

СУДЕБНАЯ МЕДИЦИНА

УДК 340.624.6

Современные представления о стадировании разложения и возможностях судебно-медицинской реконструкции условий посмертного периода**О. С. Лаврукова¹, А. Ю. Поляков², Р. Ф. Берая²*¹ Петрозаводский государственный университет,
Российская Федерация, 185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33² Бюро судебно-медицинской экспертизы,
Российская Федерация, 185003, Петрозаводск, ул. Варкауса, 3а

Для цитирования: Лаврукова О. С., Поляков А. Ю., Берая Р. Ф. Современные представления о стадировании разложения и возможностях судебно-медицинской реконструкции условий посмертного периода // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2023. Т. 18. Вып. 4. С. 385–396. <https://doi.org/10.21638/spbu1.2023.404>

Продолжительность разложения колеблется в очень широких границах: от нескольких месяцев до нескольких сотен и тысяч лет. В статье проведен аналитический обзор работ, посвященных процессам, протекающим в мертвом теле, стадированию разложения и возможностям судебно-медицинской реконструкции условий посмертного периода, в том числе установлению продолжительности постмортального интервала. Представлен современный подход к рассмотрению посмертных изменений, свидетельствующий о том, что установление соответствия патоморфологии разложения тканей трупа и лежащих в ее основе абиотических и биотических факторов может являться обоснованием реально существующих его стадий. Однако характеристики деструкции мертвых тел зависят от ряда факторов, совместно действующих на труп и зачастую каталитически или ингибирующе действующих друг на друга. Все эти изменения при возможности их всестороннего анализа (учета многочисленных факторов, влияющих на их динамику) играют важнейшую роль в установлении продолжительности постмортального интервала.

Ключевые слова: труп, разложение, условия посмертного периода, давность наступления смерти, современный подход.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (РНФ) № 23-25-10061, проводимого совместно с Республикой Карелия и финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия.

Разложение трупа — процесс длительный во времени и относится к числу необратимых, так как обусловлен естественной необходимостью в природной рециркуляции питательных веществ, находящихся в мертвой органике [1]. Важно понимать, что разложение трупа — комплексный процесс, хотя обычно его ассоциируют только с гниением. Науке достаточно хорошо известны изменения на макроуровне, которым подвергается мертвое тело [2, 3]. Отдельные индивидуальные особенности означенного процесса, возникающие под воздействием специфики внешних условий, хорошо объясняются с точки зрения поэтапности его развития [4]. Так, низкие температуры приводят к приостановке деятельности всех живых организмов, участвующих в разложении мертвого органического вещества, но при этом продолжают разрушаться биологические мембраны. И если во внешней среде произойдут изменения, то в последующем микроорганизмы свободно распространятся по всему телу и запустят процессы гниения по взрывному типу. Именно этот феномен лежит в основе такого явления, как стремительное разложение тел, долгое время пробывших в воде или подвергшихся промерзанию/размораживанию. Тем не менее в природе посмертное преобразование трупа человека — многогранный процесс, обусловленный биотическими факторами и регулируемый обширной группой живых организмов (не только микроорганизмами, но и насекомыми, а также различными позвоночными животными). По этой причине называть изменения мертвого тела только гниением не совсем корректно.

Специалисты уже давно установили наличие связи между скоростью утилизации мягких тканей трупа и присутствием на мертвом теле специализированной группы некрофильных насекомых. Выявлено, что пищеварительные ферменты, выделяемые этими насекомыми, ускоряют процессы разложения [5–8]. Иными словами, если у насекомых есть доступ к мертвой органике, последняя разрушится значительно скорее, нежели в том случае, если тело будет находиться вне доступа мух и жуков.

В настоящее время в основном биологами выделяется от двух до пяти этапов разложения трупа с участием некрофильных насекомых. Но есть и иное мнение. Оно заключается в том, что любое деление процесса разложения на этапы имеет достаточно произвольный характер и осуществляется главным образом для удобства исследователя. На самом же деле четко выделить какие бы то ни было этапы в ходе разложения органического вещества невозможно — процесс этот непрерывен и четких границ между этапами нет [9, 10].

Немаловажную роль в темпе и продолжительности разложения играют физические факторы окружающей среды. Их влияние носит обычно опосредованный характер, замедляя или ускоряя активность биологического компонента. Это в основном связано с температурой и в меньшей мере — с влажностью окружающей среды.

Низкая температура окружающей среды может останавливать разрушающее действие насекомых на любой стадии их развития: яиц, личинок, куколок и имаго. То же касается и микробов. С наступлением комфортной температуры развитие насекомых и микроорганизмов возобновляется вновь.

Разные виды некрофагов могут действовать параллельно (в теплое время — микробы, насекомые, мелкие грызуны, падальщики), в зимнее время действие ми-

крофлоры и насекомых прекращается. Этот феномен открывает возможность для установления сезона года, когда труп появился в окружающей среде.

Пробывание мертвого тела в сухих природных условиях, в повышенной влажности или воде приводит к развитию консервирующих («поздних») трупных явлений: мумификации, жировоску. Это приводит соответственно к изменению естественной последовательной смены видов насекомых, например к раннему появлению на мумифицированном трупе жуков-кожеедедов.

Вполне очевидно, что после природных пожаров или при попытках преднамеренного сожжения трупов исследователи могут столкнуться с наличием на трупе необычных видов насекомых и микробов-некрофагов. Изменять взаимодействие биологических тканей с микрофлорой и энтомофауной может также бальзамация трупа, выполненная для достижения кратковременного или пролонгированного консервирующего эффекта.

На процесс взаимодействия биологического агента с тканями мертвого тела могут влиять и глубина захоронения трупа, и глубина его погружения в водоем, и животный мир водоема, и т. д. Такое большое разнообразие факторов, которые прямо или косвенно, постоянно или временно воздействуют на процесс разрушения трупа, требует какого-то упорядочения. Попытки упорядочивания стадий деградации мертвого органического вещества предпринимались не раз. Различные авторы закладывали в основу вычленения этих стадий разные характеристики — микробиологические, биохимические и т. п. [11–18]. Однако вне зависимости от признаков, взятых в качестве идентификационного критерия стадии, все исследователи были едины в наличии начальной стадии разложения и стадии скелетирования трупа (разложение в условиях отсутствия воды). Анализ путрификационных процессов показал также наличие стадий разрушения мягких тканей (относительно коротких по времени) и стадий разложения костных останков, продолжительность которых может исчисляться сотнями лет.

Крайне мало в специальной литературе данных об особенностях путрификации в воде [19, 20]. При работе с трупами, пробывшими долгое время в воде, главной целью анализа обычно является установление факта утопления. Иногда доступны данные о случаях повреждения трупов рыбами и водяными животными, но как именно применяется в судебно-медицинской практике эта информация, упоминаний практически нет. Для более полного понимания процесса необходимо проведение полноценных исследований по изучению особенностей путрификации трупов в разнообразных типах водоемов.

В целом информация по стадированию разложения трупа с учетом его биологической составляющей приводится в основном специалистами биологического профиля, и для судебно-медицинских экспертов она не совсем пригодна, так как не соотносит патоморфологию деградации тканей с прикладными целями, а именно с диагностикой давности наступления смерти и реконструкцией условий посмертного периода [21].

В судебно-медицинской науке и практике пока не утвердилась какая-либо строгая система стадирования разложения трупа, взглядов на патоморфологию стадий и на причины их смены. Чаще всего говорят о выделении ранних и поздних постмортальных изменений, начинающихся развиваться непосредственно после наступления биологической смерти, и описывают каждое из этих изменений

отдельно. Так, традиционно выделяются в числе ранних трупных явлений такие, как появление трупных пятен, снижение температуры тела, высыхание, окоченение и аутолиз; в числе поздних трупных явлений — такие, как гниение, мумификация, образование жировоска, торфяное дубление, повреждение трупов животными и растениями [22].

Можно констатировать, что данная общепринятая классификация трупных явлений базируется на макроскопических, видимых невооруженным глазом изменениях, происходящих с трупом (либо на отсутствии таких изменений). Эти трансформации являются обязательными для фиксации: принято полагать, что появление тех или иных трупных явлений имеет место в определенное время и в определенной последовательности. В специальной литературе можно найти конкретные описания начала и степени развития тех или иных изменений в условиях «стандартной» внешней среды. При этом за «стандарт» берутся температурные условия $18 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха в диапазоне 40–70 %.

Специалисты не называют каких-либо определенных границ начала и завершения как раннего, так и позднего постмортального периода. На практике обычно считается, что ранний длится в течение одних-трех суток. Границы же окончания позднего постмортального периода могут колебаться от нескольких лет до нескольких сотен лет. И чем больше времени прошло с момента наступления смерти, тем сложнее определить временные интервалы этого момента.

Деление на ранние и трупные явления, несомненно, было удобно для суждения о давности наступления смерти, как удобно для применения и в настоящее время. Однако, по нашему мнению, в настоящее время они более подходят для быстрого, но достаточно поверхностного и обладающего крайне низкой точностью суждения о продолжительности посмертного периода. Этими признаками удобно пользоваться на месте обнаружения трупа, либо при судебно-медицинском его исследовании, осмотр которого на месте обнаружения не проводился, а смерть наступила в условиях неочевидности.

Но данный подход рождает и массу вопросов. Так, к поздним трупным явлениям согласно ему относят гниение. Но тот факт, что первые макроскопически видимые проявления гниения наблюдаются на трупе через более-менее длительный промежуток времени от момента умирания (в зависимости от тех условий, в которых находится труп) не говорит о том, что пока этих проявлений нет, оно не происходит, в том числе параллельно с ранними изменениями на трупе. Если рассматривать такое явление, как разрушение трупа животными, то на основании чего мы относим его к поздним трупным явлениям? Разве животные, будь то, например, некрофильные насекомые или позвоночные-падальщики, обязаны ждать, когда у трупа проявятся все ранние трупные явления?

Таким образом, согласно литературным данным, четкой последовательности стадий разложения трупа (ни с общебиологической, ни с судебно-медицинской точки зрения) нет. В аспекте практических целей судебно-медицинской экспертизы представляется целесообразной периодизация на основе патоморфологии разложения тканей трупа с пониманием причин смены тех или иных стадий и соответственно методов диагностики давности наступления смерти.

Сегодня накопленные знания позволяют рассмотреть иной подход к посмертным изменениям, являющимся совокупными, с большим спектром вариабельно-

сти их условий, а само понятие «постмортальный период» носит качественный характер, начиная с момента наступления биологической смерти до разрушения последней структурной единицы мертвого тела. Вышесказанное сильно влияет на макроскопические изменения тканей трупа в каждом конкретном случае: или позволяет максимально сократить вычисляемый промежуток давности наступления смерти, предположить/установить возможность посмертного перемещения тела, или задает направление, по которому необходимо проводить научные изыскания.

Все посмертные изменения, проходящие в мертвых телах после наступления смерти, условно можно разделить на две большие группы. Это изменения, происходящие под действием биотических (живых организмов) и/или абиотических факторов (всех элементов неживой природы). Именно от баланса факторов из этих групп будет зависеть, по какому пути будут развиваться посмертные изменения трупа и какие из «классических» трупных явлений будут преобладать или, наоборот, отсутствовать.

Каждую из этих двух больших групп можно разделить на подгруппы. Так, к абиотическим считаем нужным отнести физические и химические факторы. К физическим относятся температура и влажность окружающей среды, наличие и количество ветра и осадков, давление, воздействие атмосферного или технического электричества. Сюда же, вероятно, следует отнести наличие и количество одежды на трупе. К химическим факторам относятся концентрации химических веществ в среде нахождения трупа (воде, воздухе и почве), уровень рН, концентрация обычно несвойственных организму химических веществ в тканях трупа (различного вида ядов, которые могут консервировать труп). Объективизация влияния комплекса физико-химических факторов на процесс разложения трупов требует дополнительного междисциплинарного изучения.

К биотическим факторам относится воздействие живых организмов. В первую очередь это различного вида микроорганизмы. Причем они могут быть как пришедшими на мертвое тело, так и оставшимися от живого. В свою очередь, «прижизненные» бактерии могут относиться как к нормальному микробиому организма, так и к появившимся при жизни в результате инфекционных заболеваний. Также к биотическим факторам относятся насекомые, мелкие и крупные позвоночные животные [23–25].

Труп является богатым источником питательных веществ. И многие живые организмы конкурируют за данный трофический ресурс. Например, заселяющие труп микроорганизмы ведут борьбу за место и пищу с организмами, бывшими в организме при его жизни [26, 27]. Помимо этого, в ходе метаболизма они совместно выделяют побочные продукты [28], даже в небольшом количестве и на значительном удалении сигнализирующие некрофильным видам беспозвоночных о наличии пищи [29].

С момента появления на трупе беспозвоночных борьба за ресурсы начинается как между ними, так и между микроорганизмами и беспозвоночными [30, 31], а деструкция тканей трупа существенно ускоряется за счет кормления их личинок [32, 33]. Кроме того, летучие вещества могут привлекать к трупу и позвоночных-падальщиков, которые тоже включаются в конкурентную борьбу за питательные вещества. Все эти «конкуренты» своей жизнедеятельностью влияют друг на друга. Так, микробиом трупа использует химические соединения для от-

пугивания ракообразных в морских экосистемах, а некоторые виды некрофильных жуков продуцируют противомикробные соединения для защиты падали от разложения микробами.

Природные условия влияют на сдвиг приоритетов в сторону одной из этих конкурентных групп. В частности, температурный режим между +21 и +38 °С благоприятен для размножения микробов и беспозвоночных, но неприятен для позвоночных. Присутствие вблизи трупа позвоночного животного, который эффективно утилизирует мертвую ткань, может значительно повлиять на результаты конкуренции между организмами в отношении питательных веществ.

Конкурентные успехи борьбы за труп также могут объясняться различиями условий среды обитания на уровне микробиотопа. На одном и том же участке исследования позвоночные-мусорщики играли более важную роль в разрушении падали при ее нахождении в низинных листовых местах, чем в горных областях, покрытых хвойными лесами. А например, тела, расположенные в глубине рыхлых почв, разлагаются быстрее весной и летом на полусухих участках, хотя, по данным судебно-медицинской литературы, чаще всего захоронение трупа отрицательно коррелирует со скоростью его деструкции [34, 35]. Таким образом, большая часть посмертных изменений начинает развиваться одновременно и сразу после наступления смерти, а часть из них связана с непосредственным воздействием биотических и абиотических факторов. Установление соответствия патоморфологии разложения тканей трупа и лежащих в ее основе абиотических и биотических факторов может являться обоснованием реально существующих стадий этого процесса.

Из изложенного выше весь процесс разрушения мертвого тела можно условно поделить на три стадии. Первая — стадия, в которой макроскопически видимые признаки разложения/деструкции отсутствуют («скрытая» стадия). Здесь наиболее информативны «классические» методы определения давности наступления смерти — термометрия, определение степени выраженности и этапности трупного окоченения, исследование стадии развития трупных пятен.

Вторая — стадия разложения/деструкции мягких тканей. Здесь, кроме «классических», в данном случае малоинформативных методов определения давности наступления смерти, следует использовать и дополнительные способы, позволяющие объективизировать конкретную продолжительность постмортального периода, в том числе энтомологические, биофизические и микробиологические. Третья — стадия разложения/деструкции костной ткани, где наиболее информативными для определения давности наступления смерти представляются микробиологические исследования.

Несомненно, что продолжительность стадий может сильно варьировать в зависимости от доступности трупа для некробионтов, наличия на теле повреждений, сопровождающихся наружным кровотечением, абиотических факторов. Кроме того, использование дополнительных способов также имеет свои ограничения. Например, энтомологические исследования не применимы в зимний период, при муфификации трупа и состоянии жировоска.

Конечный вывод о давности наступления смерти делает судебно-медицинский эксперт, используя доступный арсенал традиционных методов судебно-медицинской оценки трупных явлений и опираясь на данные, полученные в результате дополнительных, уточняющих исследований. Результатом использования данного

подхода является сужение интервала давности наступления смерти при деструктивных изменениях трупа до 2–4 недель.

С данной точки зрения рационален комплексный подход к изучению вопроса установления давности наступления смерти, накопление сведений о качественных и количественных характеристиках разложения мертвого органического вещества с перспективой дальнейшей разработки системы, способной не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над известными судебно-медицинским экспертам данными, но и самой анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, производить прогнозирование и т. д., в том числе с использованием нейронной сети [36, 37].

Таким образом, в отличие от широко распространенного мнения, точно установить давность наступления смерти нельзя, кроме тех случаев, когда имеется неоспоримое доказательство конкретного момента времени. Накопленные знания свидетельствуют, что установление соответствия патоморфологии разложения тканей трупа и лежащих в ее основе абиотических и биотических факторов может являться обоснованием реально существующих его стадий. Однако характеристики деструкции мертвых тел зависят от ряда факторов, совместно действующих на труп и зачастую каталитически или ингибирующе действующих друг на друга. Все эти изменения при возможности их всестороннего анализа (учета многочисленных факторов, влияющих на их динамику) играют важнейшую роль в установлении продолжительности постмортального интервала.

Литература

1. *Matuszewski S.* A general approach for postmortem interval based on uniformly distributed and interconnected qualitative indicators // *Int. J. Legal Med.* 2017. Vol. 131 (3). P.877–884. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1520-3>
2. *Лябзина С. Н., Лаврукова О. С., Приходько А. Н., Азовский А. И., Попов В. Л.* Энтомокомплекс трупов крупных животных и особенности их разложения на севере европейской части России // *Зоологический журнал.* 2019. Т. 98 (6). С. 616–627. <https://doi.org/10.1134/s0044513419040093>
3. *Лаврукова О. С., Попов В. Л., Лябзина С. Н., Сидорова Н. А., Приходько А. Н.* Изменение температуры трупа в процессе его разложения (экспериментальное исследование) // *Судебно-медицинская экспертиза.* 2017. Т. 60 (3). С. 19–22.
4. *Diez Lopez C., Vidaki A., Kayser M.* Integrating the human microbiome in the forensic toolkit: Current bottlenecks and future solutions // *Forensic Sci. Int. Genet.* 2022. Vol. 56. P.102627. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102627>
5. *Wells J. D.* A forensic entomological analysis can yield an estimate of postmortem interval, and not just a minimum postmortem interval: An explanation and illustration using a case // *J. Forensic Sci.* 2019. Vol. 64, no. 2. P. 634–637. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13912>
6. *Lutz L., Zehner R., Verhoff M. A., Bratzke H., Amendt J.* It is all about the insects: A retrospective on 20 years of forensic entomology highlights the importance of insects in legal investigations // *Int. J. Legal Med.* 2021. Vol. 135, no. 6. P. 2637–2651. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02628-6>
7. *Mikuláš L., Kutišová D., Šikuta J., Kuruc R., Šidlo J.* Aspects of forensic entomology in forensic medicine // *Soud Lek.* 2021. Vol. 66, no. 3. P. 39–42.
8. *Guimarães S. E. F., Steindorff G. S., de Lima Bicho C., Farias R. C. A. P., Vasconcelos S. D.* Forensic entomology in research and practice: An overview of forensic experts' perceptions and scientific output in Brazil // *Int. J. Legal Med.* 2022. Vol. 136, no. 4. P. 1149–1161. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02836-8>
9. *Лябзина С. Н.* Некробионты Севера европейской части России и их судебно-медицинское значение. Петрозаводск: ПетрГУ, 2019. 160 с.

10. Ren L.P., Shang Y.J., Guo Y.D. Progress and application of entomological evidence in forensic science // *Fa Yi Xue Za Zhi*. 2021. Vol.37, no. 3. P.295–294. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2020.401001>
11. Abe H., Yajima D., Hoshioka Y., Nara A., Nagasawa S., Iwase H. Myoglobinemia markers with potential applications in forensic sample analysis: Lipid markers in myoglobinemia for postmortem blood // *Int. J. Legal Med.* 2017. Vol. 131, no. 6. P.1739–1746. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1657-8>
12. Adserias-Garriga J., Quijada N.M., Hernandez M., Rodriguez-Lazaro D., Steadman D., Garcia-Gil J. Dynamics of the oral microbiota as a tool to estimate time since death // *Mol. Oral Microbiol.* 2017. Vol. 32, no. 6. P.511–516. <https://doi.org/10.1111/omi.12191>
13. Ali M.M., Ibrahim S.F., Fayed A. A. Using skin gene markers for estimating early postmortem interval at different temperatures // *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 2017. Vol. 38, no. 4. P.323–325. <https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000337>
14. DeBruyn J. M., Hauther K. A. Postmortem succession of gut microbial communities in human cadavers // *Peer J*. 2017. Vol. 5. P.e3437.
15. Zhang J., Li B., Wang Q., Li C., Zhang Y., Lin H., Wang Z. Characterization of postmortem biochemical changes in rabbit plasma using ATR-FTIR combined with chemometrics: A preliminary study // *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2017. Vol. 173. P.733–739. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.10.041>
16. Listos P., Gryzinska M., Batkowska J., Dylewska M., Dudzińska E., Piórkowski J. Preliminary study on the estimation of the time of death in animals based on microflora development in a dog's gastrocnemius muscle // *Medycyna Weterynaryjna*. 2017. Vol. 73, no. 4. P.229–233. <https://doi.org/10.21521/mw.5677>
17. Preiswerk D., Walser J.C., Ebert D. Temporal dynamics of microbiota before and after host death // *ISME J*. 2018. Vol. 12. P.2076–2085. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0157-2>
18. Woydt L., Bernhard M., Kirsten H., Burkhardt R., Hammer N., Gries A., Drefßler J., Ondruschka B. Intra-individual alterations of serum markers routinely used in forensic pathology depending on increasing post-mortem interval // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8, no. 1. P.12811. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31252-5>
19. Anderson G. S., Bell L. S. Comparison of faunal scavenging of submerged carrion in two seasons at a depth of 170 m, in the Strait of Georgia, British Columbia // *Insects*. 2017. Vol. 8, no. 1. P.33. <https://doi.org/10.3390/insects8010033>
20. Guo J.J., Fu X.L., Cai J.F. Research progress of aquatic corpse decomposition and postmortem submersion interval estimation // *Fa Yi Xue Za Zhi*. 2019. Vol.35. P.459–466. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2019.04.016>
21. Volckaert H. Current applications and limitations of forensic entomology // *Themis: Research Journal of Justice Studies and Forensic Science*. 2020. Vol. 8. <https://doi.org/10.31979/THEMIS.2020.0804>
22. Путинцев В. А., Богомолов Д. В., Богомолова И. Н., Денисова О. П. Определение длительности и темпа умирания (наступления смерти) по морфологическим признакам: методические рекомендации. М.: РИЦМЭ, 2017. 32 с.
23. Fusco N. A., Zhao A., Munshi J. Urban forests sustain diverse carrion beetle assemblages in the New York City metropolitan area // *Peer J*. 2017. Vol. 5. P.e3088. <https://doi.org/10.7717/Peerj.3088>
24. Shao S., Yang L., Hu G., Li L., Wang Y., Tao L. Application of omics techniques in forensic entomology research // *Acta Trop.* 2023. Vol.246. P.106985. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2023.106985>
25. Mashaly A. M. A. Carrion beetles succession in three different habitats in Riyadh, Saudi Arabia // *Saudi J. Biol. Sci.* 2017. Vol. 24, no. 2. P.430–435. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.015>
26. Dash H. R., Das S. Microbial community signatures for estimation of postmortem time intervals // *Adv. Appl. Microbiol.* 2022. Vol. 118. P.91–113. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2022.02.002>
27. Javan G. T., Finley S. J., Tuomisto S., Hall A., Benbow M. E., Mills D. An interdisciplinary review of the thanatomicrobiome in human decomposition // *Forensic Sci. Med. Pathol.* 2019. Vol. 15. P.75–83. <https://doi.org/10.1007/s12024-018-0061-0>
28. Сидорова Н. А., Попов В. Л., Лаврукова О. С., Приходько А. Н., Лябзина С. Н., Тихомирова Е. И. Специфика путрификации трупа под действием ферментных систем некробиома // Судебно-медицинская экспертиза. 2017. Т. 60 (5). С. 18–22. <https://doi.org/10.17116/sudmed201760518-22>
29. Viero A., Montisci M., Pelletti G., Vanin S. Crime scene and body alterations caused by arthropods: Implications in death investigation // *Int. J. Legal Med.* 2019. Vol. 133. P.1–10. <https://doi.org/10.1007/s00414-018-1883-8>

30. Shukla S. P., Vogel H., Heckel D. G., Vilcinskas A., Kaltenpoth M. Burying beetles regulate the microbiome of carcasses and use it to transmit a core microbiota to their offspring // *Mol. Ecol.* 2017. Vol. 27, no. 8. P. 1–12. <https://doi.org/10.1111/mec.14269>
31. Wang Z., Zhang F., Wang L., Yuan H., Guan D., Zhao R. Advances in artificial intelligence-based microbiome for PMI estimation // *Front. Microbiol.* 2022. Vol. 13. P. 1034051. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1034051>
32. Prasad A. A., Meena S. K. Succession of forensically important Coleopterans from Southern Rajasthan: A preliminary study and their forensic relevance // *Research Square*. URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-1355209/v1> (дата обращения: 10.09.2023).
33. Amendt J. Forensic entomology // *Forensic sciences research*. 2017. Vol. 3, no. 1. P. 1. <https://doi.org/10.1080/20961790.2017.1403081>
34. Vanin S., Huchet J. B. Forensic entomology and funerary archaeoentomology: Forensic analysis of the dead and the depositional environment // *Taphonomy of human remains. Forensic analysis of the dead and the depositional environment*. [S.l.]: Wiley, 2017. P. 167–186. <https://doi.org/10.1002/9781118953358>
35. Wells J., LaMotte L. The role of a PMI-prediction model in evaluating forensic entomology experimental design, the importance of covariates, and the utility of response variables for estimating time since death // *Insects*. 2017. Vol. 8, no. 2. P. 47. <https://doi.org/10.3390/insects8020047>
36. Денисов Ю. Д., Лапина И. А., Омелянюк Г. Г., Хазиев Ш. Н. Традиционные подходы и инновации в судебно-экспертной деятельности // *Теория и практика судебной экспертизы*. 2023. Т. 18. С. 78–88.
37. Fang Y. T., Lan Q., Xie T., Liu Y. F., Mei S. Y., Zhu B. F. New opportunities and challenges for forensic medicine in the era of artificial intelligence technology // *Fa Yi Xue Za Zhi*. 2020. Vol. 36, no. 1. P. 77–85. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2020.01.016>

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2023 г.;
рекомендована к печати 10 декабря 2023 г.

Контактная информация:

Лаврукова Ольга Сергеевна — д-р мед. наук, доц.; olgalavrukova@yandex.ru
Поляков Алексей Юрьевич — polyakowalexey@gmail.com
Берая Роман Федорович — beraya_rf@zdrav10.ru

Modern ideas about the stages of decomposition and the possibilities of forensic reconstruction of the conditions of the postmortem period*

O. S. Lavrukova¹, A. Yu. Polyakov², R. F. Beraya²

¹ Petrozavodsk State University,
33, pr. Lenina, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation

² Bureau of Forensic Medical Examination,
3а, ul. Varkausa, Petrozavodsk, 185003, Russian Federation

For citation: Lavrukova O. S., Polyakov A. Yu., Beraya R. F. Modern ideas about the stages of decomposition and the possibilities of forensic reconstruction of the conditions of the postmortem period. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2023, vol. 18, issue 4, pp. 385–396. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.404> (In Russian)

The decomposition of a corpse is a long process in time and is one of the irreversible, as it is due to the natural need for the natural recycling of nutrients in dead organic matter

* The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation (RSF) no. 23-25-10061, conducted jointly with the Republic of Karelia and funded by the Venture Investment Fund of the Republic of Karelia.

(dead bodies of humans and animals). The duration of decomposition varies within very wide boundaries: from several months to several hundred and thousands of years. The article conducted an analytical review of works on the processes occurring in the dead body, the staging of decomposition, and the possibilities of forensic medical reconstruction of the conditions of the postmortem period, including the establishment of the duration of the post-mortal interval. A modern approach to the consideration of postmortem changes is presented, indicating that establishing the conformity of the pathomorphology of the decomposition of corpse tissues and its underlying abiotic and biotic factors can be a justification for its actual stages. However, the degradation characteristics of dead bodies depend on a number of factors acting together on the corpse and often catalytically or inhibitory acting on each other. All these changes, with the possibility of their comprehensive analysis (taking into account numerous factors affecting their dynamics), play a crucial role in establishing the duration of the postmortal interval.

Keywords: corpse, decomposition, stages, conditions of the post-mortem period, age of death, modern approach.

References

1. Matuszewski S. A general approach for postmortem interval based on uniformly distributed and interconnected qualitative indicators. *Int. J. Legal. Med.*, 2017, vol. 131, no. 3, pp. 877–884. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1520-3>
2. Lyabzina S. N., Lavrukova O. S., Prikhod'ko A. N., Azovskii A. I., Popov V. L. An entomological complex of large animal corpses and the peculiarities of their decomposition in northern European Russia. *Zoologicheskii Zhurnal*, 2019, vol. 98, no. 6, pp. 616–627. <https://doi.org/10.1134/s0044513419040093> (In Russian)
3. Lavrukova O. S., Popov V. L., Lyabzina S. N., Sidorova N. A., Prikhod'ko A. N. The changes in the temperature of a corpse in the course of its decomposition (an experimental study). *Sudebno-Meditsinskaya Ekspertisa*, 2017, vol. 60, no. 3, pp. 19–22. <https://doi.org/10.17116/sudmed201760319-22> (In Russian)
4. Diez Lopez C., Vidaki A., Kayser M. Integrating the human microbiome in the forensic toolkit: current bottlenecks and future solutions. *Forensic Sci. Int. Genet.*, 2022, vol. 56, p. 102627. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102627>
5. Wells J. D. A forensic entomological analysis can yield an estimate of postmortem interval, and not just a minimum postmortem interval: An explanation and illustration using a case. *J. Forensic Sci.*, 2019, vol. 64, no. 2, pp. 634–637. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13912>
6. Lutz L., Zehner R., Verhoff M. A., Bratzke H., Amendt J. It is all about the insects: a retrospective on 20 years of forensic entomology highlights the importance of insects in legal investigations. *Int. J. Legal. Med.*, 2021, vol. 135, no. 6, pp. 2637–2651. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02628-6>
7. Mikuláš L., Kutířová D., Šikuta J., Kuruc R., Šidlo J. Aspects of forensic entomology in forensic medicine. *Soud Lek.*, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 39–42.
8. Guimarães S. E. F., Steindorff G. S., de Lima Bicho C., Farias R. C. A. P., Vasconcelos S. D. Forensic entomology in research and practice: An overview of forensic experts' perceptions and scientific output in Brazil. *Int. J. Legal Med.*, 2022, vol. 136, no. 4, pp. 1149–1161. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02836-8>
9. Lyabzina S. N. *Necrobionts of the north of the European part of Russia and their forensic significance*. Petrozavodsk, PetrGU Press, 2019, 160 p. (In Russian)
10. Ren L. P., Shang Y. J., Guo Y. D. Progress and application of entomological evidence in forensic science. *Fa Yi Xue Za Zhi*. 2021, vol. 37, no. 3, pp. 295–294. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2020.401001>
11. Abe H., Yajima D., Hoshioka Y., Nara A., Nagasawa S., Iwase H. Myoglobinemia markers with potential applications in forensic sample analysis: Lipid markers in myoglobinemia for postmortem blood. *Int. J. Legal. Med.*, 2017, vol. 131, no. 6, pp. 1739–1746. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1657-8>
12. Adserias-Garriga J., Quijada N. M., Hernandez M., Rodriguez-Lazaro D., Steadman D., Garcia-Gil J. Dynamics of the oral microbiota as a tool to estimate time since death. *Mol. Oral Microbiol.*, 2017, vol. 32, no. 6, pp. 511–516. <https://doi.org/10.1111/omi.12191>

13. Ali M. M., Ibrahim S. F., Fayed A. A. Using skin gene markers for estimating early postmortem interval at different temperatures. *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, 2017, vol. 38, no. 4, pp. 323–325. <https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000337>
14. DeBruyn J. M., Hauther K. A. Postmortem succession of gut microbial communities in human cadavers. *Peer J.* 2017, vol. 5, e3437.
15. Zhang J., Li B., Wang Q., Li C., Zhang Y., Lin H., Wang Z. Characterization of postmortem biochemical changes in rabbit plasma using ATR-FTIR combined with chemometrics: A preliminary study. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 2017, vol. 173, pp. 733–739. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.10.041>
16. Listos P., Gryzinska M., Batkowska J., Dylewska M., Dudzińska E., Piórkowski J. Preliminary study on the estimation of the time of death in animals based on microflora development in a dog's gastrocnemius muscle. *Medycyna Weterynaryjna*, 2017, vol. 73, no. 4, pp. 229–233. <https://doi.org/10.21521/mw.5677>
17. Preiswerk D., Walser J. C., Ebert D. Temporal dynamics of microbiota before and after host death. *ISME J.*, 2018, vol. 12, pp. 2076–2085. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0157-2>
18. Woydt L., Bernhard M., Kirsten H., Burkhardt R., Hammer N., Gries A., Dreßler J., Ondruschka B. Intra-individual alterations of serum markers routinely used in forensic pathology depending on increasing post-mortem interval. *Sci. Rep.*, 2018, vol. 8, no. 1, p. 12811. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31252-5>
19. Anderson G. S., Bell L. S. Comparison of faunal scavenging of submerged carrion in two seasons at a depth of 170 m, in the strait of Georgia, British Columbia. *Insects*, 2017, vol. 8, no. 1, p. 33. <https://doi.org/10.3390/insects8010033>
20. Guo J. J., Fu X. L., Cai J. F. Research progress of aquatic corpse decomposition and postmortem submersion interval estimation. *Fa Yi Xue Za Zhi*, 2019, vol. 35, pp. 459–466. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2019.04.016>
21. Volckaert H. Current applications and limitations of forensic entomology. Themis: Research. *Journal of Justice Studies and Forensic Science*, 2020, vol. 8. <https://doi.org/10.31979/THEMIS.2020.0804>
22. Putintsev V. A., Bogomolov D. V., Bogomolova I. N., Denisova O. P. *Determination of the duration and rate of dying (death) based on morphological characteristics: Methodological recommendations*. Moscow, RTsSME Publ., 2017, 32 p. (In Russian)
23. Fusco N. A., Zhao A., Munshi J. Urban forests sustain diverse carrion beetle assemblages in the New York City metropolitan area. *Peer J.* 2017, vol. 5, e3088. <https://doi.org/10.7717/Peerj.3088>
24. Shao S., Yang L., Hu G., Li L., Wang Y., Tao L. Application of omics techniques in forensic entomology research. *Acta Trop.*, 2023, vol. 246, p. 106985. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2023.106985>
25. Mashaly A. M. A. Carrion beetles succession in three different habitats in Riyadh, Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.*, 2017, vol. 24, no. 2, pp. 430–435. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.015>
26. Dash H. R., Das S. Microbial community signatures for estimation of postmortem time intervals. *Adv. Appl. Microbiol.*, 2022, vol. 118, pp. 91–113. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2022.02.002>
27. Javan G. T., Finley S. J., Tuomisto S., Hall A., Benbow M. E., Mills D. An interdisciplinary review of the thanatomicrobiome in human decomposition. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2019, vol. 15, pp. 75–83. <https://doi.org/10.1007/s12024-018-0061-0>
28. Sidorova N. A., Popov V. L., Lavrukova O. S., Prikhod'ko A. N., Lyabzina S. N., Tikhomirova E. I. The specific features of corpse putrefaction under the influence of necrobiome enzymatic systems. *Sudebno-Meditsinskaya Ekspertisa*, 2017, vol. 60, no. 5, pp. 18–22. <https://doi.org/10.17116/sudmed201760518-22> (In Russian)
29. Viero A., Montisci M., Pelletti G., Vanin S. Crime scene and body alterations caused by arthropods: implications in death investigation. *Int. J. Legal. Med.*, 2019, vol. 133, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00414-018-1883-8>
30. Shukla S. P., Vogel H., Heckel D. G., Vilcinskis A., Kaltenpoth M. Burying beetles regulate the microbiome of carcasses and use it to transmit a core microbiota to their offspring. *Mol. Ecol.*, 2017, vol. 27, no. 8, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1111/mec.14269>
31. Wang Z., Zhang F., Wang L., Yuan H., Guan D., Zhao R. Advances in artificial intelligence-based microbiome for PMI estimation. *Front. Microbiol.*, 2022, vol. 13, p. 1034051. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1034051>
32. Prasad A. A., Meena S. K. Succession of forensically important Coleopterans from Southern Rajasthan: A preliminary study and their forensic relevance. *Research Square*. Available at: <https://www.research-square.com/article/rs-1355209/v1> (accessed: 10.09.2023).

33. Amendt J. Forensic entomology. *Forensic sciences research*, 2017, vol. 3, no. 1, p. 1. <https://doi.org/10.1080/20961790.2017.1403081>
34. Vanin S., Huchet J. B. Forensic entomology and funerary archaeoentomology: Forensic analysis of the dead and the depositional environment. *Taphonomy of human remains. Forensic analysis of the dead and the depositional environment*. [S. l.], Wiley, 2017, pp. 167–186. <https://doi.org/10.1002/9781118953358>
35. Wells J., LaMotte L. The role of a PMI-prediction model in evaluating forensic entomology experimental design, the importance of covariates, and the utility of response variables for estimating time since death. *Insects*, 2017, vol. 8, no. 2, p. 47. <https://doi.org/10.3390/insects8020047>
36. Denisov Yu. D., Lapina I. A., Omel'yanyuk G. G., Khaziev S. N. Traditional approaches and innovations in forensic activities. *Theory and Practice of Forensic Science*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 78–88. <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2023-2-78-88> (In Russian)
37. Fang Y. T., Lan Q., Xie T., Liu Y. F., Mei S. Y., Zhu B. F. New opportunities and challenges for forensic medicine in the era of artificial intelligence technology. *Fa Yi Xue Za Zhi*, 2020, vol. 36, no. 1, pp. 77–85. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2020.01.016>

Received: September 23, 2023

Accepted: December 10, 2023

Authors' information:

Olga S. Lavrukova — Dr. Sci. in Medicine, Associate Professor; olgalavrukova@yandex.ru

Aleksei Yu. Polyakov — polyakowalexey@gmail.com

Roman F. Beraya — beraya_rf@zdrav10.ru