

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДА РАСЧЕТА НАКОПЛЕННЫХ ГРАДУСО-ДНЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОСМЕРТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТКАНЕЙ СЕРДЦА

<sup>1</sup>Кобзев А. М., <sup>2</sup>Лаврукова О. С.

<sup>1</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Республики Карелия  
«Бюро судебно-медицинской экспертизы», Петрозаводск, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Российская Федерация,  
e-mail: olgalavrukova@yandex.ru

Цель исследования – применение подхода расчета накопленных градусо-дней для оценки посмертных изменений тканей сердца. Материал исследования включал образцы миокарда и коронарных артерий из неостребованных трупов с известной датой смерти. Образцы содержали при температуре +9, +15 и +22 °С в стерильном физиологическом растворе. Ежедневно проводилась подрезка фрагментов тканей для изготовления микропрепаратов и последующего гистологического исследования. Накопленные градусо-дни рассчитывали как произведение средней температуры на количество дней до фиксации признака. Проведённое исследование показало, что основные микроскопические признаки разложения тканей сердца появляются и исчезают при сходных значениях накопленных градусо-дней для разных температурных режимов, что подтверждает первостепенное значение температуры в темпах посмертных изменений. Установлено, что появление/исчезновение отдельных микроскопических признаков связано с достижением определённых значений накопленных градусо-дней, то есть при «накоплении» определенного количества тепла, что позволяет использовать шкалу накопленных градусо-дней для объективного («температурно независимого») уточнения давности смерти по микроморфологическим признакам. Предлагаемый подход позволяет интегрировать морфологические данные с температурными параметрами для более точного установления давности смерти, что особенно актуально в сложных климатических условиях с выраженной температурной вариабельностью. Использование подхода расчета накопленных градусо-дней в судебно-гистологической практике способствует стандартизации и воспроизводимости результатов экспертизы, минимизирует влияние субъективных факторов, расширяет доказательственную базу для судебных органов.

Ключевые слова: постмортальные изменения, сердечная ткань, микроскопия, накопленные градусо-дни, аутолиз, микробная инвазия.

## APPLICATION OF THE ACCUMULATED DEGREE-DAYS APPROACH TO ASSESSING POSTMORTAL CHANGES IN CARDIAC TISSUE

<sup>1</sup>Kobzev A. M., <sup>2</sup> Lavrukova O. S.

<sup>1</sup> State Budgetary Healthcare Institution of the Republic of Karelia "Forensic Medical Examination Bureau",  
Petrozavodsk, Russian Federation;

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petrozavodsk State University",  
Petrozavodsk, Russian Federation, e-mail: olgalavrukova@yandex.ru

The aim of this study was to apply the cumulative degree-day approach to assessing postmortem changes in cardiac tissue. The study included myocardial and coronary artery samples from unclaimed cadavers with a known date of death. The samples were stored in sterile saline at temperatures of +9°C, +15°C, and +22°C. Tissue fragments were trimmed daily to prepare microscopic slides and for subsequent histological examination. Cumulative degree-days were calculated as the product of the average temperature and the number of days until the characteristic was observed. The study demonstrated that the main microscopic signs of cardiac tissue decomposition appear and disappear with similar cumulative degree-days for different temperature regimes, confirming the primary role of temperature in determining the rate of postmortem changes. It has been established that the appearance/disappearance of individual microscopic features is associated with reaching certain values of accumulated degree-days, that is, with the "accumulation" of a certain amount of heat. This allows the use of the accumulated degree-day scale for objective ("temperature-independent") clarification of the time of death based on micromorphological features. The proposed approach enables the integration of morphological data with temperature parameters for more accurate determination of the time of death, which is especially relevant in challenging climatic conditions with pronounced temperature variability. The use of the accumulated degree-day

**approach in forensic histology practice facilitates the standardization and reproducibility of examination results, minimizes the influence of subjective factors, and expands the evidentiary base for judicial authorities.**

Keywords: postmortem changes, heart tissue, microscopy, accumulated degree-days, autolysis, microbial invasion.

## **Введение**

Точная оценка времени наступления смерти представляет собой сложную задачу судебно-медицинской экспертизы, влияя на хронологию событий и ход следственных действий. Установление посмертного интервала имеет значение как для реконструкции обстоятельств смерти, так и для сопоставления полученных данных с показаниями свидетелей, подозреваемых и иными материалами уголовного дела.

Традиционные методы, основанные на наблюдении ранних и поздних трупных явлений, а также энтомологических данных, подвержены значительной вариабельности в зависимости от условий хранения трупа. На их выраженность влияют температура окружающей среды, влажность, вентиляция, масса тела, одежда, причина смерти и индивидуальные особенности организма, что ограничивает точность и воспроизводимость экспертных оценок [1–3].

Дополнительный интерес представляют морфологические и гистологические изменения тканей, которые могут использоваться как вспомогательные критерии при оценке давности смерти, особенно в случаях, когда макроскопические признаки недостаточно информативны или выражены атипично. Так, в исследовании [4] показана роль гистотафономических изменений печени и почки свиньи как потенциальных маркеров посмертного интервала, а в работе [5] рассмотрена возможность определения прижизненности и давности повреждений по динамике морфологической картины поврежденных и интактных тканей.

Подход расчета accumulated degree-days (ADD) позволяет количественно учитывать влияние температуры на скорость постмортальных процессов. Данный подход основан на предположении о том, что темпы посмертных изменений определяются не только длительностью временного интервала, но и совокупным температурным воздействием, которому подвергалось тело после смерти. ADD рассчитывается как произведение средней температуры на количество дней, в течение которых наблюдалась данная температура. В более широком понимании этот показатель отражает накопленную температурную нагрузку за весь постмортальный период и позволяет сопоставлять случаи, протекавшие в различных климатических условиях. Исследование [6] показало сильную корреляцию между степенью разложения и ADD, предложив регрессионную модель прогнозирования. Исследование [6] показало сильную корреляцию между степенью разложения и ADD и предложило регрессионную модель прогнозирования. В работе [7] предложено усовершенствованное

уравнение с учетом неопределенности, а последующие региональные исследования [8; 9] подтвердили эффективность ADD на поздних стадиях разложения.

**Цель настоящего исследования** - применение подхода расчета накопленных градусо-дней для оценки посмертных изменений тканей сердца.

#### **Материал и методы исследования**

При вскрытии невостребованных трупов с известной датой смерти фиксировали макроскопические особенности сердца, затем извлекали органы и контрольные образцы (поперечно-полосатую мышцу) для дальнейших исследований. Образцы включали участки миокарда и коронарной артерии; отбор кусочков осуществлялся согласно Приказу Минздрава РФ № 491 от 25.09.2023 г. Образцы помещали в сосуды со стерильным физиологическим раствором и размещали в термостаты с тремя температурными режимами: +9, +15 и +22 °С, соответствующими климату региона.

Ежедневно от каждого образца подрезали фрагмент ткани для изготовления микропрепарата и фиксировали его в 10%-ном растворе нейтрального формалина. При +9 °С материал отбирался до 32 суток посмертного периода, но после 22 суток микроскопическая картина в препаратах не изменялась; при +15 °С – 16 суток; при +22 °С – 9 суток. Сроки для +15 °С и +22 °С определялись наступлением ярко выраженных деструктивных изменений, делающих ткани непригодными к подрезке и изготовлению микропрепаратов.

Этапы гистологической проводки подрезанных кусочков подробно описаны в статье [10], все микропрепараты окрашивали с помощью гематоксилина и эозина. Микроскопический анализ проводился с увеличениями 4×, 10×, 20×, 40×. Всего изучено от трупов 180 сердец и 180 кусочков поперечно-полосатых мышц (контроль), более 10 000 микропрепаратов.

ADD для появления или исчезновения признака рассчитывали по формуле:

$$ADD=t \times N,$$

где t – температура хранения образца (°С), N – срок посмертного периода до фиксации признака (дни).

Все эксперименты производились согласно нормам действующего законодательства и социальной этики и при наличии разрешения Комитета по медицинской этике при ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» и Министерстве здравоохранения Республики Карелия (протокол № 1 от 01.07.2024).

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Проведено изучение посмертных изменений сердечной ткани с акцентом на микроскопические признаки, включающие: десквамацию эндотелиальных клеток артерий и вен; плазматическое пропитывание сосудистой стенки и её гомогенизацию, особенно в венах;

сохранность эритроцитов, образование бурых масс и микробную инвазию в просвете сосудов; деструкцию ядер кардиомиоцитов, гомогенизацию цитоплазмы и разрушение клеточной стенки мышечных волокон; формирование очагов трупной эмфиземы; микробную инвазию в межмышечных пространствах.

Для анализа динамики этих изменений фиксировались сроки постмортального периода, при которых выявлялось появление, частичное (приблизительно 50%) или полное исчезновение каждого признака. На основе этих данных производилось сравнение значений накопленных градусо-дней (ADD), соответствующих различным стадиям деструкции ткани, для трёх температурных режимов: +9, +15 и +22 °С.

### **Описание результатов по микроскопическим признакам**

#### *Артериальные сосуды*

Десквамация эндотелия артерий появлялась в 50% наблюдений при ADD = 90 градусо-дней при +9 °С и +15 °С, исчезала полностью при ADD = 99 градусо-дней при +9 °С и 105 градусо-дней при +15 °С; при +22 °С, появление и исчезновение признака приходились на ADD = 88 и 110 градусо-дней соответственно.

Плазматическое пропитывание стенки и гомогенизация стенки артерий демонстрировали схожую зависимость: 50% проявлений фиксировались при ADD ≈ 88–90 градусо-дней, полное исчезновение – при ADD ≈ 99–110 градусо-дней.

#### *Венозные сосуды*

Десквамация эндотелия вен наблюдалась в половине случаев при ADD = 63 градусо-дня при +9 °С, 60 градусо-дней при +15 °С и 66 градусо-дней при +22 °С; полное исчезновение признака – при ADD = 72, 75 и 88 градусо-дней соответственно.

#### *Эритроциты в просвете сосудов*

Для +9 °С: 90% сохранности эритроцитов соответствовало ADD = 63 градусо-дня, 60% – ADD = 90, 30% – ADD = 108, исчезновение – ADD = 117.

Для +15 °С: 90% – ADD = 60, 60% – ADD = 90, 30% – ADD = 105, исчезновение – ADD = 120.

Для +22 °С: 90% – ADD = 66, 60% – ADD = 88, 30% – ADD = 110, исчезновение – ADD = 132.

#### *Бурые массы и микробная инвазия в просвете сосудов*

Появление бурых масс регистрировалось при ADD ≈ 54–117 (+9 °С), 45–120 (+15 °С) и 22–110 (+22 °С).

Микробная инвазия возникала при ADD = 45–54 (+9 °С), 45–60 (+15 °С) и 44–60 (+22 °С).

#### *Кардиомиоциты*

Деструкция ядер проявлялась при ADD ≈ 90–99 (+9 °С), 90–105 (+15 °С) и 88–110 (+22 °С).

Гомогенизация цитоплазмы имела схожие показатели ADD в диапазоне 90–110 градусо-дней.

*Разрушение клеточной стенки мышечного волокна* отмечалось при ADD = 198 (+9 °C), 195 (+15 °C) и 198 (+22 °C).

*Очаги трупной эмфиземы и микробная инвазия межмышечных пространств*

Очаги трупной эмфиземы: ADD появления/исчезновения  $\approx$  90-110 для всех температур.

Микробная инвазия межмышечных пространств: частичная фиксация – ADD = 81, 75 и 66; полная – ADD = 90, 90 и 88 градусо-дней при +9, +15 и +22 °C соответственно.

#### **Анализ полученных данных**

1. Сравнение ADD для одного признака при разных температурах.

Значения ADD, соответствующие появлению или исчезновению отдельных признаков (полного или частичного), для всех трёх температурных режимов находятся в близком диапазоне. Значения ADD появления или исчезновения конкретного признака (полностью и/или на 50%) для всех температурных режимов достаточно близки.

Например, исчезновение на 50% признака десквамация клеток эндотелия артерий происходит при ADD = 90 градусо-дней для +9 °C и +15 °C и ADD = 88 градусо-дней для +22 °C; появление полностью признака микробная инвазия в межмышечных пространствах для разных температур происходит при практически равных значениях ADD = 88-90 градусо-дней (разница в 2%); деструкция клеточной стенки мышечного волокна – ADD = 195-198 градусо-дней.

С другой стороны, для конкретного признака можно увидеть и некоторые отличия ADD на разных температурах. Так, ADD полного исчезновения признака десквамация клеток эндотелия при +9 °C и +22 °C отличаются на 11%. Этот факт можно объяснить различием времени суток проведения исследования в разные дни.

Например, отличие времени снятия показаний в 6 часов дает разницу в ADD, равную 5,5 градусо-дня при +22 °C. Это позволяет предположить, что различия в сроках ADD в указанных пределах можно считать погрешностью в определении ADD. Таким образом, корректнее было бы фиксировать не только дату, но и время суток конкретного исследования (и вычислять ADD в градусо-часах, а не градусо-днях). Добавим, что наблюдаемые различия в сроках ADD возможно объяснить и тем, что фиксируемые изменения просто могли не попасть в кусочек ткани, из которой изготовлен конкретный микропрепарат.

Близкие (одинаковые) значения ADD появления или исчезновения конкретного признака свидетельствует о первостепенном влиянии температуры на развитие процессов деструкции тканей в посмертном периоде. Это делает возможным прогнозирование срока появления признака при различных температурах.

Например, для +9, +15 и +22 °C микробная инвазия в межмышечных пространствах появляется полностью при ADD = 88-90 градусо-дней (сроки появления 10, 6 и 4 суток

постмортального периода соответственно). Для произвольной температуры  $t$  прогнозируемый срок постмортального периода  $N$  вычисляется по формуле:  $N = ADD / t$ .

## 2. Сравнение между признаками.

Для многих микроскопических признаков (в артериях: десквамация клеток эндотелия, плазматическое пропитывание стенки, гомогенизация стенки; микробная инвазия в просвете сосудов; в кардиомиоцитах: деструкция ядер и гомогенизация цитоплазмы; микробная инвазия в межмышечных пространствах) отмечены сходные значения ADD (88-100 градусо-дней), для признака неизменные эритроциты в просвете сосудов – около 60% случаев; полное проявление некоторых признаков наблюдалось во всех температурных режимах. Это демонстрирует возможность выделения универсальных «термических порогов» для оценки стадии разложения тканей.

### *Гнилостный потенциал и сопоставление с литературными данными*

Температура определяет время  $\tau$ , необходимое для накопления «критической массы» микробной флоры. Автор [11] вводит понятие гнилостного потенциала  $A = \tau \times (t_{tes} - t_{bas})$ , где  $t_{tes}$  – температура органа,  $t_{bas} = +16,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – базисная температура, выше которой гниение может иметь взрывной характер. Для печени  $A = 390 \text{ }^\circ\text{C} \times \text{час}$ .

Используем это значение  $A$  для анализа данных исследования тканей сердца. Считая температуру ткани  $t_{tes} = +22 \text{ }^\circ\text{C}$ , определяем  $\tau = A / t_{tes} = 390 / 22 = 70,9 \text{ час} = 2,95 \text{ суток}$  – время, необходимое для накопления «критической массы» гнилостной микрофлоры. Для температуры  $+22 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $N = 2,95 \text{ суток}$  значение  $ADD = 22 \text{ }^\circ\text{C} \times 2,95 = 65 \text{ градусо-дней}$ .

При значении ADD, близком к этому значению (60-66 градусо-дней), наблюдается появление микробной инвазии в просвете сосудов, десквамация клеток эндотелия в просвет вены, появление на 50% микробной инвазии в межмышечных пространствах. Эти признаки напрямую свидетельствуют о накоплении определенной («критической») массы микроорганизмов, запускающих взрывное гниение.

Сравнение с данными [12] по миокарду при различных температурах окружающей среды показало, что повышение температуры сокращает срок  $N$ , необходимый для появления аутолитических изменений. В том числе это свидетельствует о необходимости учета влияния всех условий окружающей среды на скорость развития посмертных изменений [13-15].

Вычисления ADD для максимальных температур в каждой группе демонстрируют, что основные аутолитические признаки в миокарде (утрата контура сосудов, тотальный цитолиз) при разных температурах наступают, когда суммарно накоплено примерно 40-60 градусо-дней. На практике это означает, что при температуре  $\approx 14 \text{ }^\circ\text{C}$  наличие аутолитических изменений в миокарде можно констатировать примерно через 3 дня (68-72 ч.); при

температуре  $\approx 20$  °C – через 2-3 дня (42-72 ч); при температуре  $\approx 30$  °C – через 1,5-2 дня (32-48 ч).

Значит, порог ADD  $\approx 40-60$  градусо-дней можно считать контрольным значением для оценки сроков появления аутолитических изменений в миокарде, и это позволяет сводить различные тепловые режимы к единой шкале.

### **Выводы**

1. Проведённое исследование показало, что основные микроскопические признаки разложения тканей сердца появляются и исчезают при сходных значениях ADD для разных температурных режимов, что подтверждает первостепенное значение температуры в темпах посмертных изменений.

2. Установлено, что появление/исчезновение отдельных микроскопических признаков связано с достижением определённых значений ADD, то есть при «накоплении» определенного количества тепла, что позволяет использовать шкалу ADD для объективного («температурно независимого») уточнения давности смерти по микроморфологическим признакам.

3. Предлагаемый подход позволяет интегрировать морфологические данные с температурными параметрами для более точного установления давности смерти, что особенно актуально в сложных климатических условиях с выраженной температурной вариабельностью. Использование ADD в судебно-гистологической практике способствует стандартизации и воспроизводимости результатов экспертизы, минимизирует влияние субъективных факторов, расширяет доказательственную базу для судебных органов.

В целом, практическое значение работы состоит в том, что использование ADD-подхода позволяет повысить достоверность и обоснованность судебно-медицинского заключения о давности смерти, учитывать влияние температуры и получать воспроизводимые результаты в различных климатических условиях.

### **Список литературы**

1. Argentiero G., Talamo M., Amirante F., Cecchetto G., Solarino B. Effects of decomposition on the cardiovascular system: A systematic review // *Forensic Science International*. 2025. № 373. P. 112529. DOI: 10.1016/j.forsciint.2025.112529.
2. Tomita Y., Nihira M., Ohno Y., Sato S. Ultrastructural changes during in situ early postmortem autolysis in kidney, pancreas, liver, heart and skeletal muscle of rats // *Legal Medicine (Tokyo)*. 2004. Vol. 6. № 1. P. 25-31. DOI: 10.1016/j.legalmed.2003.09.001.

3. Forbes S. L., Perrault K. A., Comstock J. L. Microscopic Post-Mortem Changes: The Chemistry of Decomposition. In: Schotsmans E. M. J., Márquez-Grant N., Forbes S. L., eds. *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Chichester: Wiley; 2017. P. 26-38. DOI: 10.1002/9781118953358.ch2.
4. Obun C. O., Ibegbu O. A., Ogugua A. O., Esomchi C. N., Ikpa J. O., Adie M., Onyejike D. N., Anwara C. E., The role of histo-taphonomy in postmortem interval estimation: a preliminary study of porcine liver and kidney // *Journal of Experimental and Clinical Anatomy*. 2025. Vol. 22. № 1. P. 61-66. DOI: 10.4314/jeca.v22i1.8.
5. Кобзев А. М., Лаврукова О.С. К вопросу определения прижизненности и давности повреждений по динамике морфологической картины поврежденных и интактных тканей // *Innova*. 2025. Т. 11. № 2. С. 21-23. EDN: SGJUUM.
6. Megyesi M. S., Nawrocki S. P., Haskell N. H. Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains // *Journal of Forensic Sciences*. 2005. Vol. 50. № 3. P. 618-626. PMID: 15932096.
7. Moffatt C., Simmons T., Lynch-Aird J. An improved equation for TBS and ADD: establishing a reliable postmortem interval framework for casework and experimental studies // *Journal of Forensic Sciences*. 2016;61 Suppl 1:S201-S207. DOI: 10.1111/1556-4029.12931. PMID: 26293169.
8. Franceschetti L., Pradelli J., Tuccia F., Giordani G., Cattaneo C., Vanin S. Comparison of accumulated degree-days and entomological approaches in post mortem interval estimation // *Insects*. 2021. Vol. 12. № 3. P. 264. DOI: 10.3390/insects12030264.
9. Dabbs G. R. Caution! All Data Are Not Created Equal: The Hazards of Using National Weather Service Data for Calculating Accumulated Degree Days // *Forensic Science International*. 2010;202(1-3):e49-e52. DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.02.024. PMID: 20303684.
10. Лаврукова О. С., Кобзев А. М. Методика комплексного морфологического исследования сердца с целью судебно-медицинской оценки патоморфологических изменений миокарда и давности наступления смерти при разной продолжительности постмортального периода // *Современные проблемы науки и образования*. 2025. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=34076> (дата обращения: 07.03.2026). DOI: 10.17513/spno.34076.
11. Коршунов Н. В. Диагностика давности смерти при исследовании трупов в стадии гниlostной их трансформации: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.24. Ижевск, 2007. 202 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/diagnostika-davnosti-smerti-pri-issledovanii-trupov-v-stadii-gnilostnoi-ikh-transformatsii>(дата обращения: 07.03.2026).
12. Индиаминов С. И., Жуманов З. Э., Блинова С. А. Характеристика и динамика посмертных аутолитических изменений в структурах миокарда в условиях жаркой аридной зоны // *Судебная медицина*. 2024. Vol. 10. № 3. С. 305-314. DOI: 10.17816/fm15179.

13. Almulhim A. M., Menezes R. G. Evaluation of Postmortem Changes. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026. PMID: 32119351.
14. Oh S., Ahn B., Lee B. J., Nam S. Y. Effect of humidity on postmortem changes in rat // Journal of Veterinary Science. 2024. Vol. 25. № 3. P. e24. DOI: 10.4142/jvs.23327.
15. Howie R. R., McKinney M. M., Tataryn N. M., Cole A. L., Dupont W. D., Yang T. S., Gibson-Corley K. N. Determination of Postmortem Interval in Mice // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. 2024. Vol. 63. № 4. P. 428-436. DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-23-000107.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

**Financing:** The research was performed without external funding.