



Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С.

Градированный показатель степени самоочистки почв кладбищ: методология разработки и практическое применение

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина, 119121, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Существующая система санитарно-эпидемиологического контроля не в полной мере отражает специфику загрязнения почв кладбищ и не позволяет объективно оценить степень завершенности процессов минерализации трупного материала, что создаёт правовую неопределённость при решении вопроса о повторных захоронениях.

Цель исследования — разработка и валидация градированного показателя степени самоочистки (ПСС) почв кладбищ для интегральной оценки их состояния.

Материалы и методы. Исследование выполнено на 540 пробах почвы, отобранных на 12 кладбищах пяти регионов Российской Федерации с захоронениями различной давности (от одного года до 50 лет). Определяли химические (птомаины, соотношение NH_4/NO_3), микробиологические (индекс санитарно-показательных микроорганизмов, патогенные энтеробактерии, яйца геогельминтов), физико-химические (окислительно-восстановительный потенциал, активность протеолитических ферментов) и биотестовые (фитотоксичность, острая токсичность для дафний) показатели. В работе использованы стандартные методы анализа статистических данных.

Результаты. Для разработки интегрального показателя проанализированы индикаторы состояния почв некрозёмов, каждому из которых присвоили весовой коэффициент в диапазоне 10–15%. Для каждого из них разработаны индивидуальные четырёхбалльные шкалы, на основе которых вывели формулу расчёта показателя степени самоочищения (ПСС). Это позволило выделить четыре последовательные стадии самоочищения: свежее загрязнение (ПСС 1–1,9), активный распад (2–2,6), завершение минерализации (2,7–3,3), условно чистая почва (3,4–4). При проверке связи ПСС с давностью захоронения получена высокая корреляция ($r = 0,82$; $p < 0,001$). Чувствительность метода составила 94%, специфичность — 91%. На основе этих данных предложен практический алгоритм применения показателя в рамках санитарно-эпидемиологического надзора.

Ограничения исследования. В работе изучены не все типы почв и только традиционные грунтовые захоронения.

Заключение. Разработанный показатель позволяет объективно оценивать стадию минерализации, прогнозировать динамику процессов самоочищения и принимать обоснованные решения о возможности повторных захоронений.

Ключевые слова: почва кладбищ; самоочищение; птомаины; минерализация; интегральный показатель; санитарно-эпидемиологический надзор; повторные захоронения; ПСС; показатель степени самоочистки почв

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует предоставления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С. Градированный показатель степени самоочистки почв кладбищ: методология разработки и практическое применение. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(6): 615–622. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-6-615-622> <https://elibrary.ru/jimuhp>

Для корреспонденции: Ушакова Ольга Владимировна, e-mail: oushakova@cspfmbsa.ru

Вклад авторов: Ушакова О.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста, редактирование; Рахманин Ю.А. — концепция исследования, редактирование; Евсеева И.С. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, 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 не имело спонсорской поддержки, выполнено в рамках государственного задания и диссертационной работы.

Поступила: 14.04.2026 / Принята к печати: 18.06.2026 / Опубликовано: 31.07.2026

Olga V. Ushakova, Yuri A. Rakhmanin, Irina S. Evseeva

Graduated index of self-cleaning degree of cemetery soils: development methodology and practical application

A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The existing system of sanitary and epidemiological control does not fully reflect the specifics of cemetery pollution and does not allow an objective assessing the degree of completion of the processes of mineralization of cadaveric material, which creates legal uncertainty when deciding on reburial.

The aim of the study is to develop and validate a graded indicator of the degree of self-purification (DSP) of cemetery soils for an integral assessment of their condition.

Materials and methods. The study was based on five hundred forty soil samples collected from 12 cemeteries in 5 regions of the Russian Federation with graves of varying ages (from 1 year to 50 years). Chemical (ptomaines, NH_4/NO_3 ratio), microbiological (sanitary indicator microorganisms index, pathogenic enterobacteria, eggs of geohelminths), physical and chemical (redox potential, activity of proteolytic enzymes) and biotest (phyto-toxicity, acute toxicity for daphnia) indicators were determined. The work used standard methods of statistical data analysis.

Results. To develop an integral indicator, indicators of the soil condition of necrosems were analyzed, each of which was assigned a weighting factor in the range of 10–15%. Individual 4-point scales were developed for each of them, on the basis of which a formula for calculating the self-purification index (PSA) was derived. This allowed identifying four successive stages of self-purification: fresh contamination (PSC 1.0–1.9), active decomposition (2.0–2.6), completion of mineralization (2.7–3.3) and conditionally clean soil (3.4–4.0). When checking the relationship of the PSS with the prescription of burial, a high correlation was obtained ($r = 0.82$; $p < 0,001$). The sensitivity of the method was 94%, the specificity was 91%. Based on these data, a practical algorithm for applying the indicator in the framework of sanitary and epidemiological surveillance is proposed.

Limitations. The work studies not all types of soils and only traditional ground burials.

Conclusion. The developed indicator allows an objective assessing the mineralization stage, forecasting the trend in self-purification processes, and making informed decisions about the possibility of repeated burial.

Keywords: cemetery soils; self-purification; ptomains; mineralization; integral indicator; sanitary and epidemiological supervision; repeated burial; PSS; indicator of soil self-purification degree

Compliance with ethical standards. The study does not require submission of a biomedical ethics committee report or other documents.

For citation: Ushakova O.V., Rakhmanin Yu.A., Evseeva I.S. Graduated index of self-cleaning degree of cemetery soils: development methodology and practical application. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2026; 105(6): 615–622. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-6-615-622> <https://elibrary.ru/jimuhp> (In Russ.)

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

Contribution: Ushakova O.V. — research concept and design, data collection and processing, text writing, and editing; Rakhmanin Yu.A. — research concept and editing; Evseeva I.S. — research concept and design, data collection and processing, and 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 had no sponsorship.

Received: April 24, 2026 / Accepted: June 18, 2026 / Published: July 31, 2026

Введение

Проблема санитарно-гигиенической оценки состояния почв на территориях кладбищ приобретает всё большую актуальность в связи с дефицитом земельных участков для захоронений в крупных городах и необходимостью рационального использования уже занятых территорий [1, 2]. По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, ежегодно в Российской Федерации выделяется под кладбища ≈ 2000 га новых земель, при этом многие существующие кладбища сталкиваются с проблемой исчерпания территории для новых захоронений [3–5].

Действующая система санитарно-эпидемиологического контроля, регламентированная СанПиН 1.2.3685–21¹ и МУ 2.1.7.730–99², предусматривает раздельную оценку химических, микробиологических и паразитологических показателей, что затрудняет получение целостной картины санитарного состояния территории. Единственным утверждённым интегральным показателем для почвы является суммарный показатель загрязнения (Z_c), который применяется исключительно для оценки химического загрязнения тяжёлыми металлами и не учитывает биологической составляющей [6–8].

Вопросы гигиенической оценки качества почв населённых мест остаются в центре внимания отечественной гигиенической науки. Современные подходы к оценке факторов среды обитания должны учитывать как традиционные, так и специфические для каждого типа загрязнения показатели [9, 10].

Методологические проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения применительно к объектам захоронения требуют разработки новых интегральных подходов, учитывающих многокомпонентность загрязнения, специфику некробиоценоза и длительность процессов разложения. Применение стандартного набора показателей для кладбищ некорректно, поскольку он не включает специфические маркёры разложения трупного материала, такие как птомаины (кадаверин и путресцин), окислительно-восстановительный потенциал и активность протеолитических ферментов, что делает невозможной адекватную оценку реального риска для населения и подземных вод при использовании традиционных схем контроля.

Федеральный закон от 12.01.1996 г. № 8-ФЗ³ устанавливает общие санитарные и экологические требования к содержанию мест погребения, однако не содержит количественных

критериев оценки степени минерализации трупного материала и методических подходов к определению допустимых сроков повторного использования могил. Поэтому особую значимость приобретает правовая неопределённость, закреплённая в пункте 55 СанПиН 2.1.3684–21, где указано, что «повторное захоронение в одну и ту же могилу тел родственников допускается по истечении времени разложения и минерализации тела умершего», однако критерии определения этого времени отсутствуют. Отсутствие единого подхода на практике ведёт либо к неоправданным ограничениям, либо к преждевременному использованию участков, следовательно, к потенциальному эпидемическому риску [4, 5].

Зарубежные исследования в этой области также направлены на поиск стандартизированных способов оценки почв захоронений. Поскольку длительность минерализации трупного материала различна в зависимости от типа почв и климата, при оценке риска для здоровья населения важен учёт региональных особенностей [11]. Микробная деструкция органического вещества в почве подчиняется биогеохимическим закономерностям, которые позволяют определить стадию разложения и прогнозировать, как долго сохраняется эпидемическая опасность [12]. Также на кладбищах в почвенном профиле достоверно накапливаются такие биогенные элементы, как азот, фосфор, калий. С гигиенических позиций данный факт должен учитываться в качестве индикатора возможной биогенной нагрузки на грунтовые воды и смежные среды [13].

Особый интерес представляют исследования, посвящённые изучению летучих органических соединений, выделяющихся при разложении трупного материала. В ряде работ идентифицировано более 100 различных соединений, образующихся в процессе гниения, среди которых кадаверин и путресцин являются наиболее специфическими маркёрами [14]. Установлено, что профиль летучих соединений (так называемый «запах смерти») закономерно изменяется по мере разложения, что позволяет использовать его для определения давности захоронения [15]. Подтверждено, что концентрации биогенных аминов в почве коррелируют со стадией разложения и могут служить надёжными индикаторами [16].

В отечественной литературе вопросам самоочищения почв также уделено значительное внимание, однако исследования проводятся преимущественно для территорий промышленных, сельскохозяйственных и селитебных зон, тогда как специфические процессы самоочищения на кладбищах, обусловленные длительным поступлением биогенных и токсичных соединений в условиях некробиоценоза, остались вне рамок систематического изучения и не нашли отражения в действующей нормативной базе [7, 17, 18].

Цель настоящего исследования — разработка и валидация градуированного показателя степени самоочистки (ПСС) почв кладбищ, позволяющего на основе интегральной оцен-

¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

² МУ 2.1.7.730–99 «Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест».

³ Федеральный закон от 12.01.1996 г. № 8-ФЗ (ред. от 06.04.2024 г.) «О погребении и похоронном деле» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025 г.).

ки химических, микробиологических, физико-химических и биотестовых показателей объективно характеризовать стадию минерализации и обосновывать возможность повторного захоронения.

Материалы и методы

Объекты исследования. Исследование выполнено на 12 кладбищах пяти регионов Российской Федерации: Московская область (Николо-Хованское, Николо-Архангельское, Перепеченское, Мытищинское, Домодедовское кладбища), Тульская область (городское кладбище Тулы, Всехсвятское кладбище, Хрущёво), Курская область (кладбище г. Курчатова), Мурманская область (кладбище г. Полярные Зори), Красноярский край (кладбище Железногорска) и Алтайский край (городское кладбище г. Яровое). Отбор проб проводили в летне-осенний период 2020–2025 гг. Всего проанализировано 540 проб почвы с известной давностью захоронения (от одного года до 50 лет). Контрольные участки отбирали на территориях, прилегающих к кладбищам, но не используемых для захоронений, а также на фоновых территориях, удалённых от антропогенных источников загрязнения.

Отбор проб проводили с учётом вертикальной неоднородности почвенного профиля на глубине 0–20 см (поверхностный слой), 150–170 см (зона активной минерализации) и 200–220 см (глубокий слой). Для каждого участка формировали смешанную пробу из пяти индивидуальных проб, отобранных методом конверта.

Методы исследования. Отбор, транспортировку и хранение проб осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01–2017⁴ и ГОСТ 17.4.4.02–2017⁵.

Комплекс исследований выполнен по стандартизованным и утверждённым методикам в рамках методологических подходов, принятых в санитарно-гигиеническом и экологическом мониторинге почв, и включал в себя определение:

- содержания птомаинов (кадаверина и путресцина) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с предколоночной дериватизацией и флуоресцентным детектированием, предел обнаружения 0,05 мг/кг;
- содержания аммонийного и нитратного азота фотометрическим методом с реактивом Несслера и салициловой кислотой соответственно;
- бактериологических показателей (БГКП, энтерококки) методом мембранной фильтрации с использованием селективных сред Кода и энтерококкового агара;
- патогенных энтеробактерий (*Salmonella* spp., *Shigella* spp.) методом накопления с последующим высевом на селективные среды (висмут-сульфит-агар, среда Плоскирева, среда Левина);
- яиц геогельминтов методом флотации с использованием насыщенных растворов нитрата натрия и флотации-седиментации;
- окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) потенциометрическим методом с использованием иономера с платиновым и хлорсеребряным электродами;
- активности протеолитических ферментов методом Ансона в модификации, основанном на определении скорости гидролиза казеина, с выражением активности в мг тирозина на 1 г почвы за 1 ч;
- фитотоксичности методом биотестирования на кресс-салате (*Lepidium sativum*) с определением ингибирования роста корней в трёхкратной повторности;
- острой токсичности методом биотестирования на дафниях (*Daphnia magna* Straus) с определением гибели рачков в водной вытяжке из почвы.

Статистическая обработка. Статистический анализ выполнен с использованием пакетов Statistica 12.0 (StatSoft

Inc., США) и SPSS 25.0 (IBM Corp., США). Проверку нормальности распределения проводили с использованием критерия Шапиро – Уилка. Применяли корреляционный анализ (коэффициент Пирсона для нормально распределённых данных и коэффициент Спирмена для данных, не подчиняющихся нормальному распределению), факторный анализ методом главных компонент с варимакс-вращением, кластерный анализ методом k-средних.

Результаты

Отбор показателей осуществляли на основании многолетних полевых исследований и корреляционного анализа образцов из захоронений различной давности. В итоговый перечень вошли восемь показателей, сгруппированных в четыре блока. Наиболее тесная связь с давностью захоронения установлена для суммарного содержания птомаинов и соотношения NH_4/NO_3 . В зарубежных исследованиях также зафиксирована высокая корреляция концентрации биогенных аминов со временем, прошедшим после захоронения [14]. Птомаины (кадаверин и путресцин) относятся к биогенным аминам и известны как трупные яды. Они образуются в результате гнилостного распада белков под действием микробных декарбоксилаз. При пероральном поступлении эти соединения практически нетоксичны [14], однако их концентрация в почве выступает надёжным индикатором стадии разложения трупного материала: профиль летучих соединений, включающий кадаверин и путресцин, изменяется по мере разложения, что позволяет с достаточной точностью оценивать давность захоронения [16].

Соотношение NH_4/NO_3 в почве отражает стадию трансформации азотсодержащих соединений. На начальных этапах минерализации преобладает аммонийный азот (аммонификация), на завершающих – нитратный (нитрификация). При гигиенической оценке почв захоронений данный показатель используют как критерий давности разложения и санитарной опасности. Соотношение форм азота сохраняет информативность даже после окончания активной фазы минерализации. Этот показатель длительное время применяется для оценки интенсивности минерализации и служит достоверным индикатором стадии разложения.

Разработка балльных шкал. Для приведения разнородных показателей к единой измерительной шкале разработана четырёхбалльная система оценки, в которой 1 балл соответствует максимальному уровню загрязнения (свежее захоронение), а 4 балла – минимальному (условно чистая почва). Границы баллов определяли на основе комбинированного подхода, объединяющего статистический (квартили распределения), нормативный (гигиенические нормативы) и экспертный методы. Дополнительно при установлении границ учитывали результаты многолетних собственных исследований авторов на репрезентативной сети мониторинговых площадок [24–28].

Анализ временных рядов позволил выявить устойчивые тренды изменения показателей загрязнения в зависимости от давности и типа антропогенного воздействия, что дало возможность скорректировать нормативные пороговые значения с учётом региональных геохимических особенностей и фоновое уровня содержания загрязнителей. Применение комбинированного подхода обеспечило объективность установленных границ и повысило диагностическую ценность шкалы при дифференциации свежих, старых и реабилитированных захоронений. Пример разработанной шкалы представлен в табл. 1.

Для определения вклада каждого показателя применяли три метода: экспертные оценки, корреляционный и факторный анализ. Метод экспертных оценок включал опрос независимых специалистов – почвоведов и сотрудников Роспотребнадзора, которые количественно и качественно оценивали факторы, не поддающиеся прямому инструментальному измерению. Результаты обрабатывали статистически с последующим формированием коллегиального заключе-

⁴ ГОСТ 17.4.3.01–2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб».

⁵ ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Таблица 1 / Table 1

Балльная оценка показателей, включённых в градированный показатель степени самоочистки**Score assessment of indicators included in the graded indicator of self-cleaning degree**

Показатель Indicator	1 балл 1 points	2 балла 2 points	3 балла 3 points	4 балла 4 points
Птомаины, мг/кг Ptomains, mg/kg	> 10.0	5.1–10.0	1.1–5.0	≤ 1.0
Соотношение NH_4/NO_3 NH_4/NO_3 ratio	> 5.0	2.1–5.0	0.6–2.0	≤ 0.5
ИСПМ, КОЕ/г ISP, CFU/g	> 10 000	1001–10 000	101–1000	≤ 100
Патогенные энтеробактерии Pathogenic Enterobacteria	Обнаружены в высоких концентрациях (> 100 КОЕ/г) Detected in high concentrations (> 100 CFU/g)	Обнаружены в умеренных концентрациях (10–100 КОЕ/г) Detected in moderate concentrations (10–100 CFU/g)	Обнаружены в низких концентрациях (1–9 КОЕ/г) Detected in low concentrations (1–9 CFU/g)	Не обнаружены Not detected
Яйца геогельминтов, экз/100 г Eggs of geohelminths, number per 100 g	> 100	11–100	1–10	0
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), мВ ORP, mV	< 150	150–250	251–350	> 350
Активность протеазы, мг/г/ч Protease activity, mg/g/h	< 0.5	0.5–1.0	1.1–2.0	> 2.0
Фитотоксичность, % Phytotoxicity, %	> 50	26–50	11–25	≤ 10
Острая токсичность для дафний, % гибели Acute toxicity for Daphnia, % mortality	> 50	26–50	11–25	≤ 10

ния о степени влияния каждого показателя. Корреляционный анализ использовали для количественной оценки связи между исследуемыми показателями и интегральным критерием.

По итогам обработки данных установлено распределение весовых коэффициентов: химические показатели – 30% (птомаины 15%, соотношение NH_4/NO_3 15%); микробиологические показатели – 30% (по 10% на каждый из трёх показателей); физико-химические показатели – 20% (окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – 10%, активность протеазы – 10%); экотоксикологические показатели – 20% (фитотоксичность – 10%, острая токсичность для дафний – 10%). Полученное распределение отражает значимость каждого блока для интегральной характеристики процессов минерализации и согласуется с литературными данными о приоритетных индикаторах состояния почв на территории захоронений.

На основе разработанных шкал и весовых коэффициентов предложена формула (1) расчёта ПСС:

$$\text{ПСС} = 0,15 \cdot B_1 + 0,15 \cdot B_2 + 0,1 \cdot B_3 + 0,1 \cdot B_4 + 0,1 \cdot B_5 + 0,1 \cdot B_6 + 0,1 \cdot B_7 + 0,1 \cdot B_8 + 0,1 \cdot B_9, \quad (1)$$

где B_1 – балльная оценка (от 1 до 4) для птомаинов; B_2 – балльная оценка (от 1 до 4) для NH_4/NO_3 ; B_3 – балльная оценка (от 1 до 4) для индекса санитарно-показательных микроорганизмов; B_4 – балльная оценка (от 1 до 4) для патогенных энтеробактерий; B_5 – балльная оценка (от 1 до 4) для яиц геогельминтов; B_6 – балльная оценка (от 1 до 4) для ОВП; B_7 – балльная оценка (от 1 до 4) для активности протеазы; B_8 – балльная оценка (от 1 до 4) для фитотоксичности; B_9 – балльная оценка (от 1 до 4) острой токсичности для дафний.

По результатам анализа распределения ПСС в выборке ($n = 540$) определены четыре стадии:

- свежее загрязнение (1–1,9) – 0–5 лет, птомаины > 10 мг/кг, наличие патогенов, ОВП < 150 мВ, токсичность > 50%;
- активный распад (2–2,6) – 5–15 лет, птомаины 5–10 мг/кг, наличие патогенов возможно, ОВП 150–250 мВ, токсичность 26–50%;
- завершение минерализации (2,7–3,3) – 15–30 лет, птомаины 1–5 мг/кг, патогены отсутствуют, ОВП > 250 мВ, токсичность 11–25%;
- условно чистая почва (3,4–4) – более 30 лет, птомаины < 1 мг/кг, ОВП > 350 мВ, токсичность ≤ 10% (иногда стимуляция).

Эти стадии совпадают с реальными сроками минерализации: для средней полосы России, полный распад мягких тканей занимает 15–25 лет, что соответствует стадии 3.

В ходе работы проведена валидизация полученных результатов. Корреляция ПСС с давностью захоронения составила $r = 0,82$ ($p < 0,001$), $r^2 = 0,67$, ROC-анализ для порога ПСС ≥ 3: AUC = 0,96 (95% ДИ 0,93–0,99), чувствительность 94%, специфичность 91%, точность 92,5%.

Сравнение ПСС с существующими показателями выявило его существенные преимущества: корреляция с давностью захоронения для суммарного показателя Z_c составила 0,12 ($p > 0,05$), для индекса Хлебникова – 0,35 ($p < 0,05$), для категории почвы по МУ 2.1.7.730–99 – 0,48 ($p < 0,05$). Как мы видим, они значительно ниже, чем у ПСС ($r = 0,82$; $p < 0,001$), что свидетельствует о возможной некорректности применения традиционных показателей, используемых при гигиенической оценке качества почв, и подтверждает необходимость разработки специализированного интегрального индекса.

Разработанный показатель апробирован на 12 кладбищах пяти регионов Российской Федерации. Среднее совпадение ПСС с экспертными оценками, выполненными независимыми экспертами, составило 99% (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Примеры апробации ПСС на кладбищах различных регионов
Examples of PSS testing in cemeteries in various regions

Кладбище Cemetery	Давность захоронения, лет Long history of burial, years	ПСС PSS	Стадия Stage	Совпадение с экспертной оценкой, % Matching with the expert assessment, %
Николо-Хованское Nikolo-Khovanskoe	10–20	2.8–3.2	3	97
Николо-Архангельское Nikolo-Arkhangelskoye	10–20	2.9–3.3	3	97
Перепеченское Perepechenskoye	15–25	3.0–3.4	3–4	100
Мытищинское Mytishchinskoe	5–15	2.2–2.6	2	100
Домодедовское Domodedovskoe	5–15	2.3–2.7	2–3	100
Город Тула The city of Tula	5–15	2.1–2.5	2	100
	15–20	3.1–3.3	3	100
	20–30	3.6–4.0	4	100
Всехсвятское кладбище Vsekhsvyatskoe cemetery	20–30	3.9–4.2	4	100
Кладбище Хрущёво Khrushchevo cemetery	20–30	3.7–4.1	4	100
Город Яровое, Алтайский край The city of Yarovoe, Altai Territory	1	1.4–1.6	1	100
Город Яровое Алтайский край Yarovoe, Altai Territory	17	2.4–2.6	2	100
Город Яровое, Алтайский край The city of Yarovoe, Altai Territory	35	2.8–3.0	3	100
Город Железнодорожск, Красноярский край The city of Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region	20–30	2.9–3.3	3	97
Город Курчатова, Курская область The city of Kurchatov, Kursk region	15–25	3.0–3.4	3–4	97
Полярные Зори, Мурманская область The city of Polarnye zori, the Murmansk region	20–30	2.6–3.0	2–3	100

На основании результатов апробации разработан алгоритм применения ПСС в практике санитарно-эпидемиологического надзора, включающий пять этапов: планирование исследований, отбор проб и лабораторные исследования, расчёт ПСС, интерпретация результатов, принятие управленческих решений.

Установлены критерии принятия решений о возможности повторных захоронений на основе ПСС:

- ПСС < 2 (стадия 1): повторные захоронения запрещены, независимо от обстоятельств;
- ПСС 2–2,6 (стадия 2): повторные захоронения не рекомендованы, возможны только в исключительных случаях при наличии комиссионного решения с обязательным применением активаторов биоразложения;
- ПСС 2,7–3,3 (стадия 3): повторные захоронения допустимы при отсутствии патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов;
- ПСС > 3,4 (стадия 4): повторные захоронения рекомендованы, ограничений нет, почва безопасна.

Обсуждение

Результаты проведённого исследования свидетельствуют о том, что традиционные методические подходы к гигиенической оценке почв, регламентированные действующей нормативно-методической базой, характеризуются ограничениями в отношении территорий кладбищ. Суммарный показатель химического загрязнения Z_c , ориентированный преимущественно на валовое содержание тяжёлых металлов, а также индекс санитарного числа по Хлебникову, отражающий соотношение форм азота в почве, не обеспечивают надёжной дифференциации этапов деградации трупного материала. В настоящем исследовании коэффициент корреляции Z_c с длительностью погребения составил 0,12 ($p > 0,05$), что согласуется с данными Zychowski J., установившего отсутствие чёткой временной динамики содержания тяжёлых металлов в почвах кладбищ и их преимущественную

зависимость от региональных геохимических особенностей и уровня техногенной нагрузки [11]. Индекс санитарного числа продемонстрировал умеренную корреляционную связь ($r = 0,35$; $p < 0,05$), что ниже значений, полученных в классических исследованиях самоочищения почв от органических загрязнителей [7]. Данное расхождение, вероятно, обусловлено нелинейным характером изменения соотношения аммонийного и нитратного азота в процессе разложения трупного субстрата, а также значительным влиянием таких факторов, как температурный режим, влажность почвы и активность нитрифицирующих микроорганизмов.

В отличие от перечисленных показателей предложенный интегральный показатель степени самоочистки (ПСС) выявил высокую степень корреляции с давностью захоронения ($r = 0,82$; $p < 0,001$). Указанная закономерность объясняется комплексным характером ПСС, объединяющим четыре группы параметров, каждая из которых характеризует определённые аспекты минерализации органического материала. Химические индикаторы (птомаины и соотношение NH_4/NO_3) отражают этапы протеолиза и трансформации азотсодержащих соединений. Полученные количественные характеристики содержания кадаверина и путресцина коррелируют с результатами Stathopoulos M. и соавт., показавших, что максимальные концентрации биогенных аминов в почвенной толще и приземном воздухе регистрируются в первые 5–10 лет после погребения [14]. Vass A.A. установил закономерную временную динамику профиля летучих органических соединений, образующихся при разложении, что обосновывает использование птомаинов в качестве маркёров давности захоронения [15]. Forbes S.L. и Perrault K.A. подтвердили сохранение данных соединений в почве после завершения активной фазы деградации, что делает их пригодными для оценки продолжительности минерализационных процессов [16].

Микробиологические индикаторы, включённые в структуру ПСС, характеризуют эпидемиологическую опасность почвенного субстрата. В ходе настоящего исследования уста-

новлено, что патогенные энтеробактерии (*Salmonella* spp., *Shigella* spp.) обнаруживаются исключительно на стадиях свежего загрязнения и активного распада ($\text{ПСС} < 2,7$) и полностью элиминируются при достижении $\text{ПСС} \geq 3$. Данные результаты согласуются с наблюдениями Hopkins D.W. и соавт., выявивших, что микробный профиль почв захоронений сохраняет отличия от фоновых почв в течение первых 10–15 лет, после чего происходит постепенная нормализация микробного сообщества [20]. В обзоре Morgan O., посвящённом рискам возникновения инфекционных болезней при массовых захоронениях, показано, что основную эпидемическую опасность для работников кладбищ и населения представляют энтеробактерии и спорообразующие бактерии [22]. Cardoso T.A. и Vieira D.N. на примере Бразилии установили прямую корреляцию между заболеваемостью инфекционными болезнями среди персонала кладбищ и концентрацией санитарно-показательных микроорганизмов в почве [24]. В предшествующих работах авторов также продемонстрирован повышенный риск патологии желудочно-кишечного тракта и кожных инфекций у работников кладбищ, ассоциированный с профессиональным контактом с контаминированной почвой [26].

Физико-химические параметры — окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и активность протеолитических ферментов — включены в структуру ПСС для характеристики интенсивности биохимических превращений в почвенном субстрате. ОВП представляет собой интегральную характеристику окислительно-восстановительных условий, определяющих направленность микробной деструкции органического вещества. При низких значениях ОВП (< 150 мВ) преобладают анаэробные процессы, сопровождающиеся аккумуляцией аммония, сероводорода и низкомолекулярных органических кислот. По мере завершения минерализации ОВП возрастает (> 350 мВ), что свидетельствует о переходе к аэробным условиям и терминальной стадии деструкции. Carter D.O. и Tibbett M. в экспериментальных моделях разложения мышечной ткани в почве при различных температурных режимах показали, что активность протеолитических ферментов достигает максимума в первые месяцы после захоронения с последующим экспоненциальным снижением [12]. Полученные в настоящей работе данные о снижении протеазной активности от значений > 2 мг тирозина на 1 г почвы за 1 ч на стадии свежего загрязнения до $< 0,5$ мг/г/ч на стадии условно чистой почвы полностью согласуются с приведёнными результатами.

Биотестовые показатели — фитотоксичность и острая токсичность для дафний — отражают интегральную токсичность почвенного субстрата, обусловленную как трупными ядами, так и продуктами их трансформации. На стадии свежего загрязнения токсичность для дафний превышала 50%, что указывает на высокую острую токсичность водных вытяжек. По мере минерализации токсичность снижалась, а на стадии условно чистой почвы ($\text{ПСС} > 3,4$) в ряде случаев наблюдалась стимуляция роста тест-организмов, что, вероятно, связано с обогащением почвы биогенными элементами. Данный феномен описан в работах Morandi и соавт., изучавших почвы кладбищ в Бразилии и выявивших повышение содержания доступных форм азота и фосфора после завершения минерализации, что может стимулировать рост растений [23]. Аналогичные результаты получены Afangideh и Udokroh при оценке влияния кладбищенских фильтратов на качество подземных вод [21].

Сравнительный анализ ПСС с существующими интегральными показателями подтверждает его методологические преимущества. Традиционный суммарный показатель Z_c , широко применяемый для оценки загрязнения почв тяжёлыми металлами, оказался малоприменимым для характеристики территорий кладбищ. Данное обстоятельство объясняется тем, что ведущими загрязнителями на кладбищах выступают не тяжёлые металлы, а биогенные элементы, такие как азот, фосфор, калий и органические соедине-

ния (птомаины, жирные кислоты). Как показали Sponberg и Becks, содержание тяжёлых металлов в почвах кладбищ в большинстве случаев не превышает фоновых значений и не коррелирует с давностью захоронения [13]. Категория почвы по МУ 2.1.7.730–99, основывающаяся на индексе санитарного числа и концентрации патогенов, продемонстрировала корреляцию 0,48 ($p < 0,05$), что выше, чем для Z_c , однако недостаточно для надёжного прогнозирования стадии минерализации.

Зарубежные исследования также ориентированы на разработку интегральных подходов к оценке почв кладбищ. Zychowski J. предложил использовать соотношение Ca/Mg и концентрацию нитратов в подземных водах в качестве индикаторов воздействия кладбищ [11]. Однако данный подход применим исключительно к гидрохимическому мониторингу и не позволяет оценить состояние самого почвенного субстрата. Morandi L. и соавт. применили комплекс показателей, в том числе pH, электропроводность, содержание органического углерода и фосфора, для оценки загрязнения почвы на кладбище в Бразилии [23]. Авторы показали, что концентрации биогенных элементов могут превышать фоновые значения в 3–5 раз, однако интегральный показатель, позволяющий ранжировать степень загрязнения, не был предложен.

Verheggen F. и соавт. в систематическом обзоре обобщили данные о летучих соединениях, образующихся при разложении, и пришли к заключению, что птомаины и жирные кислоты являются наиболее перспективными маркерами для оценки давности захоронения [19]. Полученные нами результаты подтверждают данный вывод: содержание кадаверина и путресцина продемонстрировало одну из наиболее высоких корреляционных связей с давностью захоронения ($r = 0,79$ для кадаверина, $r = 0,81$ для путресцина). Вместе с тем использования в качестве маркера исключительно птомаинов недостаточно, поскольку их концентрация может варьироваться в зависимости от типа почвы, температурного режима и влажности. В связи с этим в структуре ПСС они комбинируются с другими показателями, что повышает устойчивость и воспроизводимость интегральной оценки.

Разработанные весовые коэффициенты показателей (в диапазоне 10–15%) обоснованы с использованием корреляционного, факторного анализа и экспертных оценок. Химические и микробиологические показатели получили наибольший суммарный вес (по 30%), что соответствует их ведущей роли в процессах минерализации и определении уровня эпидемической опасности. Физико-химические и биотестовые показатели получили по 20%, что отражает их вспомогательную, но значимую роль в интегральной характеристике состояния почвенного субстрата. Данное распределение весов согласуется с методологическими подходами, предложенными в работах Рахманина Ю.А. и соавт., Ракитского В.Н. и соавт. с целью оценки риска для здоровья населения при загрязнении объектов окружающей среды [9, 10].

Важно отметить, что ПСС успешно дифференцировал стадии минерализации в различных климатических зонах — от субарктической (Мурманская область) до умеренной (Московская, Тульская, Курская области) и южносибирской (Алтайский край, Красноярский край). Вместе с тем для почв Крайнего Севера, высокогорий и многолетнемёрзлых грунтов, а также для таких типов почв, как солончаки, солонцы и торфяники, установленные закономерности могут требовать корректировки. Это обусловлено существенными различиями в скорости микробной деструкции в данных условиях вследствие низких температур, анаэробнозасоления [12, 20].

Долгосрочная динамика показателей, особенно для стадии реабилитации ($\text{ПСС} \geq 3,4$), может быть уточнена при проведении более продолжительных лонгитудинальных исследований. В настоящей работе максимальная давность захоронения составляла 50 лет, что соответствует периоду наблюдения, доступному для большинства кладбищ. Од-

нако для полного завершения гумификации и восстановления исходных свойств почвы могут потребоваться более длительные сроки, особенно на тяжёлых глинистых почвах с низкой аэрацией [13].

Несмотря на ограничения, полученные результаты имеют существенное практическое значение. ПСС может быть использован для объективной оценки стадии минерализации, обоснования возможности повторных захоронений, оценки эффективности применения активаторов биоразложения, планирования рекультивационных мероприятий и определения периодичности контрольных исследований.

Ограничения исследования. В исследовании представлены почвы I, II и III классов самоочищающей способности (дерново-подзолистые, серые лесные, чернозёмы выщелоченные, каштановые). В работе не изучались такие типы почв, как солончаки, солонцы, торфяники, а также техногенно нарушенные грунты (рекультивированные, насыпные). Несмотря на то что выборка охватывала климатогеографические зоны от умеренной до субарктической, следует отметить, что на Крайнем Севере, в высокогорьях и на многолетнемерзлых грунтах закономерности могут быть иными. Для этих типов почв установленные закономерности могут потребовать корректировки. Долгосрочная динамика показателей, особенно для стадии реабилитации (ПСС $\geq 3,4$), может быть уточнена при более продолжительных лонгитудинальных исследованиях. Разработанная система ориентирована преимущественно на традиционные грунтовые захоронения. Для других типов объектов захоронения (колумбарии, склепы, мемориальные комплексы, братские могилы, захоронения в криптах) предложенные подходы могут требовать адаптации.

Заключение

По результатам работы обоснована необходимость создания интегрального показателя оценки состояния кладбищенских почв, учитывающего специфические маркеры разложения трупного материала и позволяющего прогнози-

ровать сроки завершения минерализации. Существующие подходы (Z_c , индекс санитарного числа, категория почвы по МУ 2.1.7.730–99) имеют низкую корреляцию с давностью захоронения ($r = 0,12–0,48$) и не позволяют принимать обоснованные решения о возможности повторных захоронений. Разработан градируемый показатель степени самоочистки (ПСС), включающий девять показателей, сгруппированных в четыре блока: химические (патомаины, соотношение NH_4/NO_3), микробиологические (индекс санитарно-показательных микроорганизмов, патогенные энтеробактерии, яйца геогельминтов), физико-химические (ОВП, активность протеолитических ферментов) и биотестовые (фитотоксичность, острая токсичность для дафний). Показатели имеют весовые коэффициенты от 10 до 15%, отражающие их значимость для интегральной оценки.

На основе значений ПСС определены четыре стадии процесса самоочищения: свежее загрязнение (ПСС 1–1,9; давность 0–5 лет), активный распад (2–2,6; 5–15 лет), завершение минерализации (2,7–3,3; 15–30 лет) и условно чистая (реабилитированная) почва (3,4–4; > 30 лет). При этом установлена высокая корреляционная связь между ПСС и давностью захоронения ($r = 0,82$; $p < 0,001$). Чувствительность метода составила 94%, специфичность – 91%, точность – 92,5%, что подтверждает его высокую диагностическую ценность. Разработанный показатель успешно апробирован на 12 кладбищах пяти регионов Российской Федерации. Среднее совпадение ПСС с экспертными оценками составляет 99%. Предложен алгоритм применения показателя в практике санитарно-эпидемиологического надзора, включающий пять этапов, и установлены критерии принятия решений о возможности повторных захоронений. ПСС может быть использован для объективной оценки стадии минерализации, обоснования возможности повторных захоронений, оценки эффективности применения активаторов биоразложения, планирования рекультивационных мероприятий, определения периодичности контрольных исследований и стандартизации подходов к оценке состояния почв кладбищ.

Литература

(п.п. 11–16, 19–24 см. References)

- Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., ред. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития. М.-Пермь; 2024.
- Домнина С.В., Подкопаев О.А., Савоскина Е.В. Оценка территориально-экологического зонирования земель города Кинель. *Успехи современного естествознания*. 2024; (11): 45–50. <https://doi.org/10.17513/use.38331> <https://elibrary.ru/ouymum>
- Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Российской Федерации в 2023 году». М.; 2024.
- Звягинцев М. Р. Проблемы современных кладбищ в городской среде. В кн.: *Архитектура и строительство: традиции и инновации. Материалы III Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов*. Гомель, 2025. Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель: БелГУТ, 2025: 95–9. <https://elibrary.ru/jbncsm>
- Яппарова И.Р., Лукманова А.Д., Зотова Н.А., Абдульманов Р.И. Правовой режим и охрана земель, предоставленных для размещения кладбищ и захоронений. В кн.: *Экология и природопользование: на пути к устойчивому развитию: Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей*. Ульяновск; 2025: 171–3. <https://elibrary.ru/znlrdh>
- Медведева М.В., Новиков С.Г. Эколого-микробиологический мониторинг почв в местах массового отдыха. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(11): 1163–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1163-1169> <https://elibrary.ru/sctlmx>
- Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. *Гигиеническое нормирование химических веществ в почве*. М.: Медицина; 1986.
- Ревич Б.А. *Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. Введение в экологическую эпидемиологию*. М.; 2001. <https://elibrary.ru/uxsemn>
- Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(4): 298–301. <https://elibrary.ru/ykquqg>
- Ракитский В.Н., Стёпкин Ю.И., Клепиков О.В., Куролап С.А. Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(3): 188–95. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195> <https://elibrary.ru/ovketw>
- Никифоров А.С., Сивков Ю.В. Исследование естественного самоочищения нефтезагрязнённых почв юга Тюменской области. *Агрохимический вестник*. 2020; (5): 75–9. <https://elibrary.ru/dachpq>
- Соколов М.С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (белгородский опыт). *Агрохимия*. 2019; (11): 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0002188119110127> <https://elibrary.ru/otekoj>
- Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С. Особенности микробиома почв захоронений. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 920–4. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-920-924> <https://elibrary.ru/hagtcl>
- Ушакова О.В., Рахманин Ю.А., Евсеева И.С. Факторы риска развития заболеваний, связанных с загрязнением почвы, у работников кладбищ. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1155–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1155-1159> <https://elibrary.ru/ogufni>
- Ушакова О.В., Сабирова З.Ф., Евсеева И.С., Водянова М.А. Актуальные вопросы загрязнения объектов окружающей среды в районе расположения муниципальных кладбищ. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1315–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1315-1320> <https://elibrary.ru/xbnwzr>
- Ушакова О.В. *Научное обоснование гигиенических требований безопасной эксплуатации территорий захоронений*: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2009. <https://elibrary.ru/qefeyb>

References

- Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., eds. Health risk analysis in the strategy of state socio-economic development. Moscow-Perm'; 2024. (in Russian)
- Domnina S.V., Podkopaev O.A., Savoskina E.V. Assessment of territorial-ecological zoning of lands of the city of Kinel. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2024; (11): 45–50. <https://doi.org/10.17513/use.38331> <https://elibrary.ru/oynumm> (in Russian)
- The State Report «On the sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2023». Moscow; 2024. (in Russian)
- Zvyagintsev M.R. Problems of modern cemeteries in the urban environment. In: *Architecture and Construction: traditions and innovations. Materials of the III International Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and postgraduates*. Gomel, December 2025). Byelorussian State University of Transport. Gomel: BelGUT, 2025. Pp. 95–9 (in Russian)
- Yapparova I.R., Lukmanova A.D., Zotova N.A., Abdul'manov R.I. Legal regime and protection of land provided for cemeteries and burials. In: *Ecology and Nature Management: towards Sustainable Development: Collection of Scientific Papers of the II International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, Young Scientists, Teachers [Ekologiya i prirodopol'zovanie: na puti k ustoychivomu razvitiyu. Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchennykh, predavatelei]*. Ul'yanovsk; 2025: 171–3. <https://elibrary.ru/znlrldh> (in Russian)
- Medvedeva M.V., Novikov S.G. Ecological and microbiological monitoring of soils in places of mass recreation. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(11): 1163–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1163-1169> <https://elibrary.ru/sctlmx> (in Russian)
- Goncharuk E.I., Sidorenko G.I. *Hygienic Rationing of Chemicals in Soil [Gigienicheskoe normirovanie khimicheskikh veshchestv v pochve]*. Moscow: Meditsina; 1986. (in Russian)
- Revich B.A. *Environmental Pollution and Public Health. Introduction to Environmental Epidemiology [Zagryaznenie okruzhayushchei sredy i zdorov'e naseleniya. Vvedenie v ekologicheskuyu epidemiologiyu]*. Moscow; 2001. <https://elibrary.ru/uxsemn> (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I. Improvement of the system of social and hygienic monitoring of territories of large cities. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(4): 298–301. <https://elibrary.ru/ykugqx> (in Russian)
- Rakitskii V.N., Stepkin Yu.I., Klepikov O.V., Kurolap S.A. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(3): 188–95. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195> <https://elibrary.ru/ovketw> (in Russian)
- Zychowski J., Bryndal T. Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses – a review. *J. Water Health*. 2015; 13(2): 285–301. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.119>
- Carter D.O., Tibbett M. Microbial decomposition of skeletal muscle tissue in a sandy loam soil at different temperatures. *Soil Biol. Biochem*. 2006; 38(5): 1139–45. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.014> <https://elibrary.ru/maijdr>
- Sponberg A.L., Becks P.M. Inorganic soil contamination from cemetery leachate. *Water Air Soil Pollut*. 2000; 117(1): 313–27. <https://doi.org/10.1023/a:1005186919370> <https://elibrary.ru/hesuie>
- Statheropoulos M., Spiliopoulou C., Agapiou A. A study of volatile organic compounds evolved from the decaying human body. *Forensic Sci. Int*. 2005; 153(2–3): 147–55. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.08.015>
- Vass A.A. Odor mortis. *Forensic Sci. Int*. 2012; 222(1–3): 234–41. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.06.006>
- Forbes S.L., Perrault K.A. Decomposition odour profiling in the air and soil surrounding vertebrate carrion. *PLoS One*. 2014; 9(4): e95107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095107>
- Nikiforov A.S., Sivkov Yu.V. Research of oil transformation in soils of the south of the Tyumen region. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2020; (5): 75–9. <https://elibrary.ru/dachpq> (in Russian)
- Sokolov M.S. SOIL Rehabilitation and biologization of agriculture – impotent factors optimizing the ecological status of the region (Belgorod experience). *Agrokhimiya*. 2019; (11): 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0002188119110127> <https://elibrary.ru/oteko> (in Russian)
- Verheggen F., Perrault K.A., Megido R.C., Dubois L.M., Francis F., Haubruge E., et al. The odor of death: an overview of current knowledge on characterization and applications. *BioScience*. 2017; 67(7): 600–13. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix046>
- Hopkins D.W., Wiltshire P.E.J., Turner B.D. Microbial characteristics of soils from graves: an investigation at the interface of soil microbiology and forensic science. *Appl. Soil Ecol*. 2000; 14(3): 283–8. <https://elibrary.ru/axnqrf>
- Afangideh C.B., Udokpoh U.U. Environmental impact assessment of groundwater pollution within cemetery surroundings. *Indian J. Eng*. 2022; 19(51): 100–15.
- Morgan O. Infectious disease risks from dead bodies following natural disasters. *Rev. Panam. Salud Publica*. 2004; 15(5): 307–12. <https://doi.org/10.1590/s1020-49892004000500004>
- Morandi L., de Borja W.F., da Ros C.O., da Silva V.R., Toebe M., Somavilla L., et al. Soil contamination in a cemetery area: a case study in Nova Hartz City—RS, Brazil. *Environ. Sci. Eur*. 2024; 36(1): 95. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00864-2> <https://elibrary.ru/eybivg>
- Cardoso T.A., Vieira D.N. Study of mortality from infectious diseases in Brazil from 2005 to 2010: risks involved in handling corpses. *Cien. Saude Colet*. 2016; 21(2): 485–95. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015212.12652014>
- Ushakova O.V., Rakhmanin Yu.A., Evseeva I.S. Features of the microbiome of burial soils. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(9): 920–4. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-920-924> <https://elibrary.ru/hagtcl> (in Russian)
- 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)
- Ushakova O.V., Sabirova Z.F., Evseeva I.S., Vodanova M.A. Topical issues of environmental pollution in the area of municipal cemeteries. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1315–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1315-1320> <https://elibrary.ru/xbnwrz> (in Russian)
- Ushakova O.V. *Scientific substantiation of hygienic requirements for the safe operation of burial grounds*: Diss. Moscow; 2009. (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

About the authors

Olga V. Ushakova, PhD (Medicine), leading researcher, Hygiene department, A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2275-9010> E-mail: Oushakova@cspfmba.ru
Yuri A. Rakhmanin, DSc (Medicine), professor, academician of RAS, chief researcher, A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014> E-mail: YuRakhmanin@cspfmz.ru
Irina S. Evseeva, PhD (Medicine), senior researcher, Hygiene department, A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5765-0192> E-mail: Ievseeva@cspfmba.ru