,463, which amounts to 7,103 deaths per hour. An analysis of urbanized areas, which are home to 4.42 billion people, revealed a direct correlation between urban development and the management of burial sites. A historical retrospective shows that urban agglomerations, which have existed for millennia, have traditionally served as sites for interment. Currently, the territories of former burial grounds are used mainly as permanent burial zones, converted into park areas or built-up areas with green spaces. A study of the soil cover in the aforementioned territories revealed specific characteristics due to their original purpose and subsequent land-use transformations. All soils at burial sites are classified as necrosols and are characterized by the following features: turbation of the soil profile, enrichment of deeper soil horizons with phosphorus and carbon, deep mixing of the soil, and the presence of various artifacts and burial remains. In modern soil classification, there is no place for those soils that, after being used for burials, are utilized within built-up areas; they can only be characterized as “technogenic” or “other soils” without indicating the presence of former graves.

This article provides a review of foreign and Russian literature devoted to the study of cemetery soils, aiming to classify them according to their degree of impact on the environment and public health. The study did not include soils used for burial sites after the cremation of the bodies of the deceased in a crematorium or for burial sites in family vaults.

Keywords: necrozems; classification; soil types; Urbanozem; cemeteries; burials; urban land use; Necrosols; burial site conservation

For citation: Ushakova O.V., Rakhmanin Yu.A., Evseeva I.S., Ibragimova S. Sh. International and domestic approaches to the assessment of cemetery soils in various natural-climatic zones. (literature review). *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1663–1669. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1663-1669> <https://elibrary.ru/vattcq> (In Russ.)

For correspondence: Olga V. Ushakova, e-mail: OUshakova@cspfmba.ru

Contribution: Ushakova O.V. — research concept and design, writing, editing; Rakhmanin Yu.A. — research concept, editing; Evseeva I.S. — research concept and design, collection of material and data processing, writing, editing; Ibragimova S.Sh. — writing, editing. 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.

Funding. The study was carried out as part of the State assignment.

Received: November 13, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

Введение

Анализ текущей ситуации. По данным на конец 2024 г., население Земли составляло 8,156 млрд человек, а регистрируемое среднесуточное число смертей — 170 463 (7103 смерти в час). По прогнозам ООН, число людей, которые умрут в 2025 г., сократится примерно до 60,5 млн, но будет неуклонно расти в последующие годы, достигнув 91,6 млн в 2050 г. и 122,8 млн человек в 2100 г. (ООН, 2022) [1].

Нынешнее население Земли составляет $\approx 7\%$ от общего числа людей (близко к 117 млрд), когда-либо живших на Земле [2]. Палеодемографический анализ показывает, что останки предшествующих поколений локализуются преимущественно в следующих природных объектах: почвенные горизонты, донные отложения водных объектов, пещерные образования и скальные расщелины. Данные локализации формируют естественный архив человеческой истории, отражающий многовековое присутствие *homo sapiens* на планете. Для создания объективной картины качества территорий захоронений необходимо проводить оценку почвы в местах с наибольшим народонаселением.

В США в начале XIX века в среднем умирало 2,5 млн человек в год, а их захоронения располагались на 22 500 кладбищах [3]. К концу XX века общее число кладбищ превысило 100 000, к 2018 г. возросло до 145 000 [4, 5]. После Второй мировой войны, в 1947 г., площадь кладбищ в США была равна 11 183 га, что при количестве захоронений, близких к 1,5 млн, составляло в среднем 1550 захоронений на 1 га [6]. В 2019 г. только в городах США кладбища занимали 56 000 га, со средним показателем 0,4 га на 1 тыс. населения, то есть уже 2500 захоронений на 1 га. В Германии более 32 000 кладбищ занимают общую площадь 38 700 га, в Нидерландах площадь захоронений — 4540 га, а в Польше в 2020 г. 12 269 кладбищ имели общую площадь захоронений 16 077 га [7–10]. Одновременно увеличивалась доля городского населения в человеческой популяции: в 2020 г. — 56,2%, по прогнозам в 2050 г. — 68,4%, а в 2100 г. — 85% [1, 11]. Таким образом, наблюдается тенденция к увеличению доли городского населения, что создаёт необходимость в организации дополнительных мест захоронения на урбанизированных территориях для обеспечения достойного погребения умерших жителей городов. Сохранение традиционной модели захоронения при растущей урбанизации создаёт повышенное давление на земельные ресурсы для организации новых мест погребения [12]. В некоторых странах произошёл сдвиг от традиционного захоронения тел умерших в могилы к кремации (в настоящее время — 59,3% организованных захоронений) [13]. После 2020 г. в Японии и Гонконге уровень кремации превысил 90%-й порог, а ещё в 7 странах (Швейцария, Южная Корея, Дания, Чешская Республика, Швеция, Сингапур и Таиланд) — 80%-й порог [14].

Практика проектирования современных кладбищ предполагает размещение их участков на территориях 0,5 га (Скандинавия), 10 га (Западная и Центральная Европа), 1–2 га (Южная Европа). Более ранние места захоронений расширяются обычно за счёт прирезки новых участков площадью ≈ 1 га [15].

Отношение к местам погребения является фундаментальной характеристикой человеческой цивилизации, отражающей уровень социокультурного развития общества. Это касается как современных мест захоронения, так и исторических, особенно в районах городской застройки, где старые места захоронения обычно обнаруживаются во время геотехнической разведки или земляных работ. Демографические тренды и анализ землепользования свидетельствуют о том, что процесс внутрипочвенного захоронения и в обозримой перспективе останется фактором антропогенного воздействия на окружающую среду, особенно в условиях растущей урбанизации. Однако экстенсивное расширение территорий кладбищ и их интеграция в городскую инфраструктуру не только создают давление на земельные ресурсы, но и ставят многие санитарно-гигиенические вопросы.

Основная цель настоящего исследования — обзор научных основ обеспечения санитарно-эпидемиологической безо-

пасности внутрипочвенной биологической утилизации захоронений для населённых мест и окружающей природной среды. Для достижения поставленной цели были систематизированы международные и отечественные подходы к классификации и оценке некрозёмов, проанализированы факторы, влияющие на процессы разложения и миграции загрязняющих веществ, и представлены результаты собственных исследований почв на территориях кладбищ Российской Федерации.

Некрозёмы как элемент структуры городской территории

С расширением городов проблема кладбищ в городской планировке резко возросла. Земли захоронений, когда-то расположенные за пределами городов, стали их неотъемлемой частью, напрямую сопровождая пространства с различными формами землепользования и развития. Кладбища бывших пригородных деревень теперь являются неотъемлемой частью городских границ. В городах всегда существовала конкуренция за каждую территорию между субъектами, осуществляющими застройку различных типов [16, 17].

Neckel A. и соавт. (2016) описали эту проблему в отношении небольшого города Марау в Бразилии с центральным кладбищем (3,57 га, 2000 захоронений) и ещё 43 в окружающей сельской местности [18]. В Осло в 2020 г. действовало 20 кладбищ общей площадью 186 га (7% от общей площади города), а в Копенгагене — 5 кладбищ общей площадью 130 га (6% от общей площади города) [19]. В Германии в 2017 г. в Дрездене было 4 кладбища общей площадью 64 га, в Лейпциге — 6 (118 га) и в Хемнице — 1 (40,4 га). В Берлине в 2016 г. существовало 224 кладбища общей площадью 1176 га. Двадцать действующих кладбищ расположены в Парижском регионе, 14 из которых находятся в черте Парижа (*cimetières intra-muros*) и 6 — в прилегающих к Сене департаментах, называемых Малой Коронаой (*La Petite Couronne*), — О-де-Сен, Сена-Сен-Дени, Валь-де-Марн [20]. Кладбища в центральной части Парижа занимают площадь 95,67 га, из них самые большие Пер-Лашез (официальное название — Восточное кладбище) (43,9 га), кладбище Монпарнас (18,7 га), кладбище Монмартр (10,5 га) и кладбище Батиньоль — 10,4 га [21]. Крупнейшими кладбищами Европы по площади являются Ольсдорфское кладбище в Гамбурге (Германия) — 391 га, 1,4 млн захоронений, Винер-Зентралфридхофе в Вене (Австрия) — 250 га, 3,3 млн захоронений, и Центральное кладбище в Щецине (Польша) — 172 га, 300 тыс. захоронений. В мире самыми крупными кладбищами являются Вади аль-Салам в Наджафе (Ирак) — 917 га, 5 млн захоронений, Бехешт-э-Захра в Тегеране (Иран) — 424 га и 1,3 млн захоронений и Калвертонское национальное кладбище (США) — 423 га, 212 тыс. захоронений.

Таким образом, кладбища превратились в значимый элемент городской инфраструктуры, требующий комплексного подхода к планированию и управлению в контексте современного урбанистического развития.

В Российской Федерации насчитывается не менее 100 тыс. кладбищ (это минимальное количество, поскольку множество мелких, непризнанных кладбищ и захоронений не учитываются в официальной статистике), из которых примерно 60 тыс. можно назвать благоустроенными. Самое большое кладбище в России — Северное кладбище в Ростове-на-Дону (площадь 360 га). По самым скромным подсчётам, в России кладбища занимают не менее 3,7 млн га земли (примерно площадь Швейцарии).

Опасность для окружающей среды

Наряду с планированием чрезвычайно важны экологогигиенические аспекты размещения мест захоронения. Тело человека в основном состоит из воды (64–74%), белков (до 20%), жиров (до 10%) и $\approx 1\%$ углеводов [22–24]. В результате

разложения 1 кг тела плотностью около 1,23 кг/дм³ образуется 60% водной массы, 30% солей (хлориды, нитраты, нитриты, аммонийные соли, ортофосфаты), 10% органических веществ [25, 26]. Это означает, что в организме человека массой 70 кг присутствуют 43 кг кислорода, 16 кг углерода, 7 кг водорода, 1,8 кг азота, 1,1 кг кальция, 0,5 кг фосфора, а также 140 г серы, 140 г калия, 100 г натрия, 95 г хлора, 19 г магния, 4,2 г железа, 2–3 г цинка и др. [24, 27, 28].

По мере разложения тела отдельные элементы выделяются в окружающую среду, что демонстрирует последовательное снижение уровня высвобождаемых масс. Важно отметить, что скорость высвобождения массы в окружающую среду значительно зависит от метода захоронения и материалов, применяемых для обработки тела. В результате разложения происходит не только отложение компонентов в почве, но и образование газообразных соединений, таких как сероводород (H₂S), диоксид углерода (CO₂), метан (CH₄), аммиак (NH₃), пиретроидный гидрид (фосфан, PH₃), дифосфан (P₂H₄), диамины (кадаверин — NH₂(NH₂)₅NH₂, путресцин — NH₂(CH₂)₄NH₂), индол, скатол и др. [18, 25, 29]. Минеральные остатки, в основном костные, сохраняются в почве в форме гидроксипатита (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂). Возможны локальное, эпизодическое длительное сохранение в почвах и инфильтрация в грунтовые воды патогенных микроорганизмов, таких как возбудители брюшного тифа, чумы, сибирской язвы, туберкулёза, холеры, оспы и гепатита А [30–35]. Наличие микроорганизмов в почвах кладбищ зависит от обилия органического вещества почвы, влажности, экзогенного источника и его расположения в почвенном профиле, вторичного загрязнения поверхности земли [36].

Для организации кладбищ чаще всего выбирают участки с хорошо аэрируемыми почвами, что призвано способствовать разложению тел в течение периода до 20 лет [37]. При этом процесс разложения происходит со скоростью, которая не позволяет образовываться большому количеству фильтрата за короткий промежуток времени. Во многих странах целью устройства земляной могилы является рытьё ямы средним размером 200 × 80 см, глубиной 100–150 см. В ходе работ вынимается до 2 м³ грунта, могила после захоронения засыпается смешанным почвенным материалом, на её поверхности устанавливается надгробный камень. Поверхность почвы не обрабатывается пестицидами и инсектицидами [3]. Из-за рытья могильных полостей и их засыпки ранее выкопанным материалом происходит глубокое перемешивание почвы. Результатом этого процесса является локальное возникновение признака турбации почв. Он указывает на глубокую (более 100 см) перестройку почвы *in situ*, что приводит к потере природных горизонтов.

Классификация почв включает сведения о почвах естественного происхождения и антропогенно изменённых. Её основой является признание формирования под влиянием действующих почвообразующих факторов почвенного профиля с характерными морфологическими признаками. Антропогенное нарушение почвообразовательных процессов или даже выполнение человеком почвообразующей роли зачастую трудно интерпретировать. Это касается особенно различий материалов, являющихся исходными породами этих почв, по отношению к почвам естественного происхождения. Ситуация осложняется ещё и тем, что строение почвенных профилей отличается от естественного, лишь частично отражая ход почвообразовательных процессов. В большинстве случаев в нём можно обнаружить лишь последовательность отложения различных материалов и иной работы, проделанной на определённом участке. Антропогенные почвы, согласно системе классификации WRB, попадают в референтные группы почв: Anthrosols, Technosols и Regosols [38]. В любом случае при классификации антропогенно созданных почв ни в одной из групп напрямую не указывается на присутствие человеческих останков в почвах на участках кладбищ. Кроме того, указания на механические или химические преобразования почвы имеют обобщённый характер, и можно их интерпретировать по-разному.

Necrosols (почвы кладбищ, некрзолы) — термин, впервые указанный в исследованиях Smolik F. (1957), Svec F., Hlina J. (1978), Graf A. (1986) и Burghardt W. (1994) [39–42]. Почвы кладбищ — это необычные почвы, обогащённые органическими веществами, фосфором, кальцием и некоторыми микроэлементами из-за захоронения трупов, что обойдено в большинстве систем классификации почв. При этом исторические места захоронений в виде могильных ям, окружённых насыпью, или захоронения в курганах, насыпанных на поверхности земли, рассматриваются как насыпные почвы. На исторических лесных кладбищах почвы часто классифицируются в соответствии с локально доминирующими таксонами (например, как бурые, подзолистые, ржавые почвы). Makki и соавт. (2020), Sobocká J. (2003, 2004) предложили Necrosols как новый тип в классификации антропогенных почв в Словакии [43, 44]. Они указали на специфику последовательности почвенных горизонтов и свойств почвы в результате использования кладбища. Также Stroganova M. и соавт. (1998), Gerasimova M.I. и соавт. (2003) и Prokofyeva T. и соавт. (2011) предложили чёткое объяснение для причисления единицы Nekrozems в российской системе классификации почв [19, 45, 46], указав на их особую турбацию на глубину 2 м.

Гораздо меньшая устойчивость профиля почв кладбищ характерна для водно-болотных угодий с плотным глинистым материалом и лесных кладбищ, таких как описанные с XIX века захоронения в Кодавере, Йегевамаа (Эстония), Рудовка Мала и Вейдыки около г. Рына (Польша) [47, 48]. Об их прежней функциональности в дополнение к остаткам надземных структур и перетасовке генетических уровней (частично стёртых более молодыми почвообразовательными процессами) свидетельствует наличие артефактов в горизонтах захоронений и их ныне незначительное обогащение фосфором [48].

Производные признаки захоронений в могилах в значительной степени замаскированы другими процессами. К ним относятся имеющие экологическое значение: разложение органического вещества, сорбция и десорбция элементов, поток воды через почвенный профиль или поглощение элементов организмами. В большинстве случаев единственной характеристикой, которая без сомнения описывала бы почвенные профили как некрзолы, было наличие в них человеческих останков. В результате возникают проблемы с правильной классификацией этих почв. Это особенно важно, поскольку работ, описывающих кладбищенские почвы, до сих пор мало. В результате возникают сомнения в воспроизводимости характеристик, что может привести к изменениям в системе классификации почв.

Логичным преодолением этой и других проблем стало бы создание новой крупной группы в классификации почв — некросолей. Главным аргументом против такого предложения является малая изученность описываемых почв. В результате сложно указать генетические принципы выделения такой группы и установить, какие почвообразующие эффекты индуцируются процедурой захоронения в почвах с разными исходными характеристиками. В описании некросолей только один элемент можно оценить как очевидный — наличие останков как эффекта плановых и регламентированных погребальных мероприятий, современных и исторических, в почвенных горизонтах разной глубины [46].

Загрязнение токсичными органическими соединениями и тяжёлыми металлами

Кладбища и объекты похоронной индустрии представляют собой значительные антропогенные источники загрязнений токсичными органическими компонентами и тяжёлыми металлами. Эти объекты оказывают комплексное негативное воздействие на объекты окружающей среды и здоровье человека. Процессы захоронения, кремации, а также предшествующие им процедуры (бальзамирование, танатопраксия, вскрытие) сопровождаются поступлением

в почву, грунтовые воды и атмосферу широкого спектра загрязняющих веществ. К ним относятся фармацевтические препараты (антибиотики, анальгетики, психотропные средства), средства для бальзамирования (формальдегид, фенол, глутаральдегид), синтетические пестициды, стойкие органические загрязнители (диоксины, фураны), продукты личной гигиены (триклозан, оксibenзон) и запрещённые вещества. Многочисленные исследования подтверждают, что тяжёлые металлы (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn) относятся к числу наиболее часто детектируемых загрязнителей в гидрогеологической среде на территориях кладбищ. Попадая в организм человека, данные элементы проявляют специфические патогенетические механизмы токсического действия. Кадмий (Cd) обладает выраженной остеотропностью, приводя к нарушениям минерализации костной ткани и развитию остеопороза. Свинец (Pb) является мощным нейротоксином, вызывающим нарушения в работе центральной нервной системы. Медь (Cu) в избыточных концентрациях провоцирует неврологические дисфункции. Никель (Ni) и шестивалентный хром (Cr VI) влияют на развитие злокачественных новообразований, в том числе рака лёгких. Цинк (Zn) и железо (Fe) при хроническом избыточном поступлении оказывают гепатотоксическое действие, способствуя развитию цирроза и других патологий печени [49–55].

Процесс захоронения сопровождается образованием фильтрата трупного разложения — специфической многокомпонентной жидкости, содержащей продукты деструкции биологических тканей, остатки фармацевтических препаратов и химические реагенты, использованные при бальзамировании [56]. Современные исследования идентифицировали в почвенных пробах с территорий кладбищ десятки фармацевтических соединений, в том числе антибиотики (ципрофлоксацин), психотропные препараты (карбамазепин, флуоксетин), нестероидные противовоспалительные средства (ибупрофен, кетопрофен). Особую опасность представляют химически стабильные соединения типа карбамазепина, которые сохраняются в окружающей среде годами и практически не подвергаются биодеградации [57–59].

Миграция загрязняющих веществ происходит по нескольким направлениям: вертикальная инфильтрация — через почвенные горизонты с последующей контаминацией грунтовых вод; латеральная миграция — с грунтовыми потоками и атмосферными выбросами при кремации с термической трансформацией органических материалов, приводящей к образованию стойких органических загрязнителей (диоксинов, фуранов).

Кремация как альтернатива традиционному захоронению также создаёт значительные экологические риски. При сжигании гробов, отделанных пластиком, тканей с синтетическими волокнами и самих останков образуются различные газообразные выбросы, содержащие диоксины, фураны, ртуть (из зубных амальгам), свинец и другие токсичные металлы. Исследования демонстрируют повышенные концентрации этих соединений в воздухе вблизи крематориев и их последующую аккумуляцию в почве и растительности на прилегающих территориях [47, 60]. Профессиональные группы риска (работники крематориев, моргов, похоронных бюро) подвергаются комбинированному воздействию через ингаляционный, перкутанный и оральный пути поступления токсикантов. Наиболее уязвимы сотрудники, занятые непосредственно бальзамированием и кремацией, у них отмечается повышенная частота респираторных болезней, контактных дерматитов, неврологических расстройств и некоторых форм онкопатологии.

На этапе подготовки тел к погребению используется значительное количество химических реагентов. Бальзамирование взрослого человека в среднем требует применения до 13 л специальных растворов, содержащих формальдегид (10–15%), метанол, этанол, фенол, пропиленгликоль и глутаральдегид. Эти соединения обладают выраженными токсическими свойствами: формальдегид классифицируется как канцероген группы 1 по МАИР, фенол нейротоксичен и гепатотоксичен. При этом системы очистки сточных вод

в моргах часто не адаптированы для удаления таких специфических загрязнителей [61].

Население прилегающих территорий может испытывать хроническое воздействие через потребление загрязнённой питьевой воды из подземных источников, употребление сельскохозяйственной продукции, выращенной на загрязнённых почвах, и ингаляцию атмосферного воздуха, содержащего вредные летучие органические соединения и аэрозольные частицы.

Ранее нами были проведены санитарно-химические исследования почв кладбищ на территориях со сходными природно-климатическими и почвенными условиями (Московская и Тульская области) [62]. В настоящей работе представлены результаты обследования территорий кладбищ Российской Федерации, расположенных в регионах с иными типами почв, климатом и уровнем промышленного загрязнения: на территориях Московской, Курской, Мурманской областей, Красноярского края и Республики Алтай. Для этой цели отбирали образцы почв с захоронений различной глубины — 30 см; 1,5 м (уровень захоронения); 2 м (уровень под захоронением). Результаты анализа содержания тяжёлых металлов в исследуемых почвах представлены в таблице.

Данные, представленные в таблице, показывают неравномерность содержания тяжёлых металлов в почвах, отобранных на территории захоронений в шести городах России. Концентрации металлов сильно варьируются в зависимости от местоположения кладбища, что указывает на влияние локальных антропогенных и геохимических факторов. Наибольшее очаговое загрязнение почв кладбищ мышьяком отмечено в г. Полярные Зори Мурманской области, цинком и свинцом — в Красноармейске Московской области и Яровом Алтайского края. Следует отметить, что для почв кладбищ, расположенных в Полярных Зорах, характерен наиболее широкий спектр загрязнений: мышьяк, хром, медь, никель и ванадий. Возможная причина кроется в особенностях горных пород Кольского полуострова и специфике промышленного воздействия. Наименее загрязнёнными были почвы кладбищ, расположенных в Курчатове Курской области и Пересвете Московской области.

Влияние почвенных условий и глубины захоронения на процессы разложения и миграцию загрязнений в почвах кладбищ

Ключевыми факторами, определяющими скорость и характер посмертной деструкции органического материала, а также сопутствующей миграции загрязняющих веществ, являются тип почвы, глубина захоронения и климатические условия [63]. Наибольшая скорость разложения наблюдается в хорошо структурированных почвах с нейтральной реакцией среды (чернозёмы, суглинки), где оптимальное соотношение почвенного микробиома, влаги и кислорода создаёт условия для интенсивной аэробной минерализации. Это подтверждается максимальной потерей массы останков, активным выделением CO₂ и высокой активностью почвенных ферментов (β-глюкозидаза, уреазы). Однако именно в таких условиях создаётся повышенный риск вертикальной миграции в глубь почвенного профиля растворённых загрязняющих веществ. В противоположность этому песчаные и супесчаные почвы, несмотря на хорошую аэрацию, характеризуются замедленным разложением из-за низкой влагоёмкости, что приводит к высыханию и мумификации тканей. Одновременно такие почвы представляют наибольшую опасность из-за миграции загрязнений — высокая фильтрационная способность способствует быстрому проникновению патогенов и химических соединений в грунтовые воды.

Наиболее выраженный консервирующий эффект, сопряжённый с длительным сохранением органического материала и потенциальных патогенов, наблюдается в плотных глинистых и кислых торфяных почвах, где формируются

Содержание тяжёлых металлов в исследуемых почвах, мг/кг

Content of heavy metals in the studied soils, mg/kg

Показатель Indicators	Территории (населённые пункты) / Territories						Максимальная степень различий, раз Degree of maximum differences, number of times
	Пересвет (Московская область) Peresvet (Moscow region)	Красноармейск (Московская область) Krasnoarmeysk (Moscow region)	Полярные Зори (Мурманская область) Polyarnye Zori (Murmansk Oblast)	Яровое (Алтайский край) Yarovoe (Altai Krai)	Железнодорожск (Красноярский край) Zheleznogorsk (Krasnoyarsk Krai)	Курчатов (Курская область) Kurchatov (Kursk region)	
Мышьяк (As) Arsenic (As)	2.1 ± 1.1	1.8 ± 0.9	5.5 ± 2.8	4.2 ± 2.1	1.66 ± 0.83	0.84 ± 0.42	6.5
Кадмий (Cd ²⁺) Cadmium (Cd ²⁺)	0.15 ± 0.08	0.25 ± 0.13	0.18 ± 0.02	0.65 ± 0.13	0.10 ± 0.05	0.07 ± 0.03	9.2
Хром (Cr) Chromium (Cr)	15.0 ± 3.0	16.5 ± 3.3	35.0 ± 7.0	17.2 ± 3.4	19.4 ± 3.9	4.27 ± 0.85	8.2
Медь (Cu) Copper (Cu)	11.0 ± 2.2	10.5 ± 2.1	18.0 ± 3.6	12.6 ± 2.5	12.2 ± 2.4	4.32 ± 0.86	4.2
Ртуть (Hg) Mercury (Hg)	0.028 ± 0.014	0.031 ± 0.016	0.045 ± 0.022	0.03 ± 0.015	0.064 ± 0.013	0.041 ± 0.008	2.3
Никель (Ni) Nickel (Ni)	14.0 ± 4.9	15.5 ± 5.4	25.0 ± 8.8	12.6 ± 4.4	17.96 ± 6.29	7.25 ± 2.54	3.4
Свинец (Pb ²⁺) Lead (Pb ²⁺)	5.0 ± 1.3	14.8 ± 3.7	19 ± 2.4	14.8 ± 3.7	5.7 ± 1.4	4.33 ± 1.08	44
Ванадий (V) Vanadium (V)	18.0 ± 4.5	17.0 ± 4.3	28.0 ± 7.0	19.5 ± 4.9	17.7 ± 4.4	9.53 ± 2.38	2.9
Цинк (Zn ²⁺) Zinc (Zn ²⁺)	18.0 ± 3.6	52.6 ± 10.5	24 ± 6.7	52.6 ± 10.5	28.4 ± 5.7	15.1 ± 3.0	3.5

анаэробные условия и происходят образование адипоцира или дубление тканей. Такая почвенная структура ограничивает вертикальную миграцию загрязнений, что приводит к длительной аккумуляции загрязняющих веществ в зоне захоронения и создаёт риск латерального распространения при насыщении горизонта захоронения влагой [64–67].

Глубина захоронения является регулируемым параметром. Так, в европейских странах одиночные могилы выкапываются на глубину до 1,8 м, а двойные — на глубину 1,8–2,1 (2,2) м. В России в соответствии со стандартами глубина могилы должна составлять не менее 1,5 м до крышки гроба и не более 2,2 м, при этом от дна могилы до уровня грунтовых вод должно оставаться не менее 0,5 м. Поверхностное и неглубокое захоронение (до 1,5 м) обеспечивает достаточный газообмен, поддерживая аэробные процессы почвенной утилизации захоронений и высокую активность некробионтов, что способствует более быстрому и полному завершению процессов минерализации. Однако это создаёт повышенный риск контаминации поверхностных слоёв почвы и краткосрочного их бактериального загрязнения [68]. С увеличением глубины захоронения доступ кислорода ограничивается, процессы смещаются в анаэробную фазу, а температурные колебания сглаживаются, что существенно замедляет разложение [69].

Почвенно-климатические особенности танатогенеза (thanatogenesis, греч. θάνατος — «смерть» + γένεσις — «за-рождение, происхождение») — динамика клинических, биохимических и морфологических изменений в процессе умирания, также существенны и проявляются в региональной специфике протекания процессов. В условиях арктического и субарктического климата доминирующим фактором, определяющим скорость разложения трупов, является перманентная консервация в вечной мерзлоте, что подтверждается исследованиями в соответствующих условиях (при температурах до минус 39 °С), где стабильные отрицательные температуры практически полностью останавливают разложение и обеспечивают сохранность мягких тканей на протяжении длительного времени, поскольку критическим порогом для прекращения метаболической активности мезофильной гетеротрофной микрофлоры, ответствен-

ной за основное гниение, является температура плюс 4 °С и ниже, приводящая к резкому замедлению биохимических процессов. Последующая дегидратация способствует формированию мумифицированных останков с сохранением элементов мягких тканей [70]. В аридных регионах (пустынный климат) интенсификация начальных стадий разложения сменяется процессами естественной мумификации вследствие быстрой дегидратации тканей [71, 72]. В условиях же экваториального климата (на примере Саравака, Малайзия; Коломбо, Шри-Ланка) сочетанное воздействие стабильно высоких температур (выше плюс 30 °С), повышенной влажности (более 80%) и активность насекомых потенцируют максимальную скорость разложения, достигающую финальных стадий деструкции в течение 1–2,5 нед [73, 74]. В умеренных широтах динамика разложения демонстрирует выраженную сезонную вариабельность. Наибольшая замедленность инициальных стадий отмечается в весенний период, тогда как летний и осенний сезоны проявляют значительное сходство кинетических параметров, где ключевым фактором, определяющим скорость процесса, выступают сезонные колебания влажности, а не абсолютные температурные показатели [75].

Заключение

В общественном восприятии кладбища являются священными местами памяти об умерших. Рост народонаселения и урбанизация приводят к обострению проблем захоронения человеческих останков. Поскольку распространённой в мире практикой является захоронение человеческих тел или пепла в землю, значительно возрастает и площадь кладбищенских территорий, которые не только оказываются в пределах городских агломераций, но и порой занимают 5–7% их территорий. Вместе с тем захоронение тел связано не только с местными изменениями почвенного покрова, но и с различными видами биологического загрязнения почвы, грунтовых вод и атмосферного воздуха, а также с непосредственным влиянием на работников кладбищ.

Исследование различных почвенных профилей свидетельствует о необходимости учитывать не только тип почв

кладбищенских территорий, но и природно-климатические факторы, разносторонне изучать степень и характер их биологического и химического загрязнения. Результаты собственных экспериментальных определений тяжёлых металлов (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn) на кладбищенских территориях шести городов в различных регионах показали колебания их выявленного содержания от 2,3 до 9,2 раза.

Таким образом, загрязнение, генерируемое похоронной индустрией, — это комплексная гигиеническая проблема. Существующие риски усугубляются недостаточным

вниманием регулирующих органов, слабой изученностью полной номенклатуры загрязнителей и их комплексного действия, а также отсутствием адекватных систем управления отходами в ряде регионов. Разработка и внедрение специализированных гигиенических нормативов, регламентов контроля и экологически безопасных технологий для данного сектора являются актуальными эколого-гигиеническими задачами для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и охраны окружающей среды.

Литература

(п.п. 1–46, 48–61, 63, 64, 66–74 см. References)

47. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию. *Почвоведение*. 2011; (5): 561–71. <https://elibrary.ru/ntophl>
62. Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С. Риск развития у работников кладбищ болезней, связанных с загрязнением почвы. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1155–9. <https://doi.org/10.4770/0016-9900-2024-103-10-1155-1159> <https://elibrary.ru/ogufni>
65. Власов А.Ю. Трупные явления («Жизнь трупа»): часть II. *Известия высших учебных заведений. Уральский регион*. 2018; (3): 128–49. <https://elibrary.ru/yujdch>
75. Халиков А.А., Кильдюшов Е.М., Кузнецов К.О., Рахматуллина Г.Р. Определение давности наступления смерти с помощью посмертного микробиома: современный взгляд и подходы к решению проблемы. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2022; 65(3): 49–53. <https://doi.org/10.17116/sudmed20226503149> <https://elibrary.ru/tqgzhp>

References

1. World Population Prospects 2022. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. UN DESA/POP/2022/DC/NO. 9. New York; 2022.
2. Kaneda T., Greenbaum C., Haub C. World Population Data Sheet. Washington, DC: Population Reference Bureau; 2022. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, World Population Prospects: The 2022 Revision. New York: United Nations; 2022.
3. Uslu A., Baris E., Erdogan E. Ecological concerns over cemeteries. *Afr. J. Agric. Res.* 2009; 4(13): 1505–11.
4. Zelinsky W. Gathering places for America's dead: How many, where, and why? *Prof. Geogr.* 1994; 46(1): 29–38.
5. Stevens J. Graveyards of the Contiguous USA. Joshua Stevens; 2018. Available at: <https://www.joshuastevens.net/blog/graveyards-of-the-contiguous-usa/>
6. Cemeteries in the city plan. Information Report No. 16. July 1950. PAS Report 16; 1950. Available at: <https://www.planning.org/pas/reports/report16.htm>
7. Friedhöfe im Wandel der Zeit. Deutscher Städte- und Gemeindebund Dokumentation No. 164; 2021. Available at: <https://dstgb.de/publikationen/dokumentationen/nr-164-zukunft-kommunaler-friedhofe/nr.-164-zukunft-kommunaler-friedhofe.pdf?cid=13s>
8. Flächennutzung. Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. Statistisches Bundesamt (Destatis); 2023. Available at: <https://destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-ingesamt.html>
9. Land use; all categories, municipalities. Statistics Netherlands; 2017. Available at: <https://cbs.nl/en-gb/figures/detail/70262ENG>
10. Service of the Republic of Poland. Digitization of cemeteries. Results of a survey conducted in municipalities XI-XII 2020; 2023. Available at: <https://gov.pl/web/cyfrizacjamiejscipamieci/sytuacja-polskich-cmentarzy--wyniki-ankiety>
11. Developments and Forecasts on Continuing Urbanisation. Urbanisation worldwide. European Commission; 2020. Available at: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/continuing-urbanisation/developments-and-forecasts-on-continuing-urbanisation_en
12. Scalenghe R., Pantani O.L. Connecting existing cemeteries saving good soils (for livings). *Sustainability*. 2019; 12(1): 93.
13. National Funeral Directors Association. Statistics. NFDA; 2022. Available at: <https://nfda.org/news/statistics>
14. NFDA Cremation & Burial Report. National Funeral Directors Association. Brookfield, WI; 2022.
15. Długożima A., Rej M. Contemporary trends in European cemeteries design. *Space Form*. 2014; 21: 403–16.
16. Lauwers M. The birth of the cemetery: sacred places and land of the dead in the medieval West. Volume 1. Campinas: EdUnicamp; 2015.
17. Zhang M., Ma L., Li W., Chen B., Jia J. Genetic characteristics and taxonomic classification of Fimic Anthrosols in China. *Geoderma*. 2003; 115(1–2): 31–44.
18. Neckel A., Costa C., Mario D.N., Sabadin C.E.S., Bodah E.T. Environmental damage and public health threat caused by cemeteries: A proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. *Urbe. Rev. Bras. Gest. Urbana*. 2022; 14: e20210135.
19. Grabalov P., Nordh H. The future of urban cemeteries as public spaces: Insights from Oslo and Copenhagen. *Plan. Theory Pract.* 2022; 23(1): 81–98.
20. Van den Breemer R. Governing cemeteries: state responses to the new diversity in the Netherlands, Norway and France. *Ser. Diss. Fac. Theol. Univ. Oslo Acta Theol.* 2019; 75: 329.
21. Explore the fourteen Cemeteries of Paris. French Moments; 2023. Available at: <https://frenchmoments.eu/cemeteries-of-paris/>
22. Van Haaren F.W.J. Churchyards as sources for water pollution. *Moorman's Periodieke Pers.* 1951; 35(16): 167–72.
23. Forbes G.B. *Human Body Composition; Growth, Aging, Nutrition, and Activity*. New York: Springer-Verlag; 1987.
24. Mann J., Truswell A.S. *Essentials of Human Nutrition*. New York: Oxford University Press; 2002.
25. Lins E.A.M., Lins A.S.B.M. Evaluation of environmental impacts generated by cemetery in pandemic period: Case study. *Int. J. Adv. Sci. Res.* 2020; 5(3): 16–20.
26. Cao S., Zhao X., Wang L., Wang B., Chen Y., Duan X. *Body Weight, Highlights of the Chinese Exposure Factors Handbook (Adults)*. Academic Press; 2015: 53–4.
27. Fogli G. Techniques of decomposition of Bodies Adopted in Cemeteries and Their Relations with the Environment; 2004.
28. Helmenstine A.M. Elemental Composition of the Human Body by Mass; 2019.
29. Lins E., Lins M., Lins C. Negative environmental impacts generated by cemetery: Case study. *Int. J. Adv. Sci. Res.* 2019; 4: 16–9.
30. Cauduro F., Müller C.R., da Silva Ricardo G. Problem of Brazilian cemeteries and environment-review of studies. *Holos Environment*. 2019; 19(4): 515–27. <https://doi.org/10.14295/holos.v19i4.12341>
31. Barbieri R., Texier G., Keller C., Drancourt M. Soil salinity and aridity specify plague foci in the United States of America. *Sci. Rep.* 2020; 10(1): 6186. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63211-4>
32. Spyrou M.A., Musralina L., Gnechhi Ruscone G.A., Kocher A., Borbone P.G., Khartanovich V.I., et al. The source of the Black Death in fourteenth-century central Eurasia. *Nature*. 2022; 606(7915): 718–24. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04800-3>
33. Dippenaar M.A., Olivier J. Section A. Introduction. In: Dippenaar M.A., Olivier J., Lorentz S., Ubomba-Jaswa E., Abia A.L.K., Diamond R.E., eds. *Environmental Risk Assessment, Monitoring and Management of Cemeteries. Report to the Water Research Commission*. WRC Report No. 2449/1/18; 2018: 1–8.
34. Dippenaar M.A., Brouwers B. Section D. Engineering and geotechnics. In: Dippenaar M.A., Olivier J., Lorentz S., Ubomba-Jaswa E., Abia A.L.K., Diamond R.E., eds. *Environmental Risk Assessment, Monitoring and Management of Cemeteries. Report to the Water Research Commission*. WRC Report No. 2449/1/18; 2018: 29–34.
35. Ford T.E. Microbiological safety of drinking water: United States and global perspectives. *Environ. Health Perspect.* 1999; 107(Suppl. 1): 191–206. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107s1191>
36. Całkosiński I., Płoneczka-Janecko K., Ostapska M., Dudek K., Gamian A., Rypuła K. Microbiological analysis of necrosols collected from urban cemeteries in Poland. *Biomed. Res. Int.* 2015; 2015: 169573. <https://doi.org/10.1155/2015/169573>
37. Charzyński P., Bednarek R., Świtoniak M., Żołnowska B. Ekranic technosols and urbic technosols of Toruń necropolis. *Geogigia*. 2011; 53(4): 179–85.
38. IUSS WG WRB. World Reference Base for Soil Resources. In: *International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps*. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS); 2022.
39. Smolik F. *Pedology*. Praha: Statní nakladatelství technické literatury; 1957.
40. Svec F., Hlína J. *Hygiene of Urban Communities*. Praha: SNTL; 1978.
41. Graf A. Flora and vegetation der Friedhöfe in Berlin (West). *Verh. Berl. Bot. Ver.* 1986; 5: 1–210.
42. Burghardt W. Soils in urban and industrial environments. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 1994; 157(3): 205–14.
43. Sobocka J. Urban soils vs. anthropogenic soils, their characteristics and functions. *Phytopedon*. 2003; 2: 76–80.

Review article

44. Sobocká J. Necrosol as a new anthropogenic soil type. *Soil Anthropization VII*. Bratislava; 2004: 107–12.
45. Stroganova M., Myagkova A., Prokofieva T., Skvortsova I. *Soils of Moscow and Urban Environment*. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 1998. <https://elibrary.ru/tnalxn>
46. Gerasimova M.I., Stroganova M., Mozharova N., Prokofieva T. *Anthropogenic soils*. Smolensk: Oecumene; 2003.
47. Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Sci.* 2011; 44(5): 561–71. <https://doi.org/10.1134/S1064229311050127> <https://elibrary.ru/ohqlcj>
48. Valk H., Malve M., Juus T., Liblik M.A., Jonuks T. Kodavere medieval cemetery – a parish churchyard? *Arheol. Väitööd Eestis*. 2018: 119–38.
49. Morillas H., Marcaida I., Maguregui M., Upasen S., Gallego-Cardena E., Madariaga J.M. Identification of metals and metalloids as hazardous elements in PM_{2.5} and PM₁₀ collected in a coastal environment affected by diffuse contamination. *J. Clean. Prod.* 2019; 226: 369–78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.063>
50. Kortei N.K., Heymann M.E., Essuman E.K., Kpodo F.M., Akonor P.T., Lokpo S.Y., et al. Health risk assessment and levels of toxic metals in fishes (*Oreochromis niloticus* and *Clarias anguillaris*) from Ankobra and Pra basins: Impact of illegal mining activities on food safety. *Toxicol. Rep.* 2020; 7: 360–9. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.02.011>
51. Fu S.C., Liu J.M., Lee K.I., Tang F.C., Fang K.M., Yang C.Y., et al. Cr(VI) induces ROS-mediated mitochondrial-dependent apoptosis in neuronal cells via the activation of Akt/ERK/AMPK signaling pathway. *Toxicol. In Vitro*. 2020; 65: 104795. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2020.104795>
52. Li J., Song Y., Vogt R.D., Liu Y., Luo J., Li T. Bioavailability and cytotoxicity of Cerium-(IV), Copper-(II), and Zinc oxide nanoparticles to human intestinal and liver cells through food. *Sci. Total Environ.* 2020; 702: 134700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134700>
53. Ucisik A.S., Rushbrook P. *The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing*. Copenhagen; 1998.
54. Fiedler S., Dame T., Graw M. Do cemeteries emit drugs? A case study from southern Germany. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018; 25: 5393–400.
55. Fatta-Kassinos D., Hapeshi E., Achilleos A., Meric S., Gros M., Petrovic M., et al. Existence of pharmaceutical compounds in Tertiary treated urban wastewater that is utilized for reuse applications. *Water Resour. Manag.* 2011; 25: 1183–93.
56. Kleywegt S., Payne M., Raby M., Filippi D., Ng C.F., Fletcher T. The final discharge: Quantifying contaminants in embalming process effluents discharged to sewers in Ontario, Canada. *Environ. Pollut.* 2019; 252(Pt. B): 1476–82. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.036>
57. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 2020; 6(9): e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
58. Mordhorst A., Zimmermann I., Fleige H., Horn R. Environmental risk of (heavy) metal release from urns into cemetery soils. *Sci. Total Environ.* 2022; 817: 152952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152952>
59. Chiappelli J., Chiappelli T. Drinking grandma: the problem of embalming. *J. Environ. Health*. 2008; 71(5): 24–8.
60. Valk H., Malve M., Juus T., Liblik M.A., Jonuks T. Kodavere medieval cemetery – a parish churchyard? *Arheoloogilised Väitööd Eestis*. 2018; 119–38.
61. Majgier L., Rahmonov O. Necrosols of cemeteries in Masurian Lakeland. In: Charzyński P., Hulisz P., Bednarek R., eds. *Technogenic Soils of Poland*. Toruń: Polish Society of Soil Science; 2013: 95–109.
62. Ushakova O.V., Rakhmanin Yu.A., Evseeva I.S. Risk factors for the occurring diseases associated with soil contamination among cemetery workers. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(10): 1155–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1155-1159> <https://elibrary.ru/ogufni> (in Russian)
63. Wescott D.J. Recent advances in forensic anthropology: decomposition research. *Forensic Sci. Res.* 2018; 3(4): 327–42. <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1488571>
64. Taylor L.S., Gonzalez A., Essington M.E., Lenaghan S.C., Stewart C.N., Mundorff A.Z., et al. Soil elemental changes during human decomposition. *PLoS One*. 2023; 18(6): e0287094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287094>
65. Vlasov A.Yu. Cadaveric phenomena (“life of a corpse”): part II. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ural'skii region*. 2018; (3): 128–49. <https://elibrary.ru/yujdch> (in Russian)
66. Tumer A.R., Karacaoglu E., Namli A., Keten A., Farasat S., Akcan R., et al. Effects of different types of soil on decomposition: an experimental study. *Leg. Med. (Tokyo)*. 2013; 15(3): 149–56. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2012.11.003>
67. Franco D.S., Georgin J., Villarreal Campo L.A., Mayoral M.A., Goenaga J.O., Fruto C.M., et al. The environmental pollution caused by cemeteries and cremations: A review. *Chemosphere*. 2022; 307(Pt. 4): 136025. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136025>
68. Pawlett M., Rickson R.J., Niziolowski J., Churchill S., Kešner M. Human cadaver burial depth affects soil microbial and nutrient status. *Archaeol. Environ. Forensic Sci.* 2019; 1(2): 119–25. <https://doi.org/10.1558/aefs.33662>
69. Lutz A. *Back in the cycle: A review of the taphonomy of biomineralised tissues*. Diss. Perth; 2022. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11104.70408>
70. Iancu L., Bonicelli A., Procopio N. Decomposition in an extreme cold environment and associated microbiome-prediction model implications for the postmortem interval estimation. *Front. Microbiol.* 2024; 15: 1392716. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1392716>
71. Dautartas A., Kenyhercz M.W., Vidoli G.M., Meadows Jantz L., Mundorff A., Steadman D.W. Differential decomposition among pig, rabbit, and human remains. *J. Forensic Sci.* 2018; 63(6): 1673–83. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13784>
72. Connor M., Baigent C., Hansen E.S. Testing the use of pigs as human proxies in decomposition studies. *J. Forensic Sci.* 2018; 63(5): 1350–5. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13727>
73. Ing T.K., Ismail N.A., Soon L.P. Taphonomic study of adult *Sus scrofa domestica* in equatorial climate in Sarawak, Malaysia. *Austin J. Forensic Sci. Criminol.* 2017; 4(1): 1058.
74. Gunawardena S.A., Abeyratne P., Jayasena A., Rajapaksha S., Senadhipathi H., Siriwardana D., et al. Retrospective analysis of factors affecting rate of skeletonization within a tropical climate. *Sci. Justice*. 2023; 63(5): 638–50.
75. Khalikov A.A., Kildyushov E.M., Kuznetsov K.O., Rahmatullina G.R. Estimation of time since death with the postmortem microbiome: a modern view and approaches to solving the problem. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2022; 65(3): 49–53. <https://doi.org/10.17116/sudmed20226503149> <https://elibrary.ru/tqgzhp> (in Russian)

Сведения об авторах

Ушакова Ольга Владимировна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Oushakova@cspfmba.ru
 Ракхманин Юрий Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, гл. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: YuRakhmanin@cspfmz.ru

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

Ибрагимова Саида Шахрамазановна, специалист отд. гигиены ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Sibragimova@cspfmba.ru

Information about the authors

Olga V. Ushakova, PhD (Medicine), leading researcher, Hygiene department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> E-mail: Oushakova@cspfmba.ru

Yuri A. Rakhmanin, DSc (Medicine), chief researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014> E-mail: YuRakhmanin@cspfmz.ru

Irina S. Evseeva, (PhD (Medicine), senior researcher, Hygiene department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5765-0192> E-mail: Ievseeva@cspfmba.ru

Saida Sh. Ibragimova, specialist, Hygiene department, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-2155-9754> E-mail: Sibragimova@cspfmba.ru