

СПОСОБ ОБЪЕКТИВИЗАЦИИ ЯРКОСТИ ЦВЕТА ОДЕЖДЫ НА ТРУПЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДАВНОСТИ СМЕРТИ ЧЕЛОВЕКА

Вавилов А.Ю., Белых С.А.

ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ижевск, e-mail: izhsudmed@hotmail.com

Целью исследования явилось создание способа объективной оценки величины яркости цвета текстильной ткани для количественного учета способности поверхностных слоев мертвого тела поглощать солнечную энергию при определении давности смерти человека термометрическим способом в случае нахождения трупа в условиях воздействия на него прямых солнечных лучей. Основным методом исследования явился эксперимент. Изучены тканевые объекты (фрагменты хлопчатобумажной ткани), заменяющие труп объекты и 9 мертвых тел. Тканевые объекты изучались с помощью офисного сканера и специально разработанной программы, позволяющей в процентном выражении характеризовать интенсивность яркости цвета объекта. Заменяющие труп объекты и мертвые тела изучались с помощью высокоточных термометров, которыми контролировалась температура объекта в одежде различных цветов при нахождении его в условиях инсоляции. При этом изучалось влияние цвета одежды на поглощение объектом солнечного тепла и динамику охлаждения объекта при воздействии на его поверхность прямой солнечной радиации. В ходе работы установлено, что цвет поверхности объекта в указанных условиях имеет существенное значение с точки зрения влияния на процесс его охлаждения солнечными лучами. Статистически доказано наличие взаимосвязи между интенсивностью цвета (яркостью) ткани, в которую завернут объект (одежды трупа), и «солнечным фактором» – коэффициентом математической модели, применяемой в случаях определения давности смерти человека термометрическим способом при нахождении тела в условиях инсоляции. Таким образом, разработан способ оценки величины яркости цвета текстильной ткани (одежды) для учета ее влияния при математическом моделировании в ходе определения давности смерти человека при обнаружении трупа в условиях инсоляции.

Ключевые слова: судебная медицина, труп, термометрия, солнечная радиация, одежда трупа, яркость цвета, способ количественного учета, моделирование, «солнечный фактор».

METHOD OF OBJECTIVIZING THE BRIGHTNESS OF CLOTHING ON A CORPSE FOR THERMOMETRIC DIAGNOSTICS OF THE AGE OF HUMAN DEATH

Vavilov A.Yu., Belykh S.A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Medical Academy» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Izhevsk, e-mail: izhsudmed@hotmail.com

The target of the study was to create a method for objectively assessing the value of color brightness of textile fabric for quantitatively accounting for the ability of the surface layers of a dead body to absorb solar energy when determining the time of death of a person using a thermometric method in the case of a corpse exposed to direct sunlight. The main method of the study was an experiment. Fabric objects (fragments of cotton fabric), corpse substitutes, and 9 dead bodies were studied. The fabric objects were studied using an office scanner and a specially developed program that allows characterizing the intensity of the object's color brightness as a percentage. Corpse substitutes and dead bodies were studied using high-precision thermometers that monitored the temperature of the object in clothes of different colors when it was in insolation conditions. In this case, the effect of clothing color on the absorption of solar heat by the object and the dynamics of object cooling when its surface is exposed to direct solar radiation were studied. The work established that the color of the object's surface under the specified conditions is of significant importance in terms of the effect of sunlight on its cooling process. The existence of a relationship between the color intensity (brightness) of the fabric in which the object is wrapped (the corpse's clothes) and the «solar factor» – the coefficient of the mathematical model used in cases of determining the time of death of a person by the thermometric method when the body is in insolation conditions - has been statistically proven. Thus, a method has been developed for assessing the value of the color brightness of textile fabric (clothing) to take into account its influence in mathematical modeling in the course of determining the time of death of a person when a corpse is found in insolation conditions.

Keywords: forensic medicine, corpse, thermometry, solar radiation, corpse clothing, color brightness, quantitative accounting method, modeling, solar factor.

Введение

Одним из самых надежных способов установления времени смерти человека в судебной медицине давно признана термометрия мертвого тела с оценкой динамики температур в глубоких его отделах в зависимости от комплекса внешних и внутренних условий, определяющих индивидуальные особенности каждого конкретного наблюдаемого случая [1].

Естественно, что ряд последовательных замеров температуры трупа, произведенных через фиксированные интервалы времени, после термометрической процедуры должен быть проанализирован и оценен с позиций актуальных научных достижений. В современной судебной медицине наиболее востребованными являются подходы, основанные на математическом моделировании постмортального теплообмена трупа с окружающей средой, либо на основе решения краевой задачи теплопроводности [2], либо на основе феноменологических моделей охлаждения трупа [3]. Первый подход, безусловно, являясь более объективным, поскольку построен на учете теплофизических характеристик конкретного изучаемого трупа в сочетании с его персональными антропометрическими данными, активно развивается в последние годы, демонстрируя свою перспективность в плане возможного повышения точности определения давности смерти. Однако и второе направление термометрической диагностики, традиционно используемое в судебной медицине, не потеряло своей актуальности, поскольку возможности повышения точности этих методик еще не до конца исчерпаны [4].

В частности, ранее представляло определенную сложность математическое описание динамики температур мертвого тела, находящегося в условиях воздействия на него такого фактора внешней среды, как прямая солнечная радиация. Однако модификация существующих математических выражений, переход к варианту конечно-разностного моделирования температур в трупе, введение дополнительных коэффициентов уравнения с возможностью приращения температуры в узле моделирования, соответствующем поверхности тела при ее нагреве прямыми солнечными лучами, создали принципиальную возможность термометрического определения давности смерти человека в случаях, когда мертвое тело находилось в зоне инсоляции [5].

Однако при этом возникает другая проблема [6], появление которой обусловлено необходимостью учета индивидуальной способности поверхности мертвого тела к отражению либо поглощению солнечных лучей. Естественно, что в абсолютном большинстве случаев труп, обнаруженный на месте происшествия, имеет на себе одежду, яркость цвета которой будет непосредственно определять величину солнечной энергии, поглощаемой телом и расходуемой на нагрев его поверхностных слоев. Соответственно, для максимально точного

учета влияния количества энергии солнца, переданной труп в условиях инсоляции, необходимо разработать способ, который позволит конкретизировать указанную индивидуальную особенность, описав ее математически. Решению данного вопроса и посвящена настоящая научная статья.

Цель исследования

Создание способа объективной оценки величины яркости цвета текстильной ткани для количественного учета способности поверхностных слоев мертвого тела поглощать солнечную энергию при определении давности смерти человека термометрическим способом в случае нахождения трупа в условиях воздействия на него прямых солнечных лучей.

Материал и методы исследования

Основным методом настоящего научного исследования явился эксперимент, проводимый на объектах, в качестве которых последовательно применялись фрагменты хлопчатобумажной ткани размерами от 5×5 до 10×15 см различных цветов (черный, белый, синий, желтый, зеленый, красный), заменяющие труп объекты (полиэтиленовые мешки, заполненные черноземом умеренной влажности), мертвые тела людей, различающихся по антропометрическим параметрам.

Проведение исследований на мертвых телах предварительно было согласовано с комитетом по медицинской и биологической этике ФГБОУ ВО ИГМА Минздрава России, с получением соответствующего разрешения (протокол от 21.10.2021 г. № 09-21).

Для исследования фрагментов ткани применен офисный сканер марки Epson Perfection 2480 Photo. Его использование обусловлено доказанным положением, что после соответствующей калибровки обычный офисный планшетный сканер может быть применен в качестве прибора для измерения цвета текстильной ткани. [7]

Использованы следующие параметры сканирования:

- режим сканирования – профессиональный;
- тип изображения – цветной 24 бита;
- разрешение – 300 dpi;
- размер изображения – в пределах от 150×150 до 250×250 точек;
- выбрана опция «без коррекции цвета» во вкладке «цвет» конфигурации сканирования.

Сканированные изображения тканевых объектов сохранялись в виде графических файлов в формате Bitmap (*.bmp). Количественную оценку яркости образцов ткани (условно обозначенную как переменная «W») было решено производить путем перевода цвета в градации серого и выражением ее в процентах шкалы, минимальным значением которой

($W = 0$) является яркость абсолютно черного цвета, а максимальным ($W = 100$) – яркость абсолютно белого.

Эксперименты на замещающих труп объектах (ЗТО) произведены на ЗТО массой 22 кг, последовательно оборачиваемом в ткань различных цветов, с размещением объекта в зоне инсоляции и контролем его температуры высокоточными термоизмерителями (точность фиксации температуры $0,001^\circ\text{C}$). Температура ЗТО контролировалась в точке, соответствующей геометрическому центру поперечного сечения объекта.

Исследования на мертвых телах выполнялись аналогичным образом, с тем принципиальным отличием, что выбор конечной точки для термометрирования объекта осуществлялся на основе рекомендаций методики П.И. Новикова и Е.Ф. Шведа [8, с. 107–108] в глубине печени трупа.

Влияние температуры окружающей среды (воздуха) оценивалось путем ее регистрации на уровне объекта исследования и учета при математическом моделировании его охлаждения.

Моделирование охлаждения объекта в условиях инсоляции производилось на основе конечно-разностной математической модели [5]:

$$\begin{cases} \Delta t_1 = C \times (t_2 - t_1) \times \Delta \tau \\ \Delta t_n = C \times (t_{n-1} + t_{n+1} - 2 \times t_n) \times \Delta \tau \\ \Delta t_{10} = C \times (t_9 + t_{\text{возд.}} - 2 \times t_{10}) \times \Delta \tau + S \times \Delta \tau \end{cases} \quad (1)$$

где t_1-t_{10} – расчетные значения температур в узлах модели на момент начала интервала времени $\Delta \tau$;

$\Delta t_1-\Delta t_{10}$ – изменение температур в узлах модели за период времени $\Delta \tau$ (повышение температуры принимается за положительное изменение, снижение температуры – за отрицательное изменение);

n – номера узлов (с 2-го по 9-й);

под индексами (1...10, n) обозначены номера узлов модели;

$t_{\text{возд.}}$ – температура воздуха;

$\Delta \tau$ – продолжительность одного шага моделирования (0,01 часа);

C – коэффициент, отражающий теплообменные параметры трупа;

S – «солнечный фактор».

В ходе моделирования последовательно оценивалось влияние величины яркости ткани на значение коэффициента C , отражающего индивидуальные теплообменные параметры объекта (ЗТО, трупа), и значения «солнечного фактора» (S) в каждом случае исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Для обработки данных изображения, полученного в ходе сканирования объекта ткани, была специально разработана оригинальная компьютерная программа (условно названная «Яркость»), написанная в среде визуального программирования Delphi на языке Object Pascal. В окне программы, соответственно отсканированному изображению ткани, манипулятором «мышь» выделяется участок изображения прямоугольной формы произвольного размера.

Изображение внутри этого прямоугольника автоматически преобразовывается программой из цветного режима в режим градаций серого с оценкой среднего значения яркости на отмеченном участке. Величина яркости отображается в поле программы «Яркость» в процентном выражении (рис. 1).

В таблице 1 приведены результаты исследования использованных в эксперименте образцов текстильных тканей различных расцветок по вышеописанной методике, где для каждого цвета получено значение яркости (W).

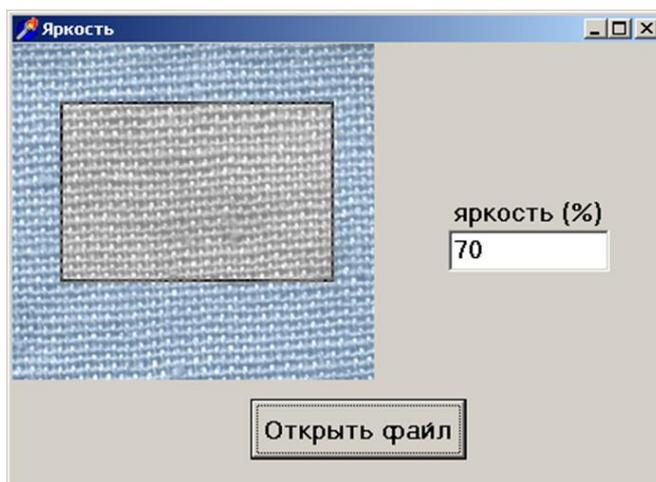


Рис. 1. Окно программы для количественной оценки величины яркости отсканированных образцов текстильных тканей

Таблица 1

Результаты определения величины яркости (W) образцов текстиля различных расцветок установленных в ходе эксперимента

Цвет ткани объекта	Величина яркости объекта, %
Черный	8
Белый	90
Синий	70
Желтый	73
Зеленый	28
Красный	28

В экспериментах на ЗТО, обернутом в ткани указанных цветов, произведены моделирование охлаждения объекта в условиях инсоляции и установление влияния величины коэффициента W на значение «солнечного фактора». Указанное исследование осуществлялось сериями экспериментов (по три определения для каждого из цветов). Результаты исследования представлены в таблице 2.

В ходе проведенной статистической обработки полученных результатов подтверждено наличие тесной взаимосвязи между значением «солнечного фактора» и величиной яркости ткани, определенной на первом этапе работы.

Коэффициент корреляции Пирсона 0,924

Стандартная ошибка	6,337
Статистика Фишера (F)	93,061
Значимость F	4,519E-8

Таблица 2

Результаты определения величины яркости образцов текстиля различных расцветок (W) и экспериментально полученные для них значения «солнечного фактора» (S)

Цвет ткани объекта	Величина яркости объекта, %	Значение солнечного фактора
Черный	8	76
		87
		71
Белый	90	28
		36
		38
Синий	70	47
		48
		60
Желтый	73	42
		43
		50
Зеленый	28	59
		64
		67
Красный	28	76
		60
		67

Для данных рассчитаны параметры уравнения линейной регрессии, получено выражение, позволяющее установить зависимость между указанными параметрами (2):

$$S = 80,7 - 0,487 \times W \quad (2)$$

где S – «солнечный фактор»;
W – значение яркости ткани.

Графически указанная зависимость представляется следующим образом (рис. 2).

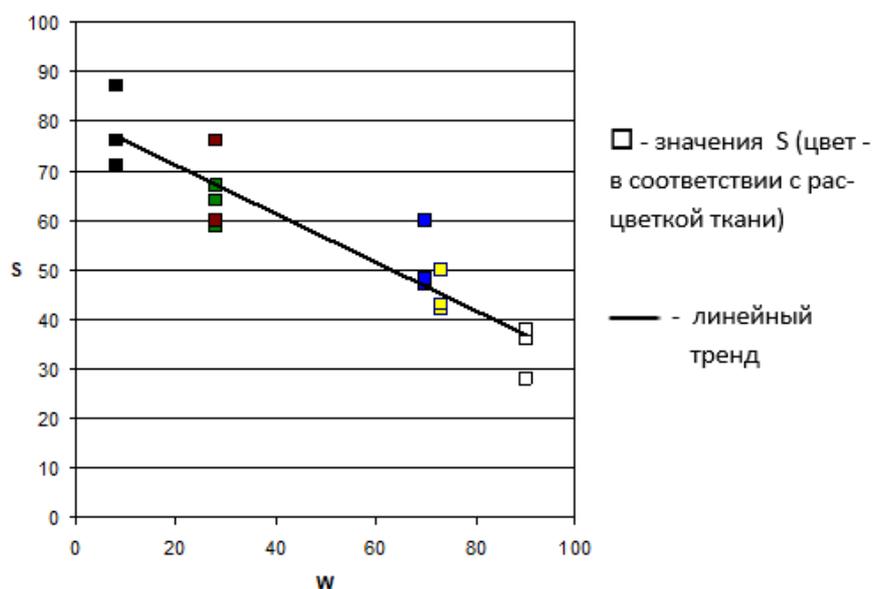


Рис. 2. Зависимость «солнечного фактора» от величины яркости ткани

Изучение влияния величины яркости ткани одежды трупа на динамику постмортальной температуры произведено в серии последовательных экспериментов на 9 мертвых телах в условиях воздействия на них прямой солнечной радиации.

По результатам каждого из исследований были построены графики, один из которых отражал процесс изменения температуры в глубоких отделах трупа, другой – результаты математического моделирования и подбора параметров C и S выражения (1). Критерием адекватности величины параметров C и S являлось максимально полное совпадение реально измеренной и расчетной температурных кривых (рис. 3, в качестве иллюстрации приведены результаты исследования 2 тел).

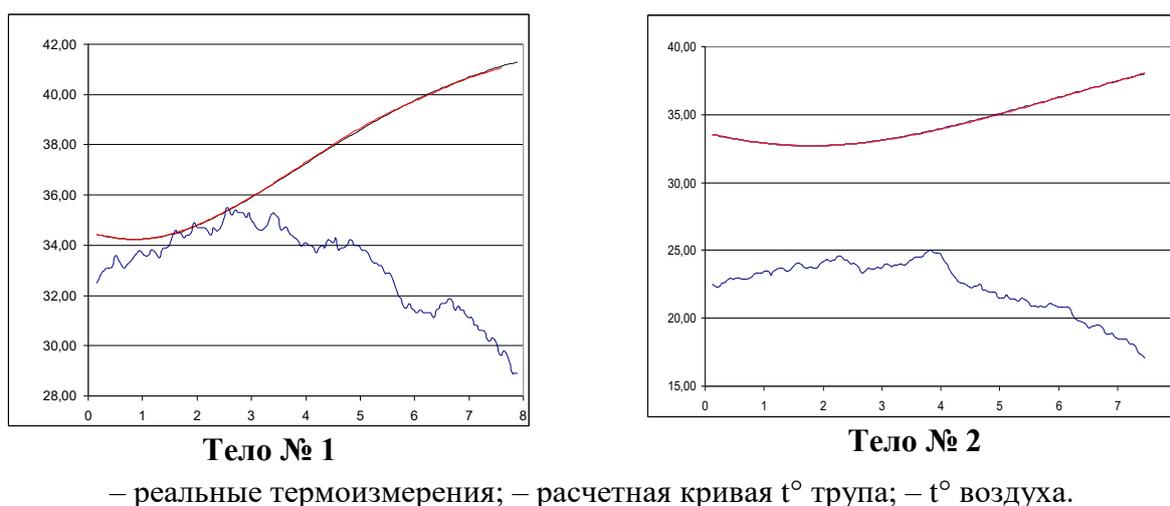


Рис. 3. Результаты исследования двух тел

Статистический анализ информации, полученной в ходе экспериментов на мертвых телах, подтвердил заключение о существенном влиянии на значение «солнечного фактора» (S) яркости цвета текстильной ткани, покрывающей труп (одежды) (табл. 3, приведены статистические оценки для двух цветов).

Таблица 3

Влияние цвета ткани на величину «солнечного фактора» (эксперимент на трупах)

Цвет	Кол-во исследований	Оценка среднего значения S	Дисперсия
Черный	6	100,5	29,9
Белый	3	60,7	8,3
Критерий Фишера (F)	133,7 (критическое значение (p=0,05) – 5,59)		
Вероятность нулевой гипотезы об отсутствии различий			8,16E-06

Значение яркости цвета одежды трупа, влияние которой на посмертную термодинамику подтверждено в ходе приведенных выше экспериментов, позволило рассчитать коэффициенты линейной зависимости между параметрами S и W для применения ее в ходе термометрического определения давности наступления смерти в случаях пребывания мертвого тела в условиях инсоляции:

$$S = 104,4 - 0,485 \times W \quad (3)$$

где S – солнечный фактор;
W – значение яркости ткани.

По мнению авторов настоящей статьи, использование указанной формулы (3) линейной зависимости совместно с методикой оценки световоспринимающих свойств текстильной ткани посредством сканера является единственно приемлемым и доступным для практического использования вариантом учета влияния свойств одежды трупа при математическом моделировании температуры его глубоких отделов в условиях воздействия на мертвое тело прямой солнечной радиации.

Выводы

1. В ходе экспериментов на замещающих труп объектах и на реальных объектах судебно-медицинской экспертизы (9 мертвых телах) подтверждено влияние цвета одежды на трупе на процесс поглощения поверхностью объекта солнечной радиации при нахождении его в условиях инсоляции.

2. Создана методика количественного определения значения яркости цвета ткани, на основе офисного сканера реализующая индивидуальный подход к учету влияния свойств одежды трупа на процесс его посмертного охлаждения.

Для облегчения практического использования созданного метода разработана компьютерная программа «Яркость», применимая для анализа сканированных изображений тканевых объектов с целью установления яркости их цвета.

3. Предложено выражение (3) на основе уравнения линейной регрессии, позволяющее учесть индивидуальность световоспринимающих свойств одежды трупа и ее влияние на величину «солнечного фактора», используемого в расчете давности смерти по тепловому методу на базе конечно-разностной математической модели, применяющейся в случаях воздействия на поверхность трупа солнечного излучения.

Список литературы

1. Власов А.Ю. Принципы диагностики давности наступления смерти (статья 2-я) // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. 2019. № 2. С. 87-102.
2. Недугов Г. В. Математическое моделирование охлаждения трупа: монография. Казань: Бук, 2021. 198 с.
3. Кильдюшов Е.М. Диагностика давности наступления смерти термометрическим способом // Судебная медицина. 2016. Т. 2. № 2. С. 80-81.
4. Недугов Г.В. Численный метод решения двойных экспоненциальных моделей охлаждения трупа при установлении давности наступления смерти // Судебно-медицинская экспертиза. 2021. Т. 64. № 6. С. 25-28. <https://doi.org/10.17116/sudmed20216406125>.
5. Вавилов А.Ю., Белых С.А., Швед Е.Ф. Математическое моделирование процесса изменения температуры трупа при воздействии на него прямой солнечной радиации в целях диагностики давности смерти // Судебно-медицинская экспертиза. 2023. Т. 66 (6). С. 18-23. <https://doi.org/10.17116/sudmed20236606118>.
6. Индиаминов С.И., Жуманов З.Э., Блинова С.А. Проблемы установления давности наступления смерти // Судебно-медицинская экспертиза. 2020. Т. 63 (6). С. 45-50. <https://doi.org/10.17116/sudmed20206306145>.
7. Кириллова Н.П. Комплексный подход к почвенной картографии на основе цифровой морфометрии и комбинаторного анализа: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2018. 49 с.
8. Новиков П.И., Швед Е.Ф., Нацентов Е.О., Коршунов Н.В., Вавилов А.Ю. Моделирование процессов в судебно-медицинской диагностике давности наступления смерти. Челябинск-Ижевск, 2008. 312 с.