

УДК 340.6:631.4

<https://doi.org/10.52420/umj.25.3.89><https://elibrary.ru/LSOCMK>

## Влияние типа почвенной среды на изменения тканей трупа: история научного поиска

Дмитрий Валерьевич Останин<sup>1✉</sup>, Оксана Борисовна Долгова<sup>1</sup>,  
Ростислав Русланович Гарипов<sup>1</sup>, Юлия Геннадьевна Якимова<sup>1</sup>,  
Ольга Анатольевна Некрасова<sup>2</sup>, Антон Павлович Учаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

✉ [ostanindmitry@mail.ru](mailto:ostanindmitry@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Изучение посмертных изменений биологических объектов играет ключевую роль в установлении давности смерти, что важно для правоохранительных органов. Однако точный метод определения позднего посмертного интервала отсутствует, и эта проблема остается дискуссионной в судебной медицине. На процессы разложения влияет множество взаимосвязанных факторов: внешние (температура, влажность, биотические факторы) и внутренние (особенности микробиома организма). Научное и практическое значение имеет изучение преобразований в различных типах почв, поскольку почва — сложная гетерогенная система, чьи свойства определяют скорость и направленность деструкции тканей. Описание характеристик почвы места происшествия критически важно для оценки посмертного периода. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования методов установления давности захоронений и наступления смерти при условии нахождения трупа различных почвенных средах. Существующие методики, основанные на описании классических трупных явлений, часто представляют большой диапазон показателей из-за недостаточного учета влияния почвенного субстрата.

**Цель работы** — провести комплексный историко-научный анализ и систематизацию современных данных о влиянии различных типов почвенной среды на характер и динамику преобразований тканей трупа, а также выявить актуальные проблемы исследований посмертных изменений тканей.

**Материалы и методы.** Проведен систематический анализ публикаций в международных (PubMed, Scopus, Web of Science) и российских (eLibrary.ru, «КиберЛенинка») базах данных за период 1940–2025 гг. Включены оригинальные исследования, обзоры, метаанализы и монографии, посвященные посмертным изменениям в различных почвенных условиях.

**Ключевые слова:** судебная медицина, криминальные захоронения, деструкция биологических тканей, трупные явления, осмотр трупа на месте происшествия

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.

**Для цитирования:** Влияние типа почвенной среды на изменения тканей трупа: история научного поиска / Д. В. Останин, О. Б. Долгова, Р. Р. Гарипов [и др.] // Уральский медицинский журнал. 2026. Т. 25, № 3. С. 89–106. DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.25.3.89>. EDN: <https://elibrary.ru/LSOCMK>.

## The Influence of Soil Environment Type on Postmortem Tissue Changes: A History of Scientific Inquiry

Dmitry V. Ostanin <sup>1</sup>✉, Oksana B. Dolgova <sup>1</sup>, Rostislav R. Garipov <sup>1</sup>,  
Yulia G. Yakimova <sup>1</sup>, Olga A. Nekrasova <sup>2</sup>, Anton P. Uchaev <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

✉ ostanindmitry@mail.ru

### Abstract

**Introduction.** Accurate determination of the late postmortem interval remains a challenge in forensics. Decomposition is driven by complex factors, with soil type being particularly critical as it dictates the rate and nature of tissue degradation. This study highlights the need to refine postmortem interval estimation methods by better accounting for the specific soil environment, as current techniques often produce unreliable results due to insufficient consideration of the soil substrate.

**The purpose** of the work is to conduct a comprehensive historical and scientific analysis and systematization of current data on the impact of different soil environments on the nature and dynamics of postmortem tissue changes, as well as to identify current challenges in research on postmortem transformations of tissues.

**Materials and methods.** A systematic review of publications from international (PubMed, Scopus, Web of Science) and Russian (eLibrary.ru, CyberLeninka) databases covering the period from 1940 to 2025 was conducted. The analysis included original studies, reviews, meta-analyses, and monographs addressing postmortem changes in various soil conditions.

**Keywords:** forensic medicine, clandestine graves, biological tissue degradation, postmortem changes, crime scene body inspection

**Funding.** The authors declare the absence of external funding.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious or potential conflict of interest.

**For citation:** Ostanin DV, Dolgova OB, Garipov RR, Yakimova YG, Nekrasova OA, Uchaev AP. The influence of soil environment type on postmortem tissue changes: A history of scientific inquiry. *Ural Medical Journal*. 2026;25(3):89–106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.25.3.89>. EDN: <https://elibrary.ru/LSOCMK>.

© Останин Д. В., Долгова О. Б., Гарипов Р. Р., Якимова Ю. Г., Некрасова О. А., Учаев А. П., 2026

© Ostanin D. V., Dolgova O. B., Garipov R. R., Yakimova Y. G., Nekrasova O. A., Uchaev A. P., 2026

### Введение

Анализ процессов посмертного разложения биологических тканей представляют собой сложную междисциплинарную проблему, решение которой критически важно для повышения точности судебно-медицинских экспертиз, особенно при установлении давности наступления смерти (постмортального интервала). На сегодняшний день не существует однозначного и надежного метода для определения времени, прошедшего с момента смерти, и оценка позднего посмертного интервала остается одной из самых обсуждаемых тем в судебной медицине [1, 2]. Кроме того, в настоящее время актуальны экспертные ошибки при определении давности смерти, они требуют профилактики посредством разработки новых методов и алгоритмов исследований, поскольку от изначального осмотра трупа на месте происшествия с подробной фиксацией трупных явлений и последующего качественного выполнения экспертизы, объек-

тивности и обоснованности судебно-медицинских экспертных выводов зависит правильная квалификации преступных действий и в конечном итоге судебное решение [3–5].

Среди множества внешних факторов, влияющих на динамику разложения, — таких как температура, влажность и активность насекомых — почва выступает в качестве фундаментальной и постоянной микросреды, непосредственно контактирующей и взаимодействующей с останками [6–8]. Почва не является пассивной средой сохранения трупа, а представляет собой активную биогеохимическую систему, физическая структура, химический состав и биологическое сообщество которой в совокупности определяют направление, скорость и особенности деструкции тканей [9, 10]. Следовательно, изучение взаимодействий «труп — почва» эволюционировало в центральный фокус современной судебной медицины. Историческое развитие этого научного направления отражает постепенный сдвиг парадигмы от чисто описательных, наблюдательных методов к экспериментальным, доказательным исследованиям. Ранние этапы исследования поздних трупных изменений характеризовались эмпирическими обобщениями из судебной практики и археологических находок, где тип почвы отмечался как значимая, но плохо изученная переменная [11, 12]. Переломным моментом стало появление специальных исследований и создание экспериментальных станций («ферм тел»), позволивших впервые провести контролируемые лонгитюдные исследования разложения в разных почвенных субстратах. Этот переход позволил перейти от констатации корреляций к выявлению причинно-следственных связей между конкретными параметрами почвы (текстурой, рН<sup>1</sup>, влажностью, редокс-потенциалом) и стадиями деструкции мягких тканей, скелетирования и последующего изменения костных останков.

Несмотря на прогресс, историческая траектория исследований выявляет ряд сохраняющихся проблем. Знания долгое время оставались фрагментированными между дисциплинами — судебной медициной, почвоведением, геологией, микробиологией, — что препятствовало созданию единой теоретической модели. Кроме того, исторические данные часто гетерогенны и плохо сопоставимы из-за отсутствия стандартизированных методик описания как почвенных условий, так и стадийности процессов. Пробелом остается отсутствие комплексного исторического синтеза, который бы проследил эволюцию идей, ключевые открытия и методологические микрореволюции в контексте почвенно-ориентированной теории изменений трупа. Такой анализ необходим для критической оценки современных моделей, выявления воспроизводимых закономерностей и определения наиболее перспективных векторов научных работ, имеющих практическое значение [13].

**Цель работы** — провести комплексное историко-аналитическое исследование научной литературы, посвященной анализу влияния различных типов почв на трансформацию тканей трупа. Поставлена задача систематизировать эволюцию методологических подходов, проследить формирование ключевых концепций и выявить устойчивые пробелы в исследованиях для построения целостной картины развития этого важного направления судебной медицины.

### Материалы и методы

Анализ и систематизация публикаций в международных (PubMed, Scopus, Web of Science) и российских (eLibrary.ru, «КиберЛенинка») базах данных за период 1940–2025 гг. Включены оригинальные исследования, обзоры, метаанализы и монографии, посвященные посмертным изменениям в различных почвенных условиях. Выявлено 264 источника, из которых для дальнейшего анализа отобрано 65 наиболее релевантных публикаций.

<sup>1</sup> рН — водородный показатель (*лат.* pondus Hydrogenii).

## Результаты и обсуждение

Во многих традиционных культурах на протяжении истории человечества складывались уникальные и самобытные погребальные обряды, тесно переплетавшиеся с религиозными представлениями о загробном существовании. Эти верования напрямую определяли то, как люди обращались с телом усопшего, какие ритуалы проводились и каким образом изучалось тело умершего человека в контексте подготовки к путешествию в иной мир. Наглядной иллюстрацией этого являются погребальные традиции Древнего Египта, который является одной из наиболее изученных ранних цивилизаций. Благодаря археологическим находкам и письменным источникам нам известно, что уже в додинастический период существовала особая традиция захоронения. В то время умерших хоронили в неглубоких могилах, вырытых прямо в песке. Тело, помещенное в такой грунт, подвергалось непосредственному воздействию горячего и сухого воздуха, который к тому же был подвижным из-за ветров. Это природное явление приводило к быстрому обезвоживанию тканей и, как следствие, естественной мумификации. Этот процесс, подмеченный древними египтянами, сыграл ключевую роль в дальнейшем развитии и совершенствовании технологий бальзамирования, поскольку люди стремились воспроизвести и улучшить то, что создавала природа. Уже к концу додинастического периода, который датируется примерно 4500–3350 гг. до н.э., в Древнем Египте начали практиковать преднамеренное мумифицирование тел. Эта практика вводилась специально для того, чтобы предотвратить разложение плоти, что было продиктовано исключительно религиозными целями и верой в необходимость сохранения тела для вечной жизни души [14].

Подобные способы искусственного или естественного сохранения тел, будучи ценными для понимания религиозных верований и ритуальных практик, одновременно создавали значительные препятствия для изучения естественных процессов разрушения тканей трупов. Поскольку мумификация или иные методы консервации останавливали или кардинально видоизменяли нормальный ход разложения, исследователи лишались возможности проводить описания и накапливать объективные данные о том, как именно происходят деструктивные изменения в мягких тканях после смерти в естественных условиях. Это затрудняло развитие тафономии — науки о закономерностях захоронения и посмертных изменений. В то же время в других культурах по всему миру складывались свои уникальные погребальные традиции, которые, осознанно или случайно, также способствовали сохранению тела усопшего, хотя и преследовали иные, ритуальные цели. Ярким примером служит таштыкская культура, существовавшая на берегах Енисея со II в. до н.э. по V в. н.э. Археологами были зафиксированы особые традиции, сочетавшие в себе как мумификацию отдельных тел, так и обряд кремации, что указывает на сложные религиозные представления и вариативность погребальной практики у древних народов Сибири. Еще один примечательный пример обнаружен на территории современного Казахстана при исследовании памятников тасмолинской археологической культуры. Здесь ученые наткнулись на следы специфических манипуляций, направленных на защиту трупа от быстрых деструктивных изменений после погребения. В частности, зафиксированы случаи трепанации черепа, которая, по мнению исследователей, могла являться частью сложного ритуала, возможно, связанного с извлечением внутренних органов или иными действиями, призванными замедлить разложение и сохранить целостность тела умершего для загробной жизни [15].

С приходом христианства на посмертное исследование человеческого тела был наложен строжайший запрет [16]. В Европе, вплоть до окончания периода Средневековья, раз-

витие медицинской науки и, в частности, анатомии сталкивалось с серьезными трудностями, главной из которых была ограниченная возможность доступа к человеческим трупам для проведения вскрытий и исследований. Это было связано в первую очередь с доминировавшими в обществе религиозными запретами и этическими нормами, которые рассматривали человеческое тело как нечто священное и неприкосновенное даже после смерти. Подобные ограничения на долгие века затормозили непосредственное изучение анатомии человека, вынуждая ученых и врачей искать обходные пути. Показательно в этом отношении такого вынужденного подхода служит деятельность выдающегося античного врача Галена, чьи труды оставались авторитетными на протяжении более тысячи лет. Общеизвестно, что, не имея легальной возможности систематически препарировать человеческие тела, Гален проводил свои анатомические исследования на животных. Сначала он занимался изучением строения тела на трупах обезьян, которые считались наиболее близкими по анатомии к человеку. Однако впоследствии, руководствуясь, по-видимому, как этическими соображениями (поскольку обезьяны воспринимались как существа, более близкие к людям), так и практической доступностью материала, он переключился на препарирование свиней и других мелких млекопитающих. Затем Гален механически переносил знания и описания, полученные в ходе таких вскрытий, на представление о строении человеческого тела, будучи уверенным, что анатомия всех живых существ в целом одина или имеет лишь незначительные отличия. Это привело к тому, что в его трудах и, как следствие, во всей последующей средневековой медицине укоренилось множество ошибочных представлений об анатомии человека, основанных на строении животных, что в итоге затрудняло развитие правильных хирургических и лечебных практик вплоть до эпохи Возрождения, когда запреты на вскрытие начали постепенно ослабевать [17]. Таким образом, систематическое изучение и наблюдение за разложением трупов было больше редкостью, чем обыденной научной практикой.

Знаковым событием в изучении посмертных изменений стало первое упоминание «восковых трупов» (жировоска) сэром Т. Брауном в его дискурсе «Гидриотафия, захоронение в урнах» 1658 г., а первое их подробное описание появилось в сочинении Фуркруа и Турэ лишь в 1786 г., после того как они столкнулись с превращением трупов в жировоск при вскрытии могил на кладбище Невинных в Париже<sup>1</sup>. В России становление научных подходов к исследованию посмертных изменений и влияния внешней среды на разложение тканей связано с именем выдающегося ученого И. В. Буяльского, который по праву считается основоположником отечественной судебной медицины. Уже в первой четверти XIX в., когда судебно-медицинская экспертиза только начинала формироваться как самостоятельная научная дисциплина, Буяльский заложил фундаментальные принципы, которыми врачи руководствуются до сих пор. В 1824 г. он опубликовал капитальный труд под названием «Руководство врачам к правильному осмотру мертвых человеческих тел». Эта работа стала настольной книгой для практикующих медиков, занимающихся освидетельствованием трупов. В своем руководстве Буяльский особое внимание уделял не только самой процедуре вскрытия, но и важности тщательного описания обстоятельств, сопутствовавших смерти. В частности, он подчеркивал критическую значимость фиксации условий внешней среды при описании места обнаружения тела, поскольку эти факторы напрямую влияют на скорость и характер посмертных процессов. Исследуя вопрос сохранности останков, Бу-

<sup>1</sup> Спиридонов В. А., Дургалян Т. М. Жировоск (адипоцир): краткий очерк истории изучения // Актуальные вопросы судебной медицины и проблемы токсикологии : материалы межрегион. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию судеб.-мед. службы Свердлов. обл. и 80-летию каф. судеб. медицины УГМУ / под ред. О. Б. Долговой, С. Л. Соколовой. 2015. С. 268–272. URL: <https://clck.ru/3RA9CR> (дата обращения: 29.12.2025).

яльский подробно остановился на тех условиях, которые могли «способствовать к сохранению или разрушению онаго», т. е. тела. К числу таких ключевых факторов внешней среды автор относил тип почвы (например, песчаная, глинистая, чернозем), в которой находилось тело, наличие или отсутствие контакта с водой (стоячей или проточной), а также время года и связанные с ним температурные колебания. Эти наблюдения стали первыми научно обоснованными рекомендациями в российской практике, позволяющими экспертам впоследствии точнее определять давность наступления смерти и отличать прижизненные повреждения от посмертных изменений, вызванных окружающей средой [18]. Еще в 1894 г. П. Меншин отмечал, что присутствие насекомых является ключевым фактором в процессе разложения трупа, причем каждая стадия этого процесса сопровождается специфическим комплексом видов [19].

Научный подход к изучению посмертных деструктивных процессов тканей начал формироваться в начале XX вв. с развитием почвоведения как самостоятельной дисциплины. Работы В. В. Докучаева и его последователей заложили основы понимания почвы как комплексной системы [20]. В 1920–1930-е гг. появляются первые экспериментальные работы, посвященные изучению разложения животных останков в различных почвенных условиях. Возник термин «тафономия» — наука, изучающая деструкцию биологических тканей вплоть до состояния окаменелости и ее взаимосвязь с внешними условиями; основоположником исследований стал русский палеонтолог И. А. Ефремов, использовавший этот термин для обозначения последовательности превращения живых объектов в часть литосферы, т. е. ископаемые<sup>1</sup>.

В 1942–1946 гг. при участии профессора М. И. Райского, М. Я. Никитина, И. Ф. Огаркова были изучены образцы почв из братских могил жертв блокады Ленинграда, сделаны выводы о соответствии характеристик почв и посмертных изменений. Следует отметить, что это исследование ставило перед собой цель не изучить динамику посмертных изменений тканей, а обеспечить безопасность в местах массовых захоронений на городской территории. Авторы пришли к выводам, что при захоронении тел в возвышенной, хорошо аэрируемой, рыхлой почве, при низком стоянии грунтовых вод, отсутствии на телах одежды процессы гниения протекают с быстрой скоростью, сопоставимой с индивидуальными захоронениями в отведенных местах. Напротив, на низинных участках с высоким стоянием грунтовых вод, а также при захоронении в более глубоких горизонтах почвы указанные процессы протекают медленнее. В ходе наблюдений установлено, что характер разложения тканей трупов различался в первую очередь в зависимости от типа почвы, при этом, быстрее всего разложение происходило в сухом песчаном грунте<sup>2</sup>.

В палеобиологии тафономия рассматривается как «изучение процессов сохранения и того, как они влияют на объект» (Беренсмайер и Кидвелл, 1985) [21]. В настоящее время суть тафономии определяется областью науки, в которой используются знания о видоизменении тканей живых объектов: в археологии Ренфрю и Бан в 1991 г. описали тафономию как «оценку того, что произошло с объектом или организмом в период между его захоронением и обнаружением»<sup>3</sup>. Согласно судебнo-медицинскому определению, данному Хаглундом и Соргом (1997), судебная тафономия — это использование моделей биологических тка-

<sup>1</sup> Efremov I. A. Taphonomy: New Branch of Paleontology // Pan-American Geologist. 1940. Vol. 74. P. 81–93. URL: <https://clck.ru/3RAaGd> (date of access: 30.12.2025).

<sup>2</sup> Никитин М. Я. Интенсивность разложения трупов при погребении в братских и индивидуальных могилах // Гигиена и санитария. 1948. № 11. С. 16–18. URL: <https://clck.ru/3RAAwy> (дата обращения: 30.12.2025).

<sup>3</sup> Renfrew C., Bahn P. Archaeology. Theories, Methods and Practice. London : Thames & Hudson Ltd, 1991. 544 p.

ней и внешней среды, подходов и методов анализа в судебно-медицинском контексте для оценки времени, прошедшего с момента смерти, восстановления обстоятельств, предшествовавших разложению, и отделения продуктов человеческой деятельности от продуктов, созданных биологическими, физическими, химическими и геологическими подсистемами Земли<sup>1</sup>. Современные исследования в области тафономии человека в первую очередь относятся к судебной антропологии.

Тафономия — новая дисциплина, экспериментальные исследования в которой начались несколько десятков лет назад. Первая специализированная исследовательская площадка «ферма тел» создана в 1981 г. в Ноксвилле, в Университете Теннесси, антропологом, доктором У. Бэссом в целях всестороннего и последовательного изучения разложения тела человека, т. к. данные об изменении тканей в посмертном периоде опирались на эпизодические наблюдения археологов и судебно-медицинских экспертов. Нередко результаты исследований носили противоречивый характер, а оценка посмертного интервала при выраженных поздних изменениях была скорее предположительной, не подтвержденной систематизированными фактами<sup>2</sup>. Ключевым вызовом в подходе к интерпретации посмертного интервала стала смена описательного подхода на экспериментальный. Признание тафономии человека в качестве легитимной научной области происходило медленно [22]. За последние полтора десятилетия количество исследовательских центров по всему миру выросло (достигает 12); они расположены в США, Канаде и Австралии. В центрах выполняются долгосрочные наблюдения за останками людей и животных в контролируемых условиях [23, 24].

В 1970–1980-е гг. формируется понимание комплексного характера влияния средовых факторов. Роль температуры в разложении биологических тканей многогранна, но в первую очередь подчиняется общему правилу Вант-Гоффа: скорость биохимических реакций регулируется температурой — как правило, она увеличивается в два-три раза при повышении температуры на каждые 10 °С<sup>3</sup>. Температура среды влияет также и на активность насекомых, увеличивая их численность, разнообразие и скорость развития, в то время как при температуре, близкой к 0 °С, личинки многих насекомых погибают [25, 26]. Для оценки действия температуры в течение периода времени оценивают накопленные телом «градусо-дни» (*англ.* accumulated degree days) — показатель рассчитывается путем суммирования среднесуточных температур, превышающих базовую температуру, за определенный период времени [27–29]. Одним из влияющих на деятельность насекомых факторов является влажность — активность разрушения тела насекомыми во влажной среде выше: установлено, что во время откладывания яиц мухи избегают высохших останков (согласно Кампобассо и др., 2001). Кроме того, обнаружена отрицательная корреляция между особенностями жизненного цикла (например, скоростью развития, продолжительностью личиночной стадии, размером личинок и сухой массой взрослых особей) и снижением уровня влажности пищи у взрослых особей мясной мухи [30, 31]. Влажность и содержание воды в почве также влияют на активность микроорганизмов, регулируя диффузию кислорода, питательных веществ

<sup>1</sup> Sorg M. H., Haglund W. D. Advancing Forensic Taphonomy: Purpose, Theory and Process // *Advances in Forensic Taphonomy. Method, Theory and Archaeological Perspectives* / Ed. by W. D. Haglund, M. H. Sorg. Boca Raton : CRC Press, 1997.

<sup>2</sup> *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment* / Ed. by E. M. J. Schotsmans, N. M. Grant, S. L. Forbes. Chichester ; Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2017. XXXI, 509 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118953358>.

<sup>3</sup> Gill-King H. Chemical and Ultrastructural Aspects of Decomposition // *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains*. Boca Raton : CRC Press. P. 93–108.

и отходов в конкретной среде, следовательно, способствуя или препятствуя подвижности микроорганизмов. Сезонные изменения температуры, влажности и других климатических характеристик определяют разный темп и характер разложения в разное время года [32, 33].

Захоронения, в отличие от разложения на поверхности, препятствуют доступу позвоночных падальщиков и насекомых, а также смягчают перепады температур в зависимости от глубины, что замедляет процесс разложения [34]. Условия захоронения, в т. ч. глубина, структура и состав почвы, уровень рН, гидрология участка, биогеохимия/экология почвы и другие эдафические факторы, влияют на скорость и траекторию разложения [35]. Анаэробные условия и отсутствие кислорода способствуют разложению с помощью менее эффективных микроорганизмов и могут способствовать сохранению тканей за счет образования жировых отложений [36, 37]. Уровень рН почвы также может ограничивать активность микроорганизмов: более кислые почвы способствуют росту грибков, в то время как бактерии более активны в нейтральных или слабощелочных почвах<sup>1</sup>. На скорость и характер разложения также влияет место захоронения. При меньших колебаниях температуры и ограниченном доступе насекомых и падальщиков к телам, разлагающимся в помещении, насекомые заселяют их с меньшей вероятностью, разнообразие насекомых отличается, а период высыхания тел становится более продолжительный [38]. Благодаря стабильной температуре насекомые могут оставаться на теле дольше, гнилостная эмфизема может сохраняться длительный период, особенно зимой, когда низкие температуры ограничивают активность бактерий [39].

Современный этап исследований характеризуется междисциплинарным подходом и использованием высокоточных аналитических методов. Развитие молекулярной биологии позволило изучать динамику микробных сообществ, ассоциированных с разложением и уточнять посмертный интервал на основе полученных данных [40]. С накоплением экспериментальных данных встал вопрос об их систематизации, превращении полученных сведений в практические рекомендации, учитывающие все возможные внешние условия, связанные с тканями трупа и окружающей его средой. Достичь точности выводов о давности смерти можно при количественном измерении исследуемых переменных и влияющих на их преобразование факторов, математическом описании их характеристик, определении погрешности и последующей проверке точности на независимых материалах [41]. Одним из современных инструментов, способствующих накоплению, обработке и преобразованию больших объемов экспериментальных данных, являются программы, использующие машинное обучение. В этих технологиях сложные модели и алгоритмы способны обучаться и выполнять когнитивные задачи, что позволяет получать конкретное решение, особенно в условиях неочевидности, при наличии многих факторов, влияющих на изменение объекта исследования [42].

С накоплением знаний о закономерностях разложения биологических объектов стало ясно, что с течением времени в процессе взаимодействия тела и среды преобразования происходят и в самой среде. Современные данные говорят о том, что первично после помещения тела в почву происходит ее стремительное и «разрушительное» обогащение питательными веществами, ведущее к нарушению экологии микроорганизмов и снижению биоразнообразия [43]. В различных типах почв около трупа изначально преобладает одна и та же микрофлора, преимущественно представленная бактериями групп *Actinobacteria*, *Gammaproteobac-*

<sup>1</sup> Forbes S. L., Carter D. O. Processes and Mechanisms of Death and Decomposition of Vertebrate Carrion // Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications. Boca Raton : CRC Press, 2016. P. 13–30.

*teria* и *Bacilla*. Все эти группы микроорганизмов широко распространены как в кишечнике человека, так и на мухах-некрофагах, что оставляет открытым вопрос об их происхождении. В дальнейшем при нахождении останков в почве соотношение микроорганизмов будет зависеть от множества факторов, перечень которых в настоящее время постоянно уточняется. В целом с развитием гнилостных процессов происходит смена оппортунистических аэробных редуцентов на анаэробные микроорганизмы с уменьшением темпа их размножения. В ходе исследований установлена прямая корреляция между количеством  $\gamma$ -протеобактерий в почве и первоначальной массой трупа, а также между количеством осадков и количеством актинобактерий [44, 45]. Сам процесс разложения тела в почве оказывает влияние на ее состав в виде повышения значения рН, содержания азота и фосфора и приводит к формированию «острова разложения», что может использоваться для определения давности смерти [46]. Следует отметить, что кислые почвы (рН < 5,0) тормозят бактериальное разложение ввиду ингибирования многих ферментов микрофлоры, но могут способствовать химической деградации коллагена кожи, в то время как нейтральные и слабощелочные среды (рН 6,5–8,0) оптимальны для развития гнилостной микрофлоры. Влияние на микробиом и скорость разложения могут оказывать непосредственно физические условия грунта, о чем свидетельствуют результаты исследования Д. Картера (2010), который доказал, что основным физическим фактором, определяющим скорость разложения, является потенциал (или же давление) почвенной влаги — относительное уменьшение давления жидкости в почве по сравнению с чистой водой, потенциал которой равен 0. При помещении трупов грызунов вне зависимости от грунта скорость разложения тел была выше в условиях более низкого потенциала влаги, т.е. в более влажных условиях [47]. С. Фидлер и др. (англ. S. Fiedler et al.) при исследовании образцов почв из могил, в которых произошло образование жировоска, обнаружили, что эти почвы характеризовались меньшей объемной плотностью и рН, что привело к меньшей микробной биомассе в изучаемых образцах. Авторы исследования связали изменение характеристик почв с повышением уровня грунтовых вод [48].

Современная тафономия активно использует широкий спектр инструментальных методов исследования. Для оценки деструкции костной ткани, а также волокон коллагена и эластина применяются гистологический и гистохимический анализы. Ультраструктурные изменения, вызванные разложением, изучают с помощью сканирующей электронной микроскопии. Для исследования химических последствий распада, в частности липидного профиля и состава жировых отложений, используются инфракрасная спектроскопия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и газовая хроматография — масс-спектрометрия. Эти методы позволяют отслеживать посмертную динамику концентрации фосфатидилглицерина — ключевого компонента цитоплазматической мембраны. Анализ состава окружающей почвы включает в себя определение концентрации углерода методом каталитического окисления (сжигания), азота — методом хемилюминесцентного анализа, а также нитратов, аммиака и фосфатов — колориметрическим методом. Характеристика микробных сообществ, в т.ч. подсчет определенных микроорганизмов, проводится с помощью метагеномного анализа, секвенирования и количественной полимеразной цепной реакции. Отдельную важную группу составляют энтомологические исследования, поскольку видовой состав и обилие членистоногих на месте захоронения не только специфичны, но и напрямую влияют на характер посмертной деструкции останков.

Несмотря на стремительное развитие тафономии в последние десятилетия, на сегодняшний день имеется ряд вопросов, вызывающих дискуссии как в профессиональном су-

дебно-медицинском сообществе, так и среди ученых других научных направлений. Первый вопрос — юридический. В разных странах статус трупа имеет отличия, для использования мертвого тела в исследовательских целях необходимо наличие разных документов. Например, в России труп человека может быть использован для научных исследований только при его прижизненном согласии, либо если труп оказался не востребовавшимся — при этом родственники должны оформить письменный отказ; неопознанные же трупы запрещено передавать для научных целей до истечения срока не востребоваваемости в количестве 6 месяцев<sup>1</sup>. В Великобритании тело человека традиционно не рассматривается как объект права собственности (*англ.* nullius in bonis). Однако судебная практика допускает, что отделенные части тела могут быть объектами права собственности, если они использованы для определенных целей (например, трансплантации, выделения дезоксирибонуклеиновой кислоты или в качестве доказательства в суде). Это создает неоднозначность в правовом регулировании использования останков для тафономических исследований. Закон о человеческих тканях 2004 г. (*англ.* Human Tissue Act 2004) регулирует использование биоматериалов в медицинских и научных целях: для этого требуется согласие источника (прижизненное или посмертное, если оно было выражено) [49]. В Великобритании и Нидерландах создана инициативная группа UNDER<sup>2</sup> по экспериментальному изучению разложения на базе тафономического центра ARISTA<sup>3</sup> и обмену полученными данными между исследовательскими учреждениями, образовательными организациями и полицейскими службами, объединившая 18 европейских организаций [50]. В связи с острой общественной полемикой тафономический центр в Великобритании создан не был, инициативная группа UNDER из британских и нидерландских ученых использует в качестве научной базы тафономический центр в Амстердаме. Аналогичная ситуация сложилась в Индии. В Нидерландах действует закон о погребении и кремации (*нидер.* Wet op de Lijkbezorging), который определяет три возможных способа законного направления трупа: захоронение, кремация и передача в дар науке (статьи 1 и 67). Для каждого из этих способов требуется специальный сертификат, выдаваемый местными властями после смерти человека. Для передачи тела в дар науке требуется сертификат на упокоение, условием получения которого является письменное заверенное согласие заинтересованного лица до его смерти. Также такой сертификат может быть получен по доверенности ближайшими родственниками, либо по доверенности от умершего человека. Однако, как показывает практика, большинство медицинских учебных заведений неохотно принимает такие пожертвования, поскольку нет четкой уверенности в желании донора. К тому же в каждом из восьми голландских университетов, в которых есть медицинские факультеты, действует собственная программа донорства органов (*англ.* body donation program). В рамках этих программ регистрируется от 2 000 до 6 000 человек, что гарантирует от 70 до 200 донорских тел в год, — это обеспечивает достаток объектов для обучения и ис-

<sup>1</sup> О погребении и похоронном деле : Федер. закон от 12 янв. 1996 г. № 8. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <https://clck.ru/3RAgfx> (дата обращения: 05.01.2026) ; Об утверждении Правил передачи не востребовавшегося тела, органов и тканей умершего человека для использования в медицинских, научных и учебных целях, а также использования не востребовавшегося тела, органов и тканей умершего человека в указанных целях : постановление Правительства РФ от 21 июня 2012 г. № 750. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: <https://clck.ru/3RAGRd> (дата обращения: 05.01.2026).

<sup>2</sup> UNDER — Экспериментальное исследование разложения (Великобритания — Нидерланды) (*англ.* The United Kingdom-Netherlands Decomposition Experimental Research).

<sup>3</sup> ARISTA — Амстердамская исследовательская инициатива по подповерхностной тафономии и антропологии (*англ.* Amsterdam Research Initiative for Sub-surface Taphonomy and Anthropology).

следований в последние десятилетия в исследовательских учреждениях в Нидерландах [51]. В большинстве штатов США, где созданы и активно развиваются «фермы тел», для передачи трупа для научных исследований необходимо прижизненное согласие. Для этой процедуры в научных организациях действуют программы Body Bequest (от *англ.* — завещание тела), пропагандирующие практику завещания тела для научных исследований. В Новой Зеландии действует закон о тканях человека, по которому согласие на передачу тела помимо самого донора должен дать еще и один из ближайших родственников; если согласие в силу отказа родственников или их отсутствия получить не удастся, тело для исследований не передается. Похожие правовые нормы действуют в Швейцарии — в федеральной конституции закреплено требование добровольного согласия на исследование после смерти, при этом личный интерес человека превалирует над общественной и научной пользой; однако, по мнению швейцарских исследователей, несмотря на юридические трудности, практика передачи тел науке широко распространена. Программы по завещанию тел учебным и исследовательским учреждениям в разных странах действуют схожим образом: человек, изъявивший желание, обращается в соответствующую научную организацию, оформляет согласие на передачу своего тела, в свою очередь, организация обследует человека на пригодность его тела для исследования, при положительном результате вносит подробные данные о нем в картотеку, уточняет адрес проживания, предоставляет вознаграждение и в случае смерти человека организует скорейшую доставку его тела в свой морг для дальнейшего использования в соответствии с юридическими и этическими нормами. Большинство отличий в подобных программах затрагивает лишь формы подачи согласия и вознаграждение лиц, которые могут распоряжаться телом.

Зарубежная практика передачи тел для исследований с юридической стороны значительно отличается от российской: во всех странах для передачи тела для исследований, в т. ч. тафономических, требуется строгое добровольное согласие человека при жизни. Разница между странами заключается в личностном интересе донора тела и в вопросах финансирования: широко распространенные за границей программы донорства тел и органов имеют большие фонды для вознаграждения желающих пожертвовать тело науке, тогда как в России отсутствие вознаграждения от принимающей тело организации закономерно снижает интерес к такой практике, включающей в себя, кроме прочего, оформление множества документов. Более того, фонды финансирования программ по донорству тел располагают средствами для организации транспортировки и хранения тел, создания картотеки; в свою очередь, отсутствие таких средств во многих организациях России создает дополнительные сложности для «принятия тела в дар», даже при наличии юридически оформленного согласия донора.

Вследствие сложности получения тел во многих странах для тафономических исследований ученые находят другие модельные объекты млекопитающих — за период с 2012 по 2016 г. в 35,3 % в качестве модели в тафономических исследованиях использовались крысы, а в 29,3 % — свиньи. Подобный подход связан среди прочего с этическим контекстом: захоронение мертвых животных и систематическое изучение трупа не рассматриваются как некорректное обращение в случае его захоронения и наблюдения за разложением [52]. Однако в сравнительных исследованиях активно обсуждается вопрос о реальной схожести процессов, происходящих с человеческим телом и телом животного, — животные намного реже страдают соматическими заболеваниями и вредными привычками, которые могут изменять особенности разложения: сахарным диабетом, почечной недостаточ-

стью, курением, ожирением и др. Животные имеют отличные от человека размеры и массу, рацион и анатомические особенности желудочно-кишечного тракта, что влияет на темп разложения; танатогенез в зависимости от причины смерти у модельных животных и людей отличается. Этические проблемы касаются и самих животных — в 69 % судебно-медицинских экспериментов животных убивают специально для опыта [53]. Исследование, проведенное в Австралийском тафономическом центре, расположенном на окраине Сиднея (Новый Южный Уэльс), выявило, что в условиях этой местности, где располагается центр при сравнении разложения трупов людей и свиней быстрее наступило скелетирование свиней, в то время как люди подвергались мумификации [54]. Ввиду разной толщины кожи и подкожной клетчатки свиней и людей выявлены отличия в теплоотдаче и разложении трупа между двумя видами [55]. В образцах почв, взятых из-под трупов людей и свиней, наблюдаются противоположные изменения химических характеристик, таких как pH, активность аммония и протеаз [56].

Для установления давности криминальных захоронений и давности наступления смерти одним из перспективных направлений является применение искусственного интеллекта. Использование нейросетевых алгоритмов позволяет повысить точность и объективность таких исследований, а также сократить время анализа сложных биологических и морфологических данных. Вместе с тем стремительное развитие этих методов обостряет вопросы конфиденциальности, защиты данных, алгоритмической предвзятости и надежности систем. Непрозрачность работы алгоритмов (проблема «черного ящика») требует обеспечения прозрачности и подотчетности для сохранения доверия к расследованиям [57, 58]. Ключевыми направлениями, нуждающимися в первоочередном внимании, остаются этические и правовые нормы, междисциплинарное взаимодействие, подготовка кадров, сохранность данных, стандартизация, контроль со стороны человека, влияние на общество и устойчивое развитие [59, 60].

Стоит учитывать, что случайная выборка трупов людей отличается от популяции по многим параметрам, включая возраст, наличие заболеваний и вредных привычек, которые влияют на темп и характер разложения и полученные в эксперименте данные не позволяют экстраполировать их на реальные ситуации. Используя трупы животными с однородными характеристиками, можно нивелировать влияние этого фактора на результат эксперимента. Учитывая многие обозначенные выше юридические проблемы получения человеческих тел для исследований, исследователи свиных моделей указывают, что эксперименты на свиньях имеют ряд преимуществ — воспроизводимы в большем количестве и связаны с меньшими затратами. Человеческие тела сложнее подбирать по характеристикам. Более того, для целей эксперимента допустимо оказывать внешнее воздействие на свиней для моделирования условий, например, использовать различную одежду и гробы, вводить свиньям определенные лекарственные препараты, гипотетически воздействующие на скорость и характер разложения, наносить экспериментальные повреждения, чего невозможно делать с людьми. Сравнительные исследования трупов свиней и людей показали, что фауна насекомых на них в значительной степени совпадает [61, 62].

Существует промежуточная позиция исследователей, которая говорит о том, что решение о модельном объекте необходимо принимать, анализируя цель, задачи, методы исследования. Например, при исследовании микробиома трупа не выявлено значительных различий между телами. Так, трупы мышей были полезны для демонстрации применения

микробиологических методов, трупы кроликов — в энтомологических исследованиях для оценки энтомофауны, первой заселяющей труп [63, 64]. Для изучения поздней энтомофауны сопоставим с человеком по объему объект — домашние свиньи [65]. При изучении теплообменных процессов можно использовать модельный объект, подходящий по массе и площади поверхности, не останавливаясь на подборе прочих характеристик. Использование в некоторых исследованиях в качестве модельных объектов трупов животных помогает с меньшими затратами формулировать гипотезы, которые в дальнейшем можно подтвердить или опровергнуть, используя малое количество тканей человека [66–68].

### Заключение

Проведенный анализ демонстрирует актуальность изучения закономерностей разложения человеческого тела, современные методы исследований и проблемы, связанные с тафономическими исследованиями. От эмпирических наблюдений прошлого научное сообщество перешло к попыткам создания сложных прогностических моделей, основанных на комплексном учете физико-химических и биологических параметров среды, а также характеристик трупа. Несмотря на стремительное развитие тафономии и внедрение современных методов в исследования, проблемы, связанные с юридическими и этическими сторонами изучения трупа, использованием животных в качестве модели тела человека, остаются нерешенными.

Учет внешних факторов, особенно характеристик почвенной среды, является необходимым условием повышения точности установления давности наступления смерти и реконструкции обстоятельств в судебно-медицинской практике, что будет повышать эффективность работы судебно-медицинской службы в целях принятия правомерных решений следствием и судом. Ключевой задачей в исследованиях процесса разложения является количественная оценка и учет всех источников изменчивости, существующих в этом процессе. Основой достоверных данных представляется мультидисциплинарный подход в тафономических исследованиях, представляющий возможность точного определения давности криминальных захоронений и наступления смерти.

### Список источников | References

1. Franceschetti L, Amadasi A, Bugelli V, Bolsi G, Tsokos M. Estimation of late postmortem interval: Where do we stand? A literature review. *Biology*. 2023;12(6):783. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12060783>.
2. Lavrukova OS, Polyakov AY, Beraya RF. Modern ideas about the staging of decomposition and the possibilities of forensic medical reconstruction of the conditions of the post-mortem period. *Bulletin of Saint Petersburg University. Medicine*. 2023;18(4):385–396. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.404>.
3. Dolgova OB, Romodanovsky PO. Historical prerequisites for the formation of a quality control system for forensic medical examinations. *Ural Medical Journal*. 2023;22(3):145–155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52420/2071-5943-2023-22-3-145-155>.
4. Ostanin DV, Dolgova OB, Nozhkina NV, Loktionov KP. The historical evolution of the legal regulation of the examination of a corpse at the scene. *Ural Medical Journal*. 2025;24(5):98–115. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.24.5.98>.
5. Ostanin DV, Dolgova OB, Nozhkina NV, Loktionov KP. The improvement of the activities of forensic experts during the examination of the crime scene based on digital technologies. *Ural Medical Journal*. 2025;24(6):19–29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.24.6.19>.
6. Wescott DJ. Recent advances in forensic anthropology: Decomposition research. *Forensic Sciences Research*. 2018;3(4):327–342. DOI: <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1488571>.
7. Magni PA, Lawn Jessica, Guareschi EE. A practical review of adipocere: Key findings, case studies and operational considerations from crime scene to autopsy. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2021;78:102–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2020.102109>.

8. Lanzinger N, Verhoff MA, Birngruber CG, Lutz L. Factors influencing the progression of post-mortem changes between scene and autopsy. *Scientific Reports*. 2026;16(1):1950. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-026-35786-x>.
9. Lavrukova OS, Lyabzina SN, Prikhodko AN, Sidorova NA, Basalaev KV. On the issue of studying decomposition of carcasses. *Journal of Biomedical Technologies*. 2016;(1):16–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15393/j6.art.2016.3482>.
10. Teo CH, Hing HL, Hamzah NH, Hamzah SPAA. The effect of different coverings on total body score development of buried carcasses. *The Malaysian Journal of Medical Sciences*. 2021;28 (4):103–112. DOI: <https://doi.org/10.21315/mjms2021.28.4.11>.
11. Nkhoma TB, Rakopoulou GD, Fortney SH, Wescott DJ, Spradley KM, Dadour IR. A synopsis of two decades of arthropod related research at the forensic anthropology research facility (FARF), Texas State University (TXST), San Marcos, Texas, USA. *Insects*. 2025;16(9):897. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects16090897>.
12. Baldino G, Mondello C, Sapienza D, Stassi C, Asmundo A, Gualniera P, et al. Multidisciplinary forensic approach in “complex” bodies: Systematic review and procedural proposal. *Diagnostics*. 2023;13(2):310. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13020310>.
13. Mustafina GR, Kuznetsov KO, Kosobutskaya SA, Sokolovskiy MA, Semenova AI, Korotun VN. Innovative strategies for estimating the postmortem interval in forensic practice: Multiomics, artificial intelligence, and hybrid models (a review). *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2025;11(3):276–288. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16307>.
14. Kitova AO. Mummification in ancient Egypt: History of study and modern research methods. *Egypt and Neighbouring Countries*. 2016;(4):31–41. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/YPLVFD>.
15. Kitov EP, Beisenov AZ. Skulls with trepanations from the early iron age mounds of Saryarka. *Moscow University Anthropology Bulletin*. 2015;(1):37–48. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/TMEWTX>.
16. Petrov VI, Panteleeva NV. Forensic medicine: The history of its formation as an applied science in law enforcement practice. *Military Medicine*. 2020;(3):71–73. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/KSNQCW>.
17. Izutkin DA. The history of the formation of the foundations of scientific anatomy. *Medical Almanac*. 2017;47(2):38–41. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/YQECKX>.
18. Pashinyan GA, Barinov EK, Romodanovsky PO. The role of I. V. Buyalsky in the development of forensic medicine in Russia. *Problems of Medical Expertise*. 2001;1(3–3):39–42. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ONJRIN>.
19. Baliso A, Heathfield LJ, Gibbon EV. Informing regional taphonomy research using retrospective forensic anthropology cases in the Western Cape, South Africa. *Science and Justice — Journal of the Forensic Science Society*. 2023;63(2):164–172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2022.12.003>.
20. Klotzbach H, Krettek R, Bratzke H, Puschel K, Zehner R, Amendt J. The history of forensic entomology in German-speaking countries. *Forensic Science International*. 2004;144(2–3):259–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.04.062>.
21. Behrensmeyer AK, Kidwell SM. Taphonomy’s contributions to paleobiology. *Paleobiology*. 1985;11(1):105–119. Available from: <https://clck.ru/3RABLE> (accessed 30 December 2025).
22. Aparin BP. V. V. Dokuchaev’s natural science paradigm. *Live and Bio-Abiotic Systems*. 2016;(16):1. EDN: <https://elibrary.ru/WZTKMV>.
23. Rudden S. Body farms: A field of opportunity. *COMPASS: The Student Anthropology Journal of Alberta*. 2023;3(2):119–132. DOI: <https://doi.org/10.29173/comp75>.
24. Byard RW. Body farms — characteristics and contributions. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2017;13(4):473–474. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-017-9912-3>.
25. Varlert V, Charles J, Forbes SL, Grabherr S. Revolution in death sciences: Body farms and taphonomics blooming. A review investigating the advantages, ethical and legal aspects in a Swiss context. *International Journal of Legal Medicine*. 2020;134(5):1875–1895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02272-6>.
26. Campobasso CP, Vella GD, Introna F. Factors affecting decomposition and diptera colonization. *Forensic Science International*. 2001;120(1–2):18–27. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(01\)00411-x](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(01)00411-x).
27. Wydra J, Smaga L, Matuszewski S. Interval estimation of thermal summation parameters in forensically important insects. *Scientific Reports*. 2025;15(1):36038. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19926-3>.
28. Metcalf JL, Xu ZZ, Weiss S, Lax S, Teuren WV, Hyde ER, et al. Microbial community assembly and metabolic function during mammalian corpse decomposition. *Science*. 2016;351(6269):158–162. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aad2646>.
29. Connor M, Baigent C, Hansen ES. Measuring desiccation using qualitative changes: A step toward determining regional decomposition sequences. *Journal of Forensic Sciences*. 2019;64(4):1004–1011. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14003>.
30. Aitkenhead-Peterson JA, Owings CG, Alexander MB, Larison N, Bytheway JA. Mapping the lateral extent of human cadaver decomposition with soil chemistry. *Forensic Science International*. 2012;216(1–3):127–134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.09.007>.

31. Megyesi MS, Nawrocki SP, Haskell NH. Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *Journal of Forensic Sciences*. 2005;50(3):618–626. DOI: <https://doi.org/10.1016/10.1520/JFS2004017>.
32. Bauer A, Bauer AM, Tomberlin JK. Impact of diet moisture on the development of the forensically important blow fly *Cochliomyia macellaria* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae). *Forensic Science International*. 2020;312:110333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110333>.
33. Strete G, Salcudean A, Cozma AA, Radu CC. Current understanding and future research direction for estimating the postmortem interval: A systematic review. *Diagnostics*. 2025;15(15):1954. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15151954>.
34. Carter DO, Orimoto A, Gutierrez CA, Ribereau-Gayon A, Pecsí EL, Perrault KA, et al. A synthesis of carcass decomposition studies conducted at a tropical (Aw) taphonomy facility: 2013–2022. *Forensic Science International. Synergy*. 2023;7:100–345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2023.100345>.
35. Bachmann A, Simmons T. The influence of preburial insect access on the decomposition rate. *Journal of Forensic Sciences*. 2010;55(4):893–900. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01403.x>.
36. Troutman L, Moffatt C, Simmons T. A preliminary examination of differential decomposition patterns in mass graves. *Journal of Forensic Sciences*. 2014;59(3):621–626. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12388>.
37. Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Die Naturwissenschaften*. 2007;94(1):12–24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0159-1>.
38. Fiedler S, Graw M. Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere. *Die Naturwissenschaften*. 2003;90(7):291–300. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-003-0437-0>.
39. Anderson GS. Comparison of decomposition rates and faunal colonization of carrion in indoor and outdoor environments. *Journal of Forensic Sciences*. 2011;56(1):136–142. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01539.x>.
40. Ceciliason AS, Andersson MG, Anders L, Sandler H. Quantifying human decomposition in an indoor setting and implications for postmortem interval estimation. *Forensic Science International*. 2018;283:180–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.12.026>.
41. Hyde ER, Haarmann DP, Lynne AM, Bucheli SR, Petrosino JF. The living dead: Bacterial community structure of a cadaver at the onset and end of the bloat stage of decomposition. *PLoS One*. 2013;8(10):e77733. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077733>.
42. Miles KL, Finaughty DA, Gibbon VE. A review of experimental design in forensic taphonomy: Moving towards forensic realism. *Forensic Science Research*. 2020;5(4):249–259. DOI: <https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1792631>.
43. Pecsí EL, Forbes S, Guillemette F. Organic matter composition as a driver of soil bacterial responses to pig carcass decomposition in a Canadian continental climate. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2024;129(12):e2024JG008355. DOI: <https://doi.org/10.1029/2024JG008355>.
44. Tkhakakhov AA. On the classification and terminology of cadaveric phenomena. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2021;7(4):45–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/fm413>.
45. Pittner S, Bugelli V, Benbow ME, Ehrenfellner B, Zissler A, Campobasso CP, et al. The applicability of forensic time since death estimation methods for buried bodies in advanced decomposition stages. *Public Library of Science One*. 2020;15(12):e0243395. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243395>.
46. Singh B, Minick KJ, Strickland MS, Wickings KG, Crippen TL, Tarone AM, et al. Temporal and spatial impact of human cadaver decomposition on soil bacterial and arthropod community structure and function. *Frontiers of Microbiology*. 2018;8:2616. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02616>.
47. Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M. Moisture can be the dominant environmental parameter governing cadaver decomposition in soil. *Forensic Science International*. 2010;200(1–3):60–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.03.031>.
48. Fiedler S, Schnekenberger K, Graw M. Characterization of soils containing adipocere. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2004;47(4):561–568. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-004-3237-4>.
49. Trubina VA. Biological materials: Ownership issues. practice of foreign countries. *Legislation*. 2017;(5):80–86. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ZWLYCP>.
50. Brooks J, Jantzi A, Brown K, Birch W, Nijeholt LLA, Rogers C, et al. Establishing a Pan-European, multi-disciplinary taphonomic research infrastructure: The ‘UK-Netherlands decomposition experimental research (UNDER) Group’. *Science and Justice — Journal of the Forensic Science Society*. 2025;65(1):62–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2024.12.007>.
51. Oostra RJ, Gelderman T, Groen WJM, Uiterdijk HG, Cammeraat ELH, Krap T, et al. Amsterdam Research Initiative for Sub-surface Taphonomy and Anthropology (ARISTA) — a taphonomic research facility in the Netherlands for the study of human remains. *Forensic Science International*. 2020;317:110483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110483>.

52. Black S. Body farms. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2017;13(4):475–476. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-017-9917-y>.
53. Cattaneo C, Maderna E, Rendinelli A, Gibelli D. Animal experimentation in forensic sciences: How far have we come? *Forensic Science International*. 2015;254:29–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.06.024>.
54. Dawson BM, Barton PS, Wallman JF. Contrasting insect activity and decomposition of pigs and humans in an Australian environment: A preliminary study. *Forensic Science International*. 2020;316:110515. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110515>.
55. Dawson BM, Wallman JF, Barton PS. How does mass loss compare with total body score when assessing decomposition of human and pig cadavers? *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2022;18(3):343–351. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-022-00481-65>.
56. DeBruyn JM, Hoeland KM, Taylor LS, Stevens JD, Moats MA, Bandopadhyay S, et al. Comparative decomposition of humans and pigs: Soil biogeochemistry, microbial activity and metabolomic profiles. *Frontiers of Microbiology*. 2021;11:608–856. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.608856>.
57. Tynan P. The integration and implications of artificial intelligence in forensic science. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2024;20(3):1103–1105. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-023-00772-6>.
58. Dolgova OB, Yakimova YG, Saylor PA, Kondrashov DL, Shabunina-Basok NR. Applications of neural networks in forensic medicine. *Ural Medical Journal*. 2025;24(6):120–135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.24.6.120>.
59. Kokin AV. Forensic expertise in the era of the fourth industrial revolution (Industry 4.0). *Theory and Practice of Forensic Science*. 2021;16(2):29–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2021-2-29-36>.
60. Hmyz AI. Using the power of artificial intelligence in judicial expertise. *Bulletin of Economic Security*. 2022; (5):224–227. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2414-3995-2022-5-224-227>.
61. Schoenly KG, Haskell NH, Hall RD, Gbur JR. Comparative performance and complementarity of four sampling methods and arthropod preference tests from human and porcine remains at the forensic anthropology center in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*. 2007;44(5):881–894. DOI: [https://doi.org/10.1603/0022-2585\(2007\)44\[881:cpacof\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0022-2585(2007)44[881:cpacof]2.0.co;2).
62. Berhardt V, Schomerus C, Verhoff MA, Amendt J. Of pigs and men—comparing the development of *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) on human and porcine tissue. *International Journal of Legal Medicine*. 2017;131(3):847–853. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1487-0>.
63. Pechal JL, Crippen TL, Benbow ME, Tarone AM, Tomberlin JK. The potential use of bacterial community succession in forensics as described by high throughput metagenomic sequencing. *International Journal of Legal Medicine*. 2014;128(1):193–205. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0872-1>.
64. Bray SK, Conlan XA, Harvey ML. Decomposition of partially submerged remains: A study on the reliability of insect colonisation for PMI/PMSI estimation. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2024;21:532–538. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-024-00871-y>.
65. Matuszewski S, Fraczak K, Konwerski S, Bajerlein D, Szpila K, Jarmusz M, et al. Effect of body mass and clothing on carrion entomofauna. *International Journal of Legal Medicine*. 2016;130(1):221–232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1145-y>.
66. 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. *International Journal of Legal Medicine*. 2020;134(2):793–810. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02074-5>.
67. Dawson BM, Ueland M, Carter DO, McIntyre D, Barton PS. Bridging the gap between decomposition theory and forensic research on postmortem interval. *International Journal of Legal Medicine*. 2024;138(2):509–518. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-023-03060-8>.
68. Ikpa, J, Umana U, Timbuak J, Obun C, Ema E, Omuh M. The concept of forensic taphonomy: Understanding the postmortem processes of dead remains. *Journal of Experimental and Clinical Anatomy*. 2024;21(2):409–417. DOI: <https://doi.org/10.4314/jeca.v21i2.36>.

### Информация об авторах

**Дмитрий Валерьевич Останин** ✉ — аспирант и ассистент кафедры патологической анатомии и судебной медицины, институт клинической медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: [ostanindmitry@mail.ru](mailto:ostanindmitry@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2314-1176>

**Оксана Борисовна Долгова** — доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой патологической анатомии и судебной медицины, институт клинической медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: obdolgova@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3709-1546>

**Ростислав Русланович Гарипов** — ординатор кафедры патологической анатомии и судебной медицины, институт клинической медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: lipidodon@yandex.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7835-6840>

**Юлия Геннадьевна Якимова** — ассистент кафедры патологической анатомии и судебной медицины, институт клинической медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: yakimova\_juli@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7232-5473>

**Ольга Анатольевна Некрасова** — кандидат биологических наук, доцент, доцент департамента наук о Земле и космосе, институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.

E-mail: o\_nekr@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3260-6440>

**Антон Павлович Учаев** — кандидат биологических наук, доцент, доцент департамента наук о Земле и космосе, институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.

E-mail: Anton.Uchaev@urfu.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7670-0084>

#### Information about the authors

**Dmitry V. Ostanin** ✉ — Postgraduate Student and Assistant of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, Institute of Clinical Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: ostanindmitry@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2314-1176>

**Oksana B. Dolgova** — Doctor of Sciences (Medicine), Associate Professor, Head of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, Institute of Clinical Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: obdolgova@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3709-1546>

**Rostislav R. Garipov** — Resident of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, Institute of Clinical Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: lipidodon@yandex.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7835-6840>

**Yulia G. Yakimova** — Assistant of the Department of Pathological Anatomy and Forensic Medicine, Institute of Clinical Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: yakimova\_juli@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7232-5473>

**Olga A. Nekrasova** — Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Associate Professor of Department of Earth and Space Sciences, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: o\_nekr@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3260-6440>

**Anton P. Uchaev** — Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Associate Professor of Department of Earth and Space Sciences, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: Anton.Uchaev@urfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7670-0084>

Рукопись получена: 26 февраля 2026. Одобрена после рецензирования: 25 марта 2026. Принята к публикации: 12 мая 2026.

Received: 26 February 2026. Revised: 25 March 2026. Accepted: 12 May 2026.