

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ В ГРУНТЕ (ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

Лаврукова О.С.¹, Шигеев С.В.², Приходько А.Н.², Неженец С.П.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Российская Федерация, olgavavrukova@yandex.ru;

²Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Бюро судебно-медицинской экспертизы Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация

Определение времени смерти и давности захоронения остаётся одной из ключевых задач судебно-медицинской экспертизы, особенно когда тело обнаруживается в грунте. При этом эксгумация и исследование погребённых останков сопровождаются рядом методологических сложностей, осложняющих интерпретацию наблюдаемых изменений. Цель работы - систематизировать современные подходы и методы, применяемые за рубежом для определения давности захоронения в почве и оценки условий разложения тел в судебной и археологической практике; выявить преимущества и ограничения отдельных методик; предложить рекомендации по интеграции данных в отечественную судебную медицину. Материал и методы. В статье обобщены современные методы и междисциплинарные подходы, применяемые в судебной медицине и археологии для установления времени захоронения и характеристик процесса разложения трупов. Проанализированы направления исследований: химические изменения в почве в местах погребения, применение судебной археологии и методики эксгумации, микробиологические «постмортальные часы», влияние условий захоронения, значение энтомологических и тафономических наблюдений, а также перспективы использования протеомики и современных визуализационных технологий. Результаты и обсуждение. Акцент при анализе литературы сделан на том, что интерпретация посмертных изменений часто носит вероятностный характер и требует стандартизации методик и интеграции данных из разных дисциплин. Обсуждены практические последствия для экспертной деятельности: необходимость комплексного обследования места захоронения, учет локальных экологических факторов, использование химических маркеров почвы, секвенирования микробных сообществ и энтомологических свидетельств. Предложены рекомендации по повышению достоверности выводов: разработка баз данных по тафономическим процессам, стандартизованные протоколы отбора проб и документирования при эксгумации, расширение экспериментальных площадок для моделирования захоронений и дальнейшая валидация молекулярных и химических методов в полевых условиях. Заключение. Работа подчеркивает важность междисциплинарного подхода и дальнейших исследований для повышения точности определения давности захоронения и условий разложения.

Ключевые слова: судебная медицина, судебная археология, тафономия, давность захоронения, почвенная химия, некробиом, судебно-энтомологическая экспертиза, эксгумация, стандартизация методик.

CURRENT TRENDS IN DETERMINING THE PRESCRIPTION OF BURIAL IN THE GROUND (A REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

Lavrukova O.S.¹, Shigeev S.V.², Prikhodko A.N.², Nezhenets S.P.¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petrozavodsk State University", Petrozavodsk, Russian Federation, olgavavrukova@yandex.ru;

²State Budgetary Healthcare Institution "Bureau of Forensic Medical Examination of the Moscow City Department of Health", Moscow, Russian Federation

Determining the time of death and burial time remains a key task in forensic science, especially when a body is discovered in the ground. Furthermore, the exhumation and examination of buried remains are fraught with a number of methodological challenges, complicating the interpretation of observed changes. The aim of this study is to systematize modern approaches and methods used abroad to determine the time of burial in soil and assess the decomposition conditions of bodies in forensic and archaeological practice; to identify the advantages and limitations of individual methods; and to offer recommendations for integrating data into domestic forensic science. Materials and Methods. This article summarizes modern methods and interdisciplinary approaches used in forensic medicine and archaeology to determine the time of burial and the characteristics of the decomposition process of corpses. The following research areas are analyzed: chemical changes in soil at burial sites, the use of forensic archaeology and exhumation methods, microbiological "postmortem clocks", the influence of burial

conditions, the importance of entomological and taphonomic observations, as well as prospects for using proteomics and modern visualization technologies. Results and discussion. The analysis of the literature emphasizes that the interpretation of postmortem changes is often probabilistic in nature and requires standardization of methods and integration of data from different disciplines. Practical implications for forensic work are discussed: the need for a comprehensive survey of the burial site, consideration of local environmental factors, the use of chemical soil markers, sequencing of microbial communities and entomological evidence. Recommendations are proposed to improve the reliability of conclusions: the development of databases on taphonomic processes, standardized protocols for sampling and documentation during exhumation, expansion of experimental sites for burial modeling, and further validation of molecular and chemical methods in the field. Conclusion. The work highlights the importance of an interdisciplinary approach and further research to improve the accuracy of determining burial age and decomposition conditions.

Keywords: forensic science, forensic archeology, taphonomy, burial age, soil chemistry, necrobiome, forensic entomology, exhumation, standardization of methods.

Введение. Определение времени смерти и давности захоронения остаётся одной из ключевых задач судебно-медицинской экспертизы, особенно когда тело обнаруживается в грунте. Погребение – это как ритуальный акт, так и потенциальный след преступления; любые изменения, происходящие в останках и в окружающей среде с момента захоронения, несут информацию, востребованную следствием. При этом эксгумация и исследование погребённых останков сопровождаются рядом методологических сложностей: длительный интервал времени, вариабельность условий захоронения и посторонние воздействия (насекомые, почвенные микроорганизмы, антропогенные факторы) осложняют интерпретацию наблюдаемых изменений. Современная наука предлагает множество инструментов – от химического анализа почвы до высокопроизводительного секвенирования микробиоты и протеомики костной ткани – однако их синтез и практическая адаптация к судебной практике требуют дальнейшей систематизации и стандартизации.

Важно подчеркнуть, что каждая потенциальная находка требует индивидуального подхода: одинаковые методы не всегда применимы в равной мере для поверхностных захоронений, неглубоких могил или контаминированных урбанизированных участков. Кроме того, правовые требования к доказательственной базе – корректное документирование, соблюдение цепочки хранения образцов, проверяемость методик - предъявляют дополнительные ограничения к выбору и применению научных методов. Эксперт обязан не только получить данные, но и адекватно оценить их допустимость и пределы интерпретации в контексте уголовного производства. Отсюда вытекает необходимость не только научной, но и методологической интеграции - создания рабочих протоколов, позволяющих воспроизводимо получать и интерпретировать данные в условиях судебной экспертизы.

Цель работы – систематизировать современные подходы и методы, применяемые за рубежом для определения времени захоронения и оценки условий разложения тел в судебной и археологической практике; выявить преимущества и ограничения отдельных методик; предложить рекомендации по интеграции данных в отечественную судебную медицину.

Материал и методы исследования. Аналитический обзор доступной зарубежной литературы и обобщение результатов экспериментальных и полевых исследований, представленных в зарубежных публикациях по судебной медицине, тафономии, судебной археологии и судебной энтомологии. В работе использованы данные по следующим направлениям:

- химические параметры почвы и их изменения под влиянием продуктов разложения (рН, содержание органики, концентрации N, P и др.);
- методы геофизического поиска и неразрушающего обследования мест захоронений (георадар, электропроводность почвенного раствора);
- микробиологические исследования некробиома с использованием 16S рРНК-секвенирования и метабаркодирования пылевых и почвенных образцов;
- экспериментальные полевые модели (модельные объекты: трупы животных, таких как свиньи, крысы; контролируемые захоронения на исследовательских площадках);
- энтомологические наблюдения и аналитика состава некрофильной фауны в условиях захоронения;
- тафономические исследования: визуальная документация, протеомика костей, микроструктурные изменения тканей.

Для поиска литературы использованы базы данных PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus и Google Scholar. Временной промежуток охвата литературы: 2004–2024 гг. Методология обзора включала систематический поиск и критическую оценку публикаций последних десятилетий с применением критериев качества исследования (размер выборки, длительность наблюдений, контрольные участки, документирование условий захоронения), сопоставление экспериментальных результатов и выявление корреляций между параметрами (химическими, микробиологическими, энтомологическими) и установленными интервалами постмортального периода. Отдельное внимание уделялось анализу протоколов отбора проб (глубина, расстояние от тела, частота отбора), методам хранения (температурный режим, консервирующие среды), а также процедурам ведения документации и цепочки хранения (chain of custody), необходимым для использования результатов в суде. При обработке данных применялись мультимодальные статистические подходы, включая многомерный регрессионный анализ и методы машинного обучения для выявления устойчивых маркеров и построения прогностических моделей с оценкой погрешности. Просмотрен и систематизирован содержательный материал 49 публикаций; в итоговом списке литературы указаны все 49 источников. Ограничение: обзор составлен исключительно на основе предоставленного текста и прилагаемой библиографии; дополнительных внешних поисков за рамками этой подборки не выполнялось.

Результаты исследования и их обсуждение. Рассмотрены основные направления исследований, отраженные в ряде научных публикаций, посвященных химическим, микробиологическим и физическим аспектам разложения тел, а также методам обнаружения тайных захоронений.

1. Химические изменения в почве в местах захоронений. Показано, что разложение биологической ткани заметно изменяет химический состав почвы в месте погребения: увеличивается содержание органического вещества, наблюдаются локальные повышения концентраций азота и фосфора [1], сдвиги pH и изменение электропроводности [2; 3]. Такие «островки разложения» могут быть обнаружены с помощью комплексного анализа почвенных проб и служить индикатором наличия захоронения [4-6]. Измерение электропроводности грунтовой влаги показало потенциал для обнаружения тайных могил, поскольку продукты распада (аминокислоты, жирные кислоты) меняют ионный состав раствора. Однако химические показатели сильно зависят от исходного состава почвы, гидрологического режима и климатических условий, поэтому требуется локальная калибровка и мультипараметрический подход.

Практически важно комбинировать химические данные с геодезической и геофизической информацией: профиль вертикального распределения маркеров (насколько глубоко мигрировали растворимые продукты разложения), динамика изменения показателей во времени и пространственное распространение по горизонтали дают вместе более надёжную картину, чем единичные замеры. Также необходимо учитывать влияние растительности, сезонных циклов минерального питания почвы и антропогенных источников азота/фосфора (удобрения, сточные воды), которые могут маскировать или имитировать сигнатуры разложения.

2. Судебная археология и методики эксгумации. Ассертивные методики археологического обследования мест захоронения, документирования раскопок и аккуратной эксгумации останков – важнейшая составляющая. Исторические примеры [7] и современные рекомендации [8] демонстрируют, что систематический и этически выверенный подход (включая использование георадаров для минимизации повреждений) повышает качество получаемых данных и облегчает последующую судебно-медицинскую интерпретацию. Эффективная документация раскопок и стандартизованные протоколы отбора проб позволяют интегрировать археологические находки с лабораторными результатами [9-11]. В практическом плане целесообразно применять чек-листы и стандартизованные формы протоколирования, фотодокументацию с масштабом и ориентацией, а также трехмерное сканирование раскопа для последующего анализа и демонстрации в суде.

3. Микробиологические методы оценки продолжительности постмортального периода.

Последовательная смена микробных сообществ – надёжный маркер постмортального интервала в контролируемых условиях: от доминирования аэробных форм в ранние стадии до усиления анаэробных кластов (*Clostridium* и др.) по мере прогрессирования разложения [12-14]. Секвенирование 16S и метабаркодирование почвенной микробиоты показали корреляции между степенью сходства со специфическими микробными сообществами и временем нахождения в почве [15-17]. Тем не менее большинство исследований проведено на модельных объектах и в ограниченных локациях; микробная динамика зависит от температурного режима, влагозапаса и состава почвы, что ограничивает прямое перенесение моделей на разные регионы [18-20]. Для выхода метода в практику необходимы многолетние калибровочные исследования в разных биомах, стандартизация методов извлечения ДНК, контроль над контаминацией и разработка нормативов интерпретации результатов с указанием доверительных интервалов [21-23].

4. Влияние условий захоронения на процессы разложения. Глубина погребения, наличие упаковки (ткань, пластик), доступ насекомых и текстура почвы существенно влияют на скорость и вектор разложения [24]. По результатам полевых экспериментов, более глубокие захоронения и инкапсуляция замедляют процессы разложения, снижают активность энтомофауны и изменяют профиль микробной смены [25-27]. Текстура почвы (песок или глина) влияет на циркуляцию влаги и газообмен, а, следовательно, и на химическую динамику [28-30]. Эти факторы требуют обязательного учета при интерпретации состояния останков [31]. Кроме того, воздействие сезонных колебаний температуры и влажности может приводить к неоднородной динамике: периоды длительной засухи или, наоборот, затопления способны существенно смещать временные маркеры [32-34].

5. Энтомологические и тафономические аспекты. Информация о составе и стадиях развития некрофильных членистоногих служит дополнительным источником для оценки давности захоронения, особенно когда насекомые имеют доступ к останкам до или после захоронения [35-37]. Энтомологические данные, в сочетании с микробиологией и химией почвы, дают более полную картину [38; 39]. Тафономические исследования, включая протеомику костей и микроструктурный анализ [40–42], дают важную информацию о процессах постмортального изменения. Они помогают установить степень сохранности и давность захоронения в более длительной перспективе [43; 44]. Особенно ценно это при исследовании костных останков [45; 46]. Практическая задача – интегрировать эти данные в единую модель [47; 48], где каждый тип маркера (биологический, химический, энтомологический, тафономический) имеет вес, зависящий от условий захоронения и временного интервала [49].

Таким образом, текущие исследования показывают многообразие факторов, влияющих на процессы разложения человеческих останков, включая условия захоронения, доступ насекомых и микробиологические изменения. Эти данные имеют критическое значение для улучшения методов идентификации останков и оценки времени смерти в судебной практике, а также подчеркивают необходимость создания специализированных учреждений для дальнейшего изучения этих процессов. Кроме того, рассматриваются и дополнительные аспекты судебной медицины, такие как применение новых технологий визуализации для анализа состояния останков – например, использование трехмерного сканирования позволяет создавать детализированные модели костей без их повреждения; это может быть полезно как для научных исследований, так и для решения конкретных судебно-медицинских задач (например, виртопсия, изучение мумий).

Заключение. Современные тенденции, отмеченные в зарубежной специальной литературе по судебной медицине и археологии, демонстрируют широкий набор инструментов для определения давности захоронения и анализа условий разложения. Химические маркеры почвы, микробиологические профили, энтомологические свидетельства и тафономические методы взаимно дополняют друг друга и увеличивают точность экспертных выводов при комплексном применении. В то же время высокая чувствительность методов к локальным экологическим факторам и отсутствие единых протоколов ограничивают их практическую воспроизводимость. Для повышения надёжности судебно-медицинских заключений необходимы междисциплинарные исследования, стандартизация процедур отбора и анализа проб, создание и пополнение региональных баз данных по тафономическим процессам, а также широкая валидация молекулярных и химических индикаторов в полевых условиях. Интеграция археологического подхода к эксгумации в практике судебно-медицинской экспертизы и современных лабораторных технологий позволит сформировать устойчивые и воспроизводимые методики, востребованные следствием и судом. Дополнительно целесообразно внедрять программы обучения и сертификации экспертов, организовывать междисциплинарные лабораторные тренинги и создавать открытые репозитории данных для верификации и развития методов в международном контексте.

Список литературы

1. Fancher JP, Aitkenhead-Peterson JA, Farris T, Mix K, Schwab AP, Wescott DJ, Hamilton MD. An evaluation of soil chemistry in human cadaver decomposition islands: Potential for estimating postmortem interval (PMI). *Forensic Sci Int.* 2017 Oct;279:130-139. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.08.002. Epub 2017 Aug 18. PMID: 28866239.

2. Pringle JK, Cassella JP, Jervis JR. Preliminary soilwater conductivity analysis to date clandestine burials of homicide victims. *Forensic Sci Int.* 2010 May 20;198(1-3):126-33. DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.02.005. Epub 2010 Mar 7. PMID: 20211533.
3. Stokes KL, Forbes SL, Tibbett M. Freezing skeletal muscle tissue does not affect its decomposition in soil: evidence from temporal changes in tissue mass, microbial activity and soil chemistry based on excised samples. *Forensic Sci Int.* 2009 Jan 10;183(1-3):6-13. DOI: 10.1016/j.forsciint.2008.08.013. Epub 2008 Dec 17. PMID: 19095387.
4. Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M. Moisture can be the dominant environmental parameter governing cadaver decomposition in soil. *Forensic Sci Int.* 2010 Jul 15;200(1-3):60-6. DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.03.031. Epub 2010 Apr 18. PMID: 20400249.
5. Amadasi A, Cappella A, Cattaneo C, Cofrancesco P, Cucca L, Merli D, Milanese C, Pinto A, Profumo A, Scarpulla V, Sguazza E. Determination of the post mortem interval in skeletal remains by the comparative use of different physico-chemical methods: Are they reliable as an alternative to ¹⁴C? *Homo.* 2017 May;68(3):213-221. DOI: 10.1016/j.jchb.2017.03.006. Epub 2017 Mar 22. PMID: 28404240.
6. Oostra RJ, Gelderman T, Groen WJM, Uiterdijk HG, Cammeraat ELH, Krap T, Wilk LS, Lüschen M, Morriën WE, Wobben F, Duijst WLJM, Aalders MCG. Amsterdam Research Initiative for Sub-surface Taphonomy and Anthropology (ARISTA) - A taphonomic research facility in the Netherlands for the study of human remains. *Forensic Sci Int.* 2020 Dec;317:110483. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110483. Epub 2020 Sep 6. PMID: 32947241.
7. Martin V. A First World War example of forensic archaeology. *Forensic Sci Int.* 2020 Sep;314:110394. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110394. Epub 2020 Jun 26. PMID: 32622181.
8. Collins MJ, Jans MME, Nielsen-Marsh CM, Smith CI, Kars H. Characterisation of microbial attack on archaeological bone. *Journal of archaeological science.* 2004;31(1):87-95. DOI: 10.1016/j.jas.2003.07.007.
9. Coulson-Thomas YM, Norton AL, Coulson-Thomas VJ, Florencio-Silva R, Ali N, Elmrghni S, Gil CD, Sasso GR, Dixon RA, Nader HB. DNA and bone structure preservation in medieval human skeletons. *Forensic Sci Int.* 2015 Jun;251:186-94. DOI: 10.1016/j.forsciint.2015.04.005. Epub 2015 Apr 13. Erratum in: *Forensic Sci Int.* 2016 Jun;263:213. DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.04.022. PMID: 25912776.
10. Booth TJ. An investigation into the relationship between funerary treatment and bacterial bioerosion in European archaeological human bone. *Archaeometry.* 2016;58:484-499. DOI: 10.1111/arcm.12190.

11. Sawafuji R, Cappellini E, Nagaoka T, Fotakis AK, Jersie-Christensen RR, Olsen JV, Hirata K, Ueda S. Proteomic profiling of archaeological human bone. *R Soc Open Sci.* 2017 Jun 7;4(6):161004. DOI: 10.1098/rsos.161004. PMID: 28680659; PMCID: PMC5493901.
12. Liu Q, Weng YX, Yang F, Zheng N, Liu L. Microbial ATP in rat muscle tissue and its application for the estimation of postmortem interval. *Fa Yi Xue Za Zhi.* 2009 Apr;25(2):81-4. Chinese. PMID: 19537241.
13. Damann FE, Jans MME. Microbes, anthropology, and bones. In: Carter, D., Tomberlin, J., Benbow, E., Metcalf, J. (Eds.). *Forensic Microbiology.* West Sussex: John Wiley & Sons, 2017:312–327. DOI: 10.1002/9781119062585.ch12.
14. Zhang J, Wang M, Qi X, Shi L, Zhang J, Zhang X, Yang T, Ren J, Liu F, Zhang G, Yan J. Predicting the postmortem interval of burial cadavers based on microbial community succession. *Forensic Sci Int Genet.* 2021 May;52:102488. DOI: 10.1016/j.fsigen.2021.102488. Epub 2021 Feb 24. PMID: 33667880.
15. Metcalf JL, Wegener Parfrey L, Gonzalez A, Lauber CL, Knights D, Ackermann G, Humphrey GC, Gebert MJ, Van Treuren W, Berg-Lyons D, Keepers K, Guo Y, Bullard J, Fierer N, Carter DO, Knight R. A microbial clock provides an accurate estimate of the postmortem interval in a mouse model system. *Elife.* 2013 Oct 15;2:e01104. DOI: 10.7554/eLife.01104. PMID: 24137541; PMCID: PMC3796315.
16. Iancu L, Junkins EN, Purcarea C. Characterization and microbial analysis of first recorded observation of *Conicera similis* Haliday (Diptera: Phoridae) in forensic decomposition study in Romania. *J Forensic Leg Med.* 2018 Aug;58:50-55. DOI: 10.1016/j.jflm.2018.04.012. Epub 2018 May 3. PMID: 29747081.
17. Nilendu D. Toward Oral Thanatombiology-An Overview of the Forensic Implications of Oral Microflora. *Acad Forensic Pathol.* 2023 Jun;13(2):51-60. DOI: 10.1177/19253621231176411. Epub 2023 May 30. PMID: 37457549; PMCID: PMC10338735.
18. Finley SJ, Benbow ME, Javan GT. Microbial communities associated with human decomposition and their potential use as postmortem clocks. *Int J Legal Med.* 2015 May;129(3):623-32. DOI: 10.1007/s00414-014-1059-0. Epub 2014 Aug 17. PMID: 25129823.
19. Singh B, Minick KJ, Strickland MS, Wickings KG, Crippen TL, Tarone AM, Benbow ME, Sufrin N, Tomberlin JK and Pechal JL (2018) Temporal and Spatial Impact of Human Cadaver Decomposition on Soil Bacterial and Arthropod Community Structure and Function. *Front. Microbiol.* 8:2616. DOI: 10.3389/fmicb.2017.02616.
20. Pittner S, Bugelli V, Benbow ME, Ehrenfellner B, Zissler A, Campobasso CP, Oostra RJ, Aalders MCG, Zehner R, Lutz L, Monticelli FC, Staufer C, Helm K, Pinchi V, Receveur JP, Geißenberger J, Steinbacher P, Amendt J. The applicability of forensic time since death estimation

- methods for buried bodies in advanced decomposition stages. *PLoS One*. 2020 Dec 9;15(12):e0243395. DOI: 10.1371/journal.pone.0243395. PMID: 33296399; PMCID: PMC7725292.
21. Sychała K, Piecuch A, Szleszkowski Ł, Kadej M, Ogórek R. Microscopic fungi on the corpse - Promising tool requiring further research. *Forensic Sci Int*. 2024 Aug;361:112129. DOI: 10.1016/j.forsciint.2024.112129. Epub 2024 Jul 5. PMID: 38986228.
22. Thamsborg KKM, Hansen MS, Scheutz C, Klintø K, Kjeldsen P, Kvisgaard LK, Jensen HE, Hjerpe FB, Lohse L, Rasmussen TB, Rasmussen LD, Bedsted AE, Belsham GJ, Leisner JJ, Dalsgaard A. Microbiological and decomposition analysis of mass mink burial sites during the COVID-19 pandemic. *Sci Rep*. 2024 Aug 21;14(1):19440. DOI: 10.1038/s41598-024-69902-6. PMID: 39169071; PMCID: PMC11339334.
23. Moitas B, Caldas IM, Sampaio-Maia B. Microbiology and postmortem interval: a systematic review. *Forensic Sci Med Pathol*. 2024 Jun;20(2):696-715. DOI: 10.1007/s12024-023-00733-z. Epub 2023 Oct 16. PMID: 37843744; PMCID: PMC11297127.
24. Mariani R, García-Mancuso R, Varela GL, Kierbel I. New records of forensic entomofauna in legally buried and exhumed human infants remains in Buenos Aires, Argentina. *J Forensic Leg Med*. 2017 Nov;52:215-220. DOI: 10.1016/j.jflm.2017.09.012. Epub 2017 Sep 22. PMID: 28963944.
25. Guareschi E, Dadour IR, Magni PA. Taphonomic examination of inhumed and entombed Remains in Parma Cemeteries, Italy. *Global Journal of Forensic Science & Medicine*. 2019;1(4):1-8. DOI: 10.33552/gjfsm.2019.01.000518
26. Ueland M, Forbes SL, Stuart BH. Understanding clothed buried remains: the analysis of decomposition fluids and their influence on clothing in model burial environments. *Forensic Sci Med Pathol*. 2019 Mar;15(1):3-12. DOI: 10.1007/s12024-018-0073-9. Epub 2019 Jan 9. PMID: 30627974.
27. Vaduvesković I, Djuric M. Mass grave complexity effects on the minimum number of individuals estimation. *Forensic Sci Med Pathol*. 2020 Mar;16(1):57-64. DOI: 10.1007/s12024-019-00186-3. Epub 2019 Nov 14. PMID: 31728819.
28. Alfsdotter C, Petaros A. Outdoor human decomposition in Sweden: A retrospective quantitative study of forensic-taphonomic changes and postmortem interval in terrestrial and aquatic settings. *J Forensic Sci*. 2021 Jul;66(4):1348-1363. DOI: 10.1111/1556-4029.14719. Epub 2021 May 5. PMID: 33951184.
29. Bolte K, Dziadosz M, Kono N, Vennemann B, Klitschar M, Teske J. Determination of drugs in exhumed liver and brain tissue after over 9 years of burial by liquid chromatography-tandem mass spectrometry-Part 1: Cardiovascular drugs. *Drug Test Anal*. 2021 Mar;13(3):595-603. DOI: 10.1002/dta.2940. Epub 2020 Oct 23. PMID: 33017092.
30. Bonicelli A, Di Nunzio A, Di Nunzio C, Procopio N. Insights into the Differential Preservation of Bone Proteomes in Inhumed and Entombed Cadavers from Italian Forensic

Caseworks. *J Proteome Res.* 2022 May 6;21(5):1285-1298. DOI: 10.1021/acs.jproteome.1c00904. Epub 2022 Mar 22. PMID: 35316604; PMCID: PMC9087355.

31. Emmons AL, Mundorff AZ, Hoeland KM, Davoren J, Keenan SW, Carter DO, Campagna SR, DeBruyn JM. Postmortem Skeletal Microbial Community Composition and Function in Buried Human Remains. *mSystems.* 2022 Apr 26;7(2):e0004122. DOI: 10.1128/msystems.00041-22. Epub 2022 Mar 30. PMID: 35353006; PMCID: PMC9040591.

32. Hill MA, Pokines JT. Comparative analysis of fetal pig decomposition processes in burials of variable depths and wrapping. *J Forensic Sci.* 2022 Nov;67(6):2192-2202. DOI: 10.1111/1556-4029.15120. Epub 2022 Aug 11. PMID: 35957506.

33. Cvetko M, Knific T, Frangež R, Motaln H, Rogelj B, Alibegović A, Gombač M. Postmortem chondrocyte viability in porcine articular cartilage: Influence of time, temperature, and burial under winter conditions. *J Forensic Sci.* 2024 May;69(3):1094-1101. DOI: 10.1111/1556-4029.15503. Epub 2024 Mar 15. PMID: 38491758.

34. Landsman C, Myburgh J, Meyer A. The taphonomic effects of long-term burial in the South African Highveld. *Int J Legal Med.* 2024 Sep;138(5):2093-2105. DOI: 10.1007/s00414-024-03235-x. Epub 2024 Apr 23. PMID: 38649549; PMCID: PMC11306639.

35. Bourel B, Tournel G, Hédouin V, Gosset D. Entomofauna of buried bodies in northern France. *Int J Legal Med.* 2004 Aug;118(4):215-20. DOI: 10.1007/s00414-004-0449-0. Epub 2004 Apr 28. PMID: 15114486.

36. Simmons T, Adlam RE, Moffatt C. Debugging decomposition data--comparative taphonomic studies and the influence of insects and carcass size on decomposition rate. *J Forensic Sci.* 2010 Jan;55(1):8-13. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2009.01206.x. Epub 2009 Nov 5. PMID: 19895543.

37. Mariani R, García-Mancuso R, Varela GL, Inda AM. Entomofauna of a buried body: study of the exhumation of a human cadaver in Buenos Aires, Argentina. *Forensic Sci Int.* 2014 Apr;237:19-26. DOI: 10.1016/j.forsciint.2013.12.029. Epub 2014 Jan 24. PMID: 24530940.

38. Singh R, Sharma S, Sharma A. Determination of post-burial interval using entomology: A review. *J Forensic Leg Med.* 2016 Aug;42:37-40. DOI: 10.1016/j.jflm.2016.05.004. Epub 2016 May 12. PMID: 27235895.

39. Matuszewski S, Hall MJR, Moreau G, Schoenly KG, Tarone AM, Villet MH. Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research. *Int J Legal Med.* 2020 Mar;134(2):793-810. DOI: 10.1007/s00414-019-02074-5. Epub 2019 Jun 17. PMID: 31209558; PMCID: PMC7044136.

40. Schotsmans EMJ, Márquez-Grant N, Forbes SL. Taphonomy of human remains: forensic analysis of the dead and the depositional environment. Chichester, West Sussex; Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., 2017;544. DOI: 10.1002/9781118953358

41. Spies MJ, Gibbon VE, Finaughty DA. Forensic taphonomy: Vertebrate scavenging in the temperate southwestern Cape, South Africa. *Forensic Sci Int.* 2018 Sep;290:62-69. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.06.022. Epub 2018 Jun 22. PMID: 30015281.
42. Franceschetti L, Palamenghi A, Mazzarelli D, Cappella A, Gibelli DM, De Angelis D, Verzeletti A, Cattaneo C. Taphonomic study on drowned victims in a non-sequestered aquatic environment in the Mediterranean Sea. *Int J Legal Med.* 2022 May;136(3):887-895. DOI: 10.1007/s00414-021-02745-2. Epub 2021 Nov 20. PMID: 34802063.
43. Kõrgesaar K, Jordana X, Gallego G, Defez J, Galtés I. Taphonomic model of decomposition. *Leg Med (Tokyo).* 2022 May;56:102031. DOI: 10.1016/j.legalmed.2022.102031. Epub 2022 Jan 31. PMID: 35123354.
44. Weisensee KE, Tica CI, Atwell MM, Ehrett C, Smith DH, Carbajales-Dale P, Claflin P, Nisbet N. geoFOR: A collaborative forensic taphonomy database for estimating the postmortem interval. *Forensic Sci Int.* 2024 Feb;355:111934. DOI: 10.1016/j.forsciint.2024.111934. Epub 2024 Jan 18. PMID: 38277912.
45. Williams A, Rogers CJ, Cassella JP. Why does the UK need a Human Taphonomy Facility? *Forensic Sci Int.* 2019 Mar;296:74-79. DOI: 10.1016/j.forsciint.2019.01.010. Epub 2019 Jan 21. PMID: 30708265.
46. Ermida C, Cunha E, Ferreira MT. Luminol and the postmortem interval estimation - influence of taphonomic factors. *Int J Legal Med.* 2024 May;138(3):1109-1116. DOI: 10.1007/s00414-023-03132-9. Epub 2023 Nov 24. PMID: 37996553; PMCID: PMC11003912.
47. Ceciliason AS, Käll B, Sandler H. Mummification in a forensic context: an observational study of taphonomic changes and the post-mortem interval in an indoor setting. *Int J Legal Med.* 2023 Jul;137(4):1077-1088. DOI: 10.1007/s00414-023-02986-3. Epub 2023 Mar 21. PMID: 36943481; PMCID: PMC10247854.
48. Mickleburgh HL, Schwalbe EC, Bonicelli A, Mizukami H, Sellitto F, Starace S, Wescott DJ, Carter DO, Procopio N. Human Bone Proteomes before and after Decomposition: Investigating the Effects of Biological Variation and Taphonomic Alteration on Bone Protein Profiles and the Implications for Forensic Proteomics. *J Proteome Res.* 2021 May 7;20(5):2533-2546. DOI: 10.1021/acs.jproteome.0c00992. Epub 2021 Mar 8. PMID: 33683123; PMCID: PMC8155572.
49. Finaughty DA, Pead J, Spies MJ, Gibbon VE. Next generation forensic taphonomy: Automation for experimental, field-based research. *Forensic Sci Int.* 2023 Apr;345:111616. DOI: 10.1016/j.forsciint.2023.111616. Epub 2023 Feb 27. PMID: 36907107.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.