

На правах рукописи

**БЕЛЫХ
СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ДИАГНОСТИКА ДАВНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ СМЕРТИ ПО
ПРОЦЕССУ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРУПА
В УСЛОВИЯХ ИНСОЛЯЦИИ**

3.3.5. Судебная медицина (медицинские науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО ИГМА Минздрава России) на кафедре судебной медицины с курсом судебной гистологии ФПК и ПП.

Научный руководитель:

Вавилов Алексей Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАЕ, заведующий кафедрой судебной медицины с курсом судебной гистологии ФПК и ПП федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Лаврукова Ольга Сергеевна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая курсом судебной медицины кафедры анатомии, гистологии, топографической анатомии и оперативной хирургии, патологической анатомии, судебной медицины медицинского института им. профессора А.П. Зильбера федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет».

Туманов Эдуард Викторович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры судебной медицины имени П.А. Минакова федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский Университет Медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита диссертационной работы состоится «___» _____ 2025 года в _____ часов на заседании диссертационного совета ПДС 0300.011 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и на сайте <http://www.rudn.ru/science/dissovet>

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета ПДС 0300.011,
кандидат биологических наук, доцент

**Романова
Ольга Леонидовна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень ее разработанности:

Определение давности наступления смерти (ДНС) – одна из основных задач, решаемых в процессе производства судебно-медицинской экспертизы. Вывод эксперта о продолжительности времени, прошедшего с момента смерти человека, приобретает особую важность при оценке следователем алиби подозреваемого. В этих случаях от правильности экспертной оценки зависят судьбы живых людей, причастных или не причастных к преступлению.

Последние десятилетия в судебно-медицинской практике широкое применение нашли методы диагностики ДНС по процессу посмертного изменения температуры трупа. Однако методы математического моделирования, применяющиеся сегодня в практической судебно-медицинской экспертизе, позволяют устанавливать ДНС с высокой точностью только при отсутствии воздействия на труп метеорологических факторов, и, прежде всего, прямой солнечной радиации. Прямая солнечная радиация оказывает весьма значительное влияние на процесс изменения температуры трупа, а корректных способов учитывать инсоляцию при математическом моделировании тепловых процессов, происходящих в мертвом теле, до настоящего времени не существовало.

Между тем, по данным Челябинского областного бюро судебно-медицинской экспертизы, до 20% случаев насильственной смерти происходят вне помещений, то есть на открытой местности, где имеется потенциальная возможность воздействия на труп прямой солнечной радиации. В каждом из этих случаев применение отработанных ранее методов математического моделирования температуры трупа для диагностики давности смерти не дает сколько-нибудь достоверных результатов, поскольку данные методы никак не учитывают ту энергию, которая передается трупу при воздействии на него солнечного тепла.

Приведенные основания свидетельствуют об актуальности диссертационной работы, направленной на разработку методов, позволяющих учитывать воздействие инсоляции в судебно-медицинской диагностике давности смерти.

Вышеизложенное определило содержание представленной работы и позволило сформулировать цель и задачи исследования.

Цель исследования:

Создание способа учета влияния солнечной радиации на динамику изменения температуры трупа, находящегося под непосредственным воздействием прямой солнечной радиации, при математическом моделировании посмертного изменения температуры мертвого тела в раннем постмортальном периоде в ходе судебно-медицинской диагностики давности наступления смерти.

Задачи исследования:

1. На основе существующих экспоненциальных математических моделей разработать математический аппарат, пригодный для моделирования процесса посмертной динамики температуры трупа с корректным учетом влияния на этот процесс прямой солнечной радиации.

2. Проверить соответствие разработанного математического аппарата реальным температурным кривым, полученным в ходе исследований на замещающих труп объектах (ЗТО) и трупах людей, находившихся в условиях воздействия на них прямой солнечной радиации.

3. Изучить характер взаимосвязей и дать количественную оценку параметрам разработанной математической модели в зависимости от характера объекта, световоспринимающих свойств его поверхности, времени года.

4. Разработать алгоритм, позволяющий использовать математическую модель и выявленные закономерности влияния солнечной радиации на труп при установлении времени смерти.

5. Оценить возможную погрешность моделирования применительно к диагностике давности смерти в условиях практической работы эксперта.

Научная новизна:

Впервые разработана математическая модель посмертного изменения температуры трупа, корректно отражающая посмертную динамику температуры при воздействии на мертвое тело прямой солнечной радиации с отработкой параметров модели и разработкой алгоритмов её использования.

Изучены и количественно оценены влияния на динамику охлаждения мертвого тела свойств его поверхности, определяющих интенсивность поглощения солнечной радиации, соответственно определены параметры разработанной математической модели в зависимости от характера объекта, цвета материала его поверхности, угла падения на нее солнечных лучей.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Наиболее значимым для современной судебно-медицинской науки и практики следует считать создание в ходе настоящей работы алгоритма диагностики давности смерти методом математического моделирования с корректным учетом влияния прямой солнечной радиации на тепловые процессы в трупe, что позволяет устанавливать время смерти в раннем посмертном периоде в условиях инсоляции.

Проведенная оценка погрешности созданного метода свидетельствует, что разработанный математический аппарат повышает точность диагностической процедуры, минимизируя ошибки расчетов, обусловленные влиянием на тело прямых солнечных лучей.

Методология и методы диссертационного исследования:

Методологической составляющей научного познания является первоначальное осмысление явления, т.е. изменения температуры трупа в условиях инсоляции, теплофизических параметров, построение адекватной математической модели процесса при воздействии прямой солнечной радиации.

Методом познания в ходе диссертационного исследования стал эксперимент, средством – экспериментальное оборудование (заменяющие труп объекты (манекены), имеющие геометрию человеческого тела). Технологией проведения эксперимента являются теплофизические процессы, происходящие в трупe при действии на него прямой солнечной радиации.

В ходе решения проблемы диссертационного исследования были применены два основных метода научного познания:

1. Эмпирического или опытного исследования;
2. Теоретического познания.

На начальном этапе выполнения исследования проведен анализ (метод-операция) научной литературы (исторический метод операционного эмпирического исследования), позволивший определить степень разработанности проблемы. В результате проведенного анализа были сформулированы цели и задачи научной работы, выстроены рабочие гипотезы (с использованием познавательных действий теоретических методов), установлены объекты исследования и подобраны методы их изучения.

Методом эмпирического или опытного исследования стал эксперимент – воспроизведение объекта исследования в строго контролируемых и управляемых условиях.

При выполнении работы проводились реальные эксперименты на естественных объектах (трупах людей) и эксперименты предметно-модельные (на заменяющих труп объектах-манекенах). По методике эксперименты являлись воспроизводящими явление в целом (трупы людей и ЗТО находились в естественных условиях на открытой местности, при безоблачной и безветренной погоде под прямыми солнечными лучами). По характеру ожидаемого результата – количественные и измеряемые (с помощью электронных термометров, АПК для диагностики давности смерти «Термит-1»).

Методом теоретического познания являлось построение математической модели по полученным результатам измерений с применением математического анализа (статистические методы исследования).

Опираясь на метод восхождения от абстрактного к конкретному, автор сформулировал выводы и разработал практические рекомендации по использованию результатов диссертационной работы в судебно-медицинской деятельности.

Личное участие автора:

Все этапы данной научной работы не менее чем на 90% выполнены при непосредственном участии автора.

Выполнен анализ отечественной и зарубежной научной литературы, в ходе которого освещены современные способы диагностики ДНС, а также дано краткое описание методов, используемых в экспертной практике, тем самым показана актуальность научной работы.

Обозначив проблему, автор сформулировал цель работы и задачи, решение которых даст возможность достичь поставленной цели.

Набор материала для проведения экспериментальной части работы, измерение температуры в печени трупа и ЗТО полностью выполнен автором в «Бюро судебно-медицинской экспертизы» г. Челябинска.

Автором выведено математическое описание динамики изменения температуры трупа при действии на него прямой солнечной радиации.

Обработка первичного материала, его анализ с использованием различных методов анализа и интерпретация результатов выполнялись самостоятельно.

Использование методов статистической обработки полученных экспериментальных данных, позволило выявить степень влияния индивидуальных факторов исследуемого объекта на результаты измерений. Для оценки влияния световоспринимающей способности поверхности объекта разработана оригинальная методика определения яркости текстильных тканей посредством офисного сканера.

По результатам исследования была разработана специальная модификация конечно-разностной (послойной) математической модели, описывающей процесс изменения температуры трупа при воздействии на него прямой солнечной радиации. Разработанный математический аппарат и выявленные закономерности пригодны для использования в целях установления ДНС в случаях, когда труп до обнаружения находился в условиях инсоляции, что подтверждается высокой точностью созданного метода.

Связь работы с научными программами, планами:

Диссертационное исследование выполнено по плану научных исследований, выполняемых в рамках подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре (номер государственной регистрации 121092800119-6 от 28 сентября 2021 года).

Протокол диссертационного исследования был одобрен комитетом по этике ФГБОУ ВО ИГМА Минздрава России (протокол № 09-21 от 21.10.2021).

Тема диссертационного исследования утверждена на заседании Учёного совета ФГБОУ ВО ИГМА Минздрава России (протокол № 4 от 30.11.2021).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Научные положения диссертации соответствуют пунктам 3, 13 паспорта научной специальности 3.3.5. Судебная медицина (медицинские науки).

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанный математический аппарат, представляющий собой новый вариант дискретной конечно-разностной модели, позволяет с высокой точностью воспроизводить кривые динамики температуры в глубоких отделах трупа в условиях воздействия на него прямой солнечной радиации в соответствии с физической природой моделируемого процесса.

2. Основным параметром, отражающим интенсивность воздействия солнечной радиации на труп в разработанной модели, является так называемый солнечный фактор (параметр S), значения которого достоверно изменяются в зависимости от времени года и световоспринимающих свойств поверхности трупа (одежды).

3. Методика оценки световоспринимающих свойств поверхности трупа (одежды), основанная на использовании офисного сканера, позволяет адекватно оценить влияние этих свойств на параметры математической модели и, тем самым, учесть индивидуальную способность поверхности мертвого тела к поглощению им солнечной радиации.

4. Расчетный вклад ошибки, обусловленной усреднением оценок параметра S , отражающего интенсивность воздействия на труп инсоляции, по своему абсолютному значению не превышает других составляющих общей ошибки диагностики давности смерти методом математического моделирования.

Апробация диссертации:

Апробация диссертации проведена на расширенном заседании кафедры судебной медицины с курсом судебной гистологии ФПК и ПП ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России с привлечением членов «Ассоциации судебно-медицинских экспертов», НП «Приволжско-Уральская Ассоциация Судебно-медицинских экспертов» и сотрудников БУЗ УР «Бюро судебно-медицинской экспертизы МЗ УР» (протокол № 6 от 20 июня 2024 г.).

Материалы диссертационного исследования доложены и обсуждены на:

Различные разделы диссертационной работы, отражающие результаты, полученные в ходе выполнения этапов исследования, докладывались на заседаниях НП «Приволжско-Уральская Ассоциация Судебно-медицинских экспертов» в ходе проводимых ею конференций:

- Научно-практическая конференция «Судебная медицина: Актуальные вопросы в рамках XV-ой Российской научно-практической конференции с международным участием «Здоровье человека в XXI веке» (г. Казань, 2023 г.);

- Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы судебно-медицинской экспертизы и патологической анатомии в современных условиях» (г. Уфа, 2023 г.);

- Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы судебно-медицинской экспертизы и патологической анатомии в современных условиях» (г. Уфа, 2024 г.);

Различные разделы настоящей работы на всем протяжении ее выполнения активно обсуждались на заседаниях методических советов судебно-экспертных организаций Челябинской области и Удмуртской Республики (2020-2024 гг.).

Публикации:

По теме диссертации опубликованы 6 научных работ, из них 6 в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикаций материалов исследований на соискание ученых степеней кандидатов и докторов наук.

Реализация результатов исследования:

Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедр судебной медицины: 1) кафедры судебной медицины с курсом судебной гистологии ФПК и ПП ФГБОУ ВО ИГМА МЗ РФ (г. Ижевск) 2) кафедры судебной медицины ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» МЗ РФ 3) ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера» Минздрава России; в практическую деятельность: 1) ГБУЗ «Бюро судебно-медицинской экспертизы» МЗ РБ (г. Уфа), 2) АНО научно-исследовательский институт судебной экспертизы «СТЭЛС», о чем имеются соответствующие акты внедрения.

Структура и объем диссертации:

Диссертация изложена на 172 листах компьютерного текста. Состоит из введения, обзора литературы, главы о материале и методах исследования, 2-х глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованной литературы, включающего 244 источника, в том числе 50 зарубежных. Диссертация содержит 34 рисунка и 16 таблиц. Приложение оформлено в виде сводных таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал, методы и этапы исследования:

Работа выполнена в два этапа на основе использования практического судебно-медицинского и экспериментального материала.

Основной целью первого этапа являлось определение путей учета воздействия прямой солнечной радиации при моделировании посмертного изменения температуры, а также определение количественных характеристик этого влияния.

В качестве экспериментального материала на этом этапе использовались заменяющие труп объекты (ЗТО, модели), имеющие геометрию человеческого туловища, и представляющие собой мешки из прочного полиэтилена, плотно заполненные умеренно влажным черноземом без посторонних включений. Выбор наполнителя был обусловлен необходимостью неограниченной продолжительности

использования и подходящими теплофизическими свойствами (теплоемкость и теплопроводность) материала (Bisegna P, Henssge C, Althaus L, Giusti G., 2008). Были изготовлены модели массой 5,5, 11, 16,5 и 22 кг. Перед экспериментами ЗТО плотно оборачивались в хлопчатобумажную ткань различных расцветок. Данные объекты использовались для проведения серий экспериментов в одних и тех же условиях, а также для серий экспериментов на одном и том же ЗТО, но с изменением цвета и фактуры тканей, имитирующих одежду трупа. В виду большой продолжительности исследований, проводимых на одном и том же объекте, использование трупов или биоблоков, изготовленных из трупных тканей, в этом варианте экспериментов было невозможно. Процедура термоизмерений каждого из объектов продолжалась с 00 часов 01 минуты до 19 часов 50 минут и обязательно захватывала как дневное время солнечной инсоляции, так и вечерне-ночной период, в течение которого влияние солнечной радиации исключалось.

В общей сложности на ЗТО было произведено 46 исследований. Общая продолжительность исследований – 984 часа, количество выполненных термоизмерений – 1810.

Главной задачей второго этапа была проверка возможности использования результатов анализа данных, полученных на первом этапе, при моделировании теплового состояния трупов, находившихся под прямыми солнечными лучами. Получены данные посмертной термометрии 10-ти трупов, поступивших на исследование в Челябинское областное бюро судебно-медицинской экспертизы за период 2020-2023 гг.

Продолжительность экспозиции трупа под прямыми солнечными лучами в наших экспериментах составляла от 3 до 6 часов.

Исследованию были подвергнуты трупы взрослых людей различного возраста с заведомо известной причиной и временем наступления смерти. Все трупы для исследования были подобраны таким образом, чтобы исключить грубую травматизацию тела (размятие и расчленение тела, массивные разрушения внутренних органов) и обильную кровопотерю. Из 10 трупов 7 принадлежали лицам мужского пола и 3 – женского. В 4-х случаях была констатирована ненасильственная смерть, в 3-х – смерть в результате отравления этиловым алкоголем, в 2-х – смерть в результате повешения, в 1-ом – в смерть в результате сдавления шеи петлей при удушении. Возраст варьировал от 23 до 59 лет. Вместе с тем, отметим, что указанные

выше факторы: пол, возраст и причина смерти, – по нашему мнению, не имеют отношения к влиянию солнечной радиации на процесс изменения температуры трупа.

Температура воздуха в тени, а также поверхностного слоя одежды трупов и ЗТО измерялась цифровым термометром с жидкокристаллическим дисплеем фирмы «hama». Термометр изготовлен с использованием специализированного микроконтроллера, предназначенного для измерения температур от двух термодатчиков. Один датчик, встроенный в корпусе термометра, для измерения температуры внутри помещения. Другой датчик выносной, для измерения температуры вне помещения. Выносной датчик подключается к прибору при помощи кабеля длиной до 3 м.

Температура в глубоких отделах трупа измерялась посредством аппаратно-программного комплекса для диагностики давности наступления смерти «Термит – 1» по методикам, предложенной Новиковым П.И. (1986) и Шведом Е.Ф. (2006).

Выбор точки измерения производился путем поиска наиболее теплой зоны внутри объектов с последующей фиксацией термошупа для последующих измерений температуры. Однако, после длительного воздействия на труп прямой солнечной радиации распределение температур внутри трупа (объекта) существенно меняется. Температура слоёв, прилежащих к нагреваемой излучением поверхности, существенно повышается. Теплоотдача из объекта в окружающую среду происходит через нижнюю поверхность и ложе под объектом. В результате форма распределения температур в объекте, длительно находившемся под прямыми солнечными лучами, можно схематически представить в виде графика, расположенного на рисунке 1.

Очевидно, что в таком температурном поле температурный экстремум по ходу введения шупа отсутствует. Поэтому вместо поиска наиболее теплой зоны, для таких случаев мы посчитали приемлемым измерение температуры в зоне, располагающейся в глубине объекта на уровне границы между средней и нижней третями объекта.

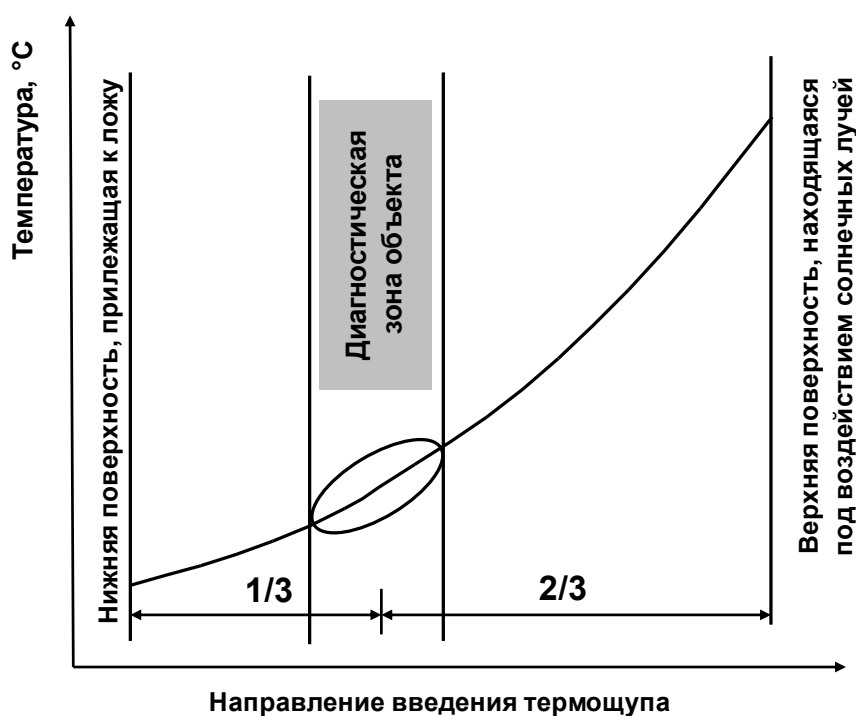


Рис. 1. Схематическое изображение распределения температур в объекте, длительно находящемся под воздействием инсоляции

Для моделирования процесса изменения температуры трупа в условиях инсоляции использован широко применяемый в современной математической физике метод конечных математических разностей (Витер В.И., Куликов В.А., 2001; Недугов Г.В., 2021). Применен упрощенный одномерный вариант этого метода, предложенный применительно к процессу посмертного охлаждения трупа Шведом Е.Ф. и Новиковым П.И. (1992). В основу указанного метода моделирования положено допущение о том, что передача тепла в трупе осуществляется не непрерывно из глубины трупа к его поверхности, а дискретно – от одного слоя к другому, причем количество этих слоев имеет вполне определенное конечное значение.

Математическая обработка полученного первичного исследовательского материала осуществлялась в соответствии с правилами, принятыми для медико-биологических исследований, на персональном компьютере с процессором Celeron M, 1,3 ГГц, операционной системой ASP Linux. В процессе оформления работы, формирования базы данных и статистической обработки данных использовались приложения пакета офисных программ *Open Office* (Writer и Calc), позволяющие работать с традиционными форматами коммерческих приложений MSWord и MS Excel. Вышеуказанное программное обеспечение относится к категории программных продуктов, на которые распространяется действие Стандартной Общественной Лицензии (GPL).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для правильной оценки механизмов влияния прямой солнечной радиации на процесс изменения температуры трупа исключительно важным является понимание того факта, что излучение солнца, главным образом, инфракрасная часть его спектра, нагревает не воздух, а поверхности и предметы, находящиеся в зоне прямых солнечных лучей. Таким образом, при безоблачной погоде и нахождении трупа под прямыми лучами солнца его лучистая энергия передается поверхности трупа (одежда, кожные покровы открытых частей тела), нагревая ее выше значений температуры воздуха, создавая более или менее постоянный температурный градиент между поверхностью мертвого тела и окружающим воздухом. В глубоких отделах трупа значения температуры начинают стремиться не к температуре воздуха, а к температуре поверхности трупа, нагретой солнечными лучами. Поэтому можно добиться существенного повышения точности диагностики ДНС, если в качестве параметра температуры среды, вместо предоставляемых метеослужбой значений температуры окружающего воздуха в тени, в расчетах использовать значения температуры поверхности трупа, нагретой солнцем.

В настоящей работе мы использовали вариант модели, состоящий из десяти узлов, расположенных на одном векторе теплопередачи. Временной континуум разбивали на интервалы продолжительностью 0,01 часа. За узел с нулевым индексом принимали наиболее инерционную – медленно остывающую зону трупа. Последний (десятый) узел соответствовал самому поверхностному слою. В начале моделирования для каждого виртуального слоя (узла) задавали первоначальные значения температуры, соответствующие реальному распределению температур в трупе на конкретный момент времени. Достоверность этих значений контролировалась путем сопоставления расчетной и реальной температурных кривых в первые десятки минут после начала термоизмерений.

Использованная математическая модель в дискретном виде может быть представлена системой уравнений, отражающих изменение значения температуры для каждого из узлов за определенный интервал времени небольшой продолжительности (в нашем случае – 0,01 часа). При этом величина и направление изменения температуры каждого из узлов определяется суммарным градиентом температур в данном узле и в двух соседних узлах, а также продолжительностью временного интервала.

В описанной дискретной математической модели (1) аналогом поверхности трупа является последний (десятый) узел модели. Для того чтобы симитировать воздействие на поверхность трупа солнечного излучения, предусмотрена возможность искусственного приращения значения температуры в этом узле. Такое приращение может задаваться для каждого из интервалов на всё время воздействия на труп прямых солнечных лучей.

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

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);

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

n – номера узлов (с 2-го по 9-й);

$t_{возд.}$ – температура воздуха;

C – коэффициент, отражающий теплообменные параметры трупа;

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

В формульном представлении, моделирование влияния солнечной радиации достигнуто введением дополнительной переменной (S) дискретное описание динамики температуры для последнего узла модели. При этом последняя часть системы уравнений (1) будет выглядеть так, как это представлено ниже (2):

$$\Delta t_{10} = C \times (t_9 + t_{возд.} - 2 \times t_{10}) \times \Delta \tau + S \times \Delta \tau \quad (2)$$

Таким образом, в рамках настоящего исследования нами разработан и использован вариант упрощенной конечно-разностной модели, описывающий процесс изменения температуры трупа при воздействии на него прямой солнечной радиации. Этот вариант может быть представлен в виде системы уравнений следующего вида (3):

$$\begin{cases} \Delta t_1 = C \times (t_2 - t_1) \times \Delta \tau \\ \Delta t_n = C \times (t_{n-1} + t_{n+1} - 2 \times t_n) \times \Delta \tau \\ \Delta t_{10} = C \times (t_9 + t_{возд.} - 2 \times t_{10}) \times \Delta \tau + S \times \Delta \tau \end{cases} \quad (3)$$

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);

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

n – номера узлов (с 2-го по 9-й);

$t_{возд.}$ – температура воздуха;

C – коэффициент, отражающий теплообменные параметры трупa;

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

S – солнечный фактор (интенсивность нагрева поверхности трупa солнечными лучами).

В представленных уравнениях (2, 3) введена новая переменная – S , отражающая интенсивность нагрева поверхности трупa солнечными лучами. В доступной судебно-медицинской литературе мы не встретили подобного способа учета влияния солнечной радиации. Поэтому сочли возможным ввести для переменной S собственное обозначение – «солнечный фактор».

Последующие этапы настоящего исследования были направлены на разработку способа установления значений этого фактора в контролируемых условиях эксперимента, а также условиях практической работы в зависимости от ряда параметров, характеризующих труп как открытую термодинамическую и световоспринимающую систему.

В ходе проведения экспериментов на ЗТО установлено, что наиболее значимое влияние на величину «солнечного фактора» с точки зрения точности описания моделируемых температурных процессов, оказывают масса самого объекта, время года, как фактор, определяющий сезонную динамику интенсивности инсоляции, и цвет текстильной ткани (одежды), покрывающей объект.

Зависимость между массой объекта (m) и значением параметра S графически представлена на рисунке 2.

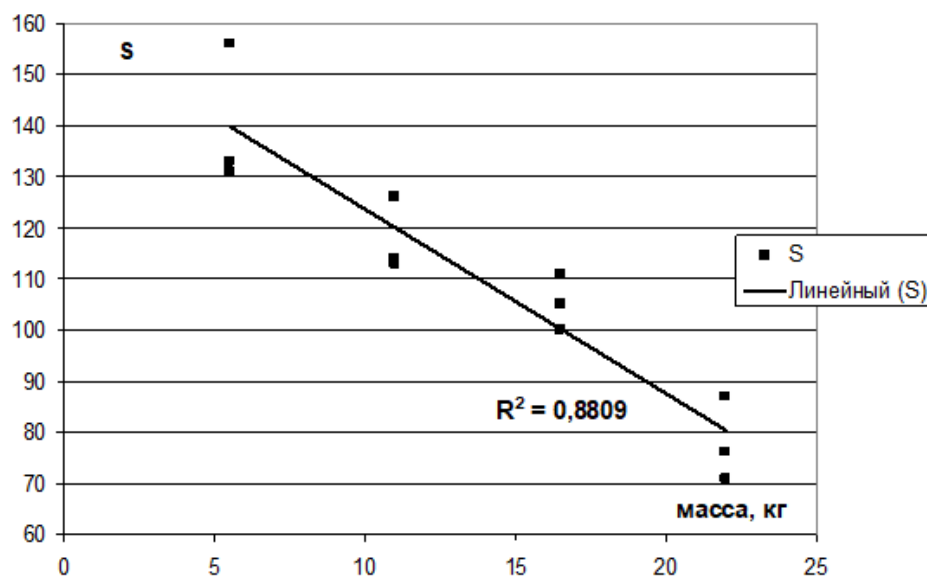


Рис. 2. Влияние массы ЗТО на значение «солнечного фактора» (S)

Наличие указанной зависимости подтверждено математически в ходе корреляционного анализа. Между массой объекта и величиной S установлена тесная

взаимосвязь, на что указывает получение коэффициента корреляции Пирсона (r) равного 0,9386.

В целом же указанная зависимость может быть описана уравнением:

$$S = -3,606 \times m + 159,8 \quad (4)$$

где S – солнечный фактор;
 m – масса объекта, кг.

Необходимо отметить, что в ходе экспериментов на реальных телах судебно-медицинской экспертизы (трупях) не удалось подтвердить наличия указанной зависимости, что можно объяснить, как относительно небольшим количеством проведенных экспериментов (9), так и малыми различиями значений веса изученных мертвых тел. Все тела, как уже было указано ранее, принадлежали взрослым лицам, и их вес колебался в относительно малых границах.

Это позволило сделать вывод, что, по крайней мере для трупов взрослых людей, можно рекомендовать к практическому применению средние значения «солнечного фактора» независимо от массы конкретного мертвого тела. Так, например, для летнего периода и для трупов людей, обернутых в хлопчатобумажную ткань черного цвета, такое среднее значение оказалось равным 100,5, а для трупов, обернутых в хлопчатобумажную ткань белого цвета, – 60,7.

Влияние времени года на значение «солнечного фактора» (S) изучалось на ЗТО массой 22 кг, покрытом черной хлопчатобумажной тканью. Исследования производились в зимний, летний и осенний периоды. При этом мы посчитали возможным не производить исследования в весенний период, поскольку основным фактором, определяющим сезонную динамику интенсивности инсоляции, является угол высоты солнцестояния, а этот показатель для весеннего и осеннего периодов является идентичным.

Установлены статистически достоверные различия между значениями «солнечного фактора» (S) для летнего, осеннего и зимнего периодов года. Оценки средних величин S для каждого из сезонов составили:

- для летнего периода 78,0;
- для осеннего периода 58,67;
- для зимнего периода 37,67.

Полученные данные позволили рассчитать понижающие коэффициенты значений «солнечного фактора» для весенне-осеннего и зимнего периодов года по отношению к максимальным значениям, устанавливаемым для летнего сезона. С

некоторым округлением, для практического применения могут быть предложены следующие значения сезонных коэффициентов (K_S):

- для осеннего периода 75%, ($\approx 58,67 / 78,0$);
- для зимнего периода 50%, ($\approx 37,67 / 78,0$).

Методом однофакторного дисперсионного анализа произведена статистическая обработка значений «солнечного фактора» (S), полученных при изучении результатов исследований, произведенных на ЗТО одной массы (22 кг) в летний период года, но обернутых в текстильную ткань разных цветов (черного, красного, желтого, зеленого, синего, белого). При этом выявлено наличие высокой значимости цвета ткани использованных образцов текстиля в формировании значения этого параметра. Полученные оценки средних значений S для каждого из цветов варьировали в пределах между 34 – для белой текстильной ткани и 78 – для черной ткани. При этом субъективно более темные цвета образцов ткани соответствовали более высоким значениям S .

Наличие статистически значимых различий «солнечного фактора» для одежды различного цвета ткани подтверждено и в экспериментах на трупах. Как пример, ниже представлен график (Рис. 3), демонстрирующий различие значений S для трупов, покрытых тканью черного и белого цветов.

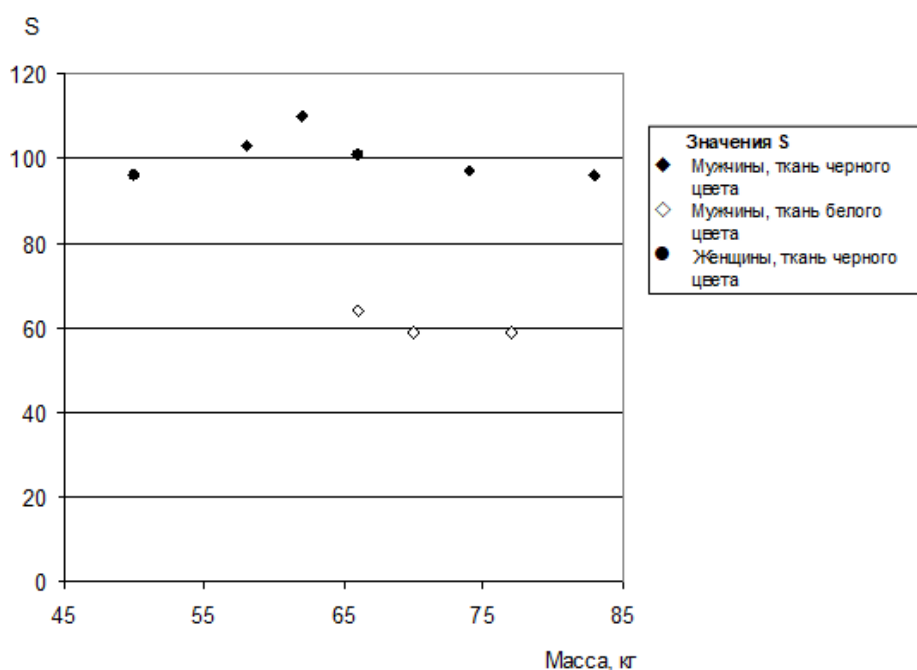


Рис. 3. Различия значений «солнечного» фактора (S) при различных цветах текстильной ткани, покрывающей труп

Для объективной оценки влияния световоспринимающих свойств образцов текстиля на значение «солнечного фактора» (S) в конкретном практическом случае

нами специально разработана методика, основанная на использовании офисного сканера. Методика состоит из двух этапов. На первом этапе производится сканирование образца текстиля и сохранение изображения образца текстиля в файле графического формата Bitmap (*.bmp). На втором этапе сохраненное в файле изображение анализируется специально разработанной компьютерной программой, производящей количественную оценку яркости образцов, выраженную в процентах, для которой нами введено обозначение « W ». Абсолютно черному цвету соответствует значение W , равное 0, абсолютно белому цвету – значение, равное 100%.

Установлено наличие статистически значимой (коэффициент корреляции 0,924) линейной зависимости между параметром S и уровнем яркости образца текстиля (W), что математически может быть выражено в виде уравнения линейной регрессии:

$$S = 80,7 - 0,487 \times W \quad (5)$$

где S – солнечный фактор;
 W – яркость поверхности, в % по отношению к белому.

Методика проверена и в исследованиях на трупах в летний период с использованием двух образцов текстильной ткани – черного и белого цветов. Полученные средние значения «солнечного фактора» для этих цветов текстиля (соответственно, 100,5 и 60,7) позволяют рассчитать коэффициенты линейной регрессии зависимости «солнечного фактора» (S) от уровня яркости (W) для трупа (в летний период года):

$$S = 104,4 - 0,485 \times W \quad (6)$$

где S – солнечный фактор;
 W – яркость поверхности, в % по отношению к белому.

Именно это выражение (с использованием сезонных понижающих коэффициентов) можно рекомендовать для использования при определении значений параметра S для практического моделирования температурных процессов в целях диагностики ДНС.

Необходимо также принимать во внимание, что для определения абсолютных значений констант, отражающих интенсивность воздействия инсоляции на труп, существенное значение имеют географическое положение (географическая широта) и условия микроклимата, прежде всего, прозрачность атмосферы на месте проведения исследований.

Настоящее исследование проводилось в условиях промышленного города – Челябинска. Его географические координаты $55^{\circ}10'$ северной широты и $61^{\circ}24'$ восточной долготы. Есть все основания для правомерности использования без сколько-нибудь существенной корректировки результатов настоящего исследования в местностях, относящихся к Средней полосе России. К этой зоне можно отнести такие города, как Москва, Казань, Уфа, Екатеринбург, Ижевск, Курган, Новосибирск, Кемерово, Красноярск и др. Для других территорий, значительно отличающихся по географическому положению от Челябинска в южную или северную сторону, по-видимому, необходимо использование дополнительного поправочного зонального коэффициента (K_Z), уточнение которого потребует определенных исследований в конкретных местностях.

С учетом всего вышеизложенного, окончательная формула для расчета так называемого «солнечного фактора» (S), отражающего интенсивность воздействия солнечной радиации на труп, может быть представлена в следующем виде:

$$S = 104,4 \times K_S \times K_Z - 0,485 \times W \quad (7)$$

где S – солнечный фактор;
 K_S – сезонный коэффициент;
 K_Z – зональный коэффициент;
 W – яркость поверхности, в % по отношению к белому.

Статистическая обработка результатов математического моделирования процесса охлаждения трупа в условиях воздействия на его поверхность солнечного излучения и термоизмерений, полученных на экспериментальном материале, позволяет оценить возможную ошибку определения давности смерти, накапливаемую за 6,4-8,5 часов наблюдений, – $\pm 0,42$ часа (± 25 минут) при $p=0,05$. Значения полученных отклонений реальной и моделируемой температурных кривых (ошибка определения давности смерти) приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Величина отклонения (ошибки) определения давности смерти
термометрическим методом в условиях инсоляции**

№ п/п	Цвет ткани	Δt , час.	№ п/п	Цвет ткани	Δt , час.
1	Черный	+0,10	6	Черный	+0,20
2	Черный	-0,06	7	Белый	-0,35
3	Черный	-0,15	8	Белый	+0,05
4	Черный	-0,35	9	Белый	+0,10
5	Черный	+0,15			

В процентном отношении указанная величина погрешности составляет 5,6% от продолжительности инсоляции.

Все вышеизложенное позволило сделать ряд выводов.

ВЫВОДЫ

1. Результатом работы явилось создание на основе описанных ранее математических моделей нового математического аппарата, позволяющего корректно учитывать при моделировании посмертного изменения температуры трупа воздействие на этот процесс прямой солнечной радиации.

Указанный вариант модели представлен в виде системы уравнений (3).

Соответствие разработанной математической модели реальным температурным кривым проверено путем глубокой термометрии в исследованиях на замещающих труп объектах (ЗТО) и на трупах людей при воздействии на них прямой солнечной радиации.

2. По результатам исследований на ЗТО и на трупах людей установлены факторы, определяющие значение параметра, отражающего интенсивность влияния солнечной радиации на посмертную динамику температуры трупа – солнечный фактор (S). Значение солнечного фактора определяется исходя из величины световоспринимающей способности поверхности объекта и календарного времени года, от которого зависит угол падения солнечных лучей на объект.

3. Для оценки влияния световоспринимающей способности поверхности объекта разработана оригинальная методика определения яркости текстильных тканей (W) посредством офисного сканера. Влияние календарного времени года воспроизводится введением в модель специального сезонного коэффициента K_s . Для использования метода в различных регионах на территории России предложен специальный поправочный коэффициент (K_z), основанный на данных о количественных уровнях интенсивности солнечной радиации на разных широтах.

С учетом вышеизложенного, формула для расчета солнечного фактора (S), отражающего интенсивность воздействия солнечной радиации на труп, может быть представлена в виде уравнения (7).

4. Разработанный математический аппарат и выявленные закономерности пригодны для использования в целях установления ДНС в случаях, когда труп до обнаружения находился в условиях инсоляции, что подтверждается высокой точностью созданного метода. Оценка составляющей погрешности моделирования

температуры, обусловленной учетом влияния солнечной радиации, по результатам настоящего исследования при $p=0,05$ составила 25 минут за период инсоляции (6,4-8,5 часов), что не превышало 5,6% от продолжительности инсоляции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании результатов настоящей работы предложены следующие рекомендации, выполнение которых позволяет при определении давности смерти путем моделирования тепловых процессов в трупe учитывать влияние на динамику температуры мертвого тела прямой солнечной радиации.

1. Производить диагностику ДНС на основе данных глубокой термометрии туловища трупа, в наиболее теплой зоне печени по принятой методике. В качестве измерительного устройства можно использовать любой портативный электронный термоизмерительный прибор, обеспечивающий возможность инвазивного термоизмерения в тканях трупа на достаточной глубине (не менее 18-20 см) при точности и разрешающей способности термоизмерений не менее $0,1^{\circ}\text{C}$.

2. Получить через следователя необходимую информацию о метеоусловиях (температура воздуха, облачность) на месте происшествия за период, заведомо превышающий давность смерти. Совместно со следователем установить, в какие периоды времени на труп могла воздействовать прямая солнечная радиация, с учетом суточного хода солнца и наличия предметов, отбрасывающих тень.

3. Программный расчет производится автоматически с использованием табличного процессора Calc из свободного офисного пакета Open Office либо аналогичного коммерческого продукта Microsoft Excel, в таблице которых воспроизводится специальная модификация конечно-разностной (послойной) математической модели, описывающей процесс изменения температуры трупа при воздействии на него прямой солнечной радиации (3).

Альтернативным вариантом построения моделей является составление диагностических программ в средах программирования высокого уровня (Delphi, Visual C#, Visual Basic и др.).

Изменяя точку начала моделируемого процесса, необходимо добиться совпадения результата термоизмерения с моделью. При таком совпадении точка начала моделирования процесса будет считаться результатом определения времени смерти.

4. Для оценки теплообменной характеристики (C) предлагается использовать зависимость параметра C от массы трупа, полученную по результатам исследований, произведенных на трупах:

$$C = 6,0114e^{-0,012m},$$

где C – теплообменная характеристика трупа;
 m – масса трупа.

5. Оценку солнечного фактора (S) производить с учетом световоспринимающих свойств текстильного материала поверхностного слоя одежды. Для этого получить изображение образца текстиля посредством офисного сканера и сохранить его побитовый образ в компьютерном файле – формат Windows Bitmap (*.bmp). Используя специальное программное обеспечение преобразовать изображение в 8-битный цветовой режим «градаций серого», рассчитать среднюю яркость образца (W) в процентах (0% – абсолютно черный цвет, 100% – абсолютно белый цвет).

Значение солнечного фактора (S) рассчитать по формуле (7).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Новиков, П.И. Погодные условия и их влияние на процесс изменения температуры трупа при диагностике давности смерти / П.И. Новиков, **С.А. Белых**, Е.Ф. Швед, Е.О. Нацентов // Судебно-медицинская экспертиза. 2004; – т. 47 (1). – С. 13-14.
2. Новиков, П.И. Методологический анализ проблемы давности смерти и перспективы ее дальнейшей разработки / П.И. Новиков, А.Ю. Власов, Е.Ф. Швед, Е.О. Нацентов, Н.В. Коршунов, **С.А. Белых** // Судебно-медицинская экспертиза, 2004; – т. 47 (3) – С. 9-11.
3. Вавилов, А. Ю. Математическое моделирование процесса изменения температуры трупа при воздействии на него прямой солнечной радиации в целях диагностики давности смерти / А.Ю. Вавилов, **С.А. Белых**, Е.Ф. Швед // Судебно-медицинская экспертиза. 2023; – т. 66 (6). – С. 18-23. <https://doi.org/10.17116/sudmed20236606118>.
4. Вавилов, А.Ю. Моделирование посмертной температуры трупа, находившегося в условиях инсоляции, при определении давности смерти человека по тепловому способу / А.Ю. Вавилов, **С.А. Белых**, А.Е. Пастернак // Современные проблемы науки и образования. - 2024. - № 6 2024; URL: <https://science-education.ru/article/view?id=33761> (дата обращения: 16.12.2024). <https://doi.org/10.17513/spno.33761>.
5. Вавилов, А.Ю. Способ объективизации яркости цвета одежды на трупе для целей термометрической диагностики давности смерти человека / / А.Ю. Вавилов, **С.А. Белых** // Современные проблемы науки и образования. – 2025. – № 1.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33789> (дата обращения: 16.12.2024). <https://doi.org/10.17513/spno.33789>.
6. **Белых, С.А.** Определение величины «солнечного фактора» при математическом моделировании процесса изменения температуры трупа в условиях инсоляции / С.А. Белых, А.Ю. Вавилов // Судебно-медицинская экспертиза. – 2025; – т. 68 (2). – С. 25-30. <https://doi.org/10.17116/sudmed20256802125>.

АННОТАЦИЯ

Белых Сергей Александрович (Россия)

Диагностика давности наступления смерти по процессу изменения температуры трупа в условиях инсоляции

Диссертация посвящена разработке способа количественного учета влияния солнечного излучения на динамику посмертного охлаждения трупа при определении давности смерти человека с помощью специальной модификации конечно-разностной (послойной) математической модели. Исследования выполнялись как на замещающих труп объектах различного веса (мешках из плотного полиэтилена, заполненных черноземом), так и на реальных объектах судебно-медицинской экспертизы – трупах взрослых лиц различного пола. Все объекты оборачивались в ткань разных расцветок, имитирующую одежду, и изучались в условиях воздействия на тело прямой солнечной радиации. Температура объектов замерялась высокоточным ($0,001^{\circ}\text{C}$) электронным термометром в динамике всего исследования. На базе созданной конечно-разностной математической модели изучена термодинамика объектов и установлена величина «солнечного фактора» в зависимости от массы тела, времени года, яркости ткани одежды (ее световоспринимающей способности). Предложена формула расчета величины «солнечного фактора» для использования его значения в процессе моделирования температуры трупа при воздействии на него солнечной радиации и определении давности смерти человека. Соотношение реальной давности смерти и ее моделируемых (расчетных) значений позволило оценить возможную ошибку определения давности смерти, накапливаемую за 6,4–8,5 часов наблюдений, как составляющую $\pm 0,42$ часа (± 25 минут).

SUMMARY

Sergey Belykh (Russia)

Diagnosis of the Prescription of Death by the Process of Changing the Temperature of the Corpse under Insolation Conditions

The thesis is devoted to the development of a method for quantifying the effect of solar radiation on the dynamics of postmortem cooling of a corpse when determining the

prescription of a person's death using a special modification of a finite-difference (layer-by-layer) mathematical model. The studies were carried out both on objects of various weights replacing the corpse (bags of dense polyethylene filled with black earth) and on real objects of forensic medical examination - corpses of adults of various lap. All objects were wrapped in fabric of different colors, imitating clothes, and studied under the conditions of exposure to direct solar radiation on the body. The temperature of the objects was measured by a high-precision (0.001°C) electron thermometer in the dynamics of the entire study. On the basis of the created finite-difference mathematical model, the thermodynamics of objects was studied and the value of the "solar factor" was established depending on body weight, season, brightness of clothing fabric (its light-perceiving ability). A formula for calculating the value of the "solar factor" is proposed for using its value in the process of modeling the temperature of a corpse under the influence of solar radiation and determining the age of death of a person. The ratio of the real age of death and its modeled (calculated) values made it possible to estimate the possible error in determining the age of death, accumulated over 6.4-8.5 hours of observation, as a component of ± 0.42 hours (± 25 minutes).

Белых Сергей Александрович
Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Подписано в печать 28.01.25 г. Формат 60x84/17
Гарнитура Times New Roman. Тираж 100 экз. Зак. 856
Отпечатано в РИО ФГБОУ ВО ИГМА Минздрава России
426034, г. Ижевск, ул. Коммунаров