

Министерство сельского хозяйства и продовольствия  
Республики Беларусь

Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия  
ветеринарной медицины

**Кафедра радиологии и биофизики**

**ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
В ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЕ**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО**

Витебск  
ВГАВМ  
2021

УДК 619:616-073  
ББК 48.61  
Т34

Утверждено Департаментом ветеринарного и продовольственного  
надзора Министерства сельского хозяйства и продовольствия  
Республики Беларусь от 20.05.2021 г.

Авторы:

кандидат ветеринарных наук, доцент *А. Л. Лях*;  
кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель *Е. В. Ховайло*;  
кандидат ветеринарных наук, доцент *В. А. Ховайло*;  
старший преподаватель *А. Н. Толкач*

Рецензенты:

доктор ветеринарных наук, профессор *Ю. К. Коваленок*;  
кандидат ветеринарных наук, доцент *В. И. Иванов*

**Тепловизионные исследования в ветеринарной медицине :**  
Т34 практическое руководство / А. Л. Лях [и др.] – Витебск : ВГАВМ, 2021. – 26 с.

Практическое руководство предназначено для ветеринарных специали-  
стов, научных работников, преподавателей, студентов, магистрантов, аспиран-  
тов, слушателей ФПК и ПК с целью использования в учебной, научно-  
исследовательской и практической работе.

**УДК 619:616-073**  
**ББК 48.61**

© УО «Витебская ордена «Знак Почета»  
государственная академия ветеринарной  
медицины», 2021

Электронное практическое руководство

**Лях Александр Леонтьевич,**  
**Ховайло Елизавета Владимировна,**  
**Ховайло Владимир Анатольевич и др.**

## **ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЕ**

Текстовое электронное издание сетевого распространения

Ответственный за выпуск	Е. Л. Большакова
Технический редактор	О. В. Луговая
Компьютерный набор	Е. В. Ховайло
Компьютерная верстка	Е. В. Морозова
Корректор	Е. В. Морозова

Для создания электронного издания использовалось  
следующее программное обеспечение:  
Microsoft Office World 2007,  
doPDF v 7.

Минимальные системные требования:  
InternetExplorer 6 или более поздняя версия;  
Firefox 30 или более поздняя версия;  
Chrome 35 или более поздняя версия.  
Скорость подключения не менее 1024 Кбит/с.

Дата размещения на сайте 07.06.2021 г.  
Объем издания 2358 Кб  
Режим доступа: <http://www.vsavm.by>

Учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»  
государственная академия ветеринарной медицины».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/362 от 13.06.2014.  
ЛИ №: 02330/470 от 01.10.2014 г.  
Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.  
Тел.: (0212) 48-17-82  
E-mail: [rio\\_vsavm@tut.by](mailto:rio_vsavm@tut.by)  
<http://www.vsavm.by>

## Оглавление

Введение	5
1. Понятие о тепловом излучении. Распределение температуры тела	6
2. Устройство, принцип работы и настройки тепловизора	10
3. Настройки тепловизора	11
4. Возможности и ограничения применения тепловизора в ветеринарии	15
5. Методика проведения тепловизионного исследования животного	18
6. Клинические примеры тепловизионных исследований в ветеринарной практике	20
Заключение	25
Литература	26

## Введение

Термография – метод диагностики, в основе которого лежит регистрирование инфракрасного излучения тела.

Абсолютно все тела, независимо от их природы, испускают электромагнитные волны в достаточно широком диапазоне длин волн, в том числе и инфракрасное излучение, иначе называемое тепловым. Регистрируя инфракрасное излучение обследуемого объекта, тепловизор формирует визуально видимое изображение на своем дисплее. Тепловизионное исследование не требует использования для животных анестезии и не подвергает их воздействию потенциально опасного излучения. Более того, даже не нужно трогать или удерживать животное.

Регистрация распределения температуры по поверхности тела человека называется термографией и является диагностическим методом. При термографии регистрируется собственное излучение тела, поэтому этот диагностический метод абсолютно безвреден, не имеет противопоказаний и может служить средством массового профилактического обследования населения, поскольку позволяет наблюдать изменения в распределении поверхностной температуры на ранних стадиях развития патологий.

Данный вид исследования позволяет определить количество крови в тканях и интенсивность обмена веществ в организме [1]. При нарушении кровообращения в тканях наблюдается разница показателей, которую удастся определить термографом. Термографию применяют в качестве диагностики для установления проблемной области. Используют для определения изменений температуры тела, чтобы локализовать «подозреваемые области», для определения существующих причин и смысла температурной разницы. Также термографию применяют при диспансеризации, в таких случаях термография используется для выявления субклинических проблем [2, 9].

Иностранные ученые уже не первый год занимаются термографией как бесконтактным, неинвазивным методом диагностики заболеваний различной этиологии [5, 6, 7, 8, 12]. Основой термографии является изменение интенсивности инфракрасного излучения патологического очага.

В медицине информативность ИК-термографии подтверждена при диагностике различных новообразований — меланомы кожи, рака языка, гортани, плоскоклеточного рака и базалиомы ушной раковины и сосцевидного отростка [1, 3, 4, 10].

В ветеринарии имеется ряд работ по использованию термографии для диагностики воспалительных заболеваний суставов и мягких тканей у лошадей [11], для выявления стельности у коров и овец в стаде (отаре), не проводя индивидуального осмотра [5].

## 1. Понятие о тепловом излучении. Распределение температуры тела

Любые тела испускают электромагнитные волны, в том числе и инфракрасное или тепловое излучение. Верхняя граница ИК-излучения определяется светочувствительностью человеческого глаза и граничит с видимым светом с длиной волны 0,76 мкм, а нижняя граница достаточно условна, до 1000-2000 мкм и перекрывается диапазоном радиоволн. В ИК-диапазоне есть участки, где излучение достаточно интенсивно поглощается окружающей исследуемый объект атмосферой, так, в ней присутствует углекислый газ, озон, водяной пар, но с увеличением длины волн влияние этих помех сильно снижается. Биологические объекты с температурой в диапазоне от 31 до 42°C излучают в диапазоне 6-50 мкм, а максимум спектральной плотности приходится на длину волны около 10 мкм. Основным и наиболее часто используемым рабочим диапазоном тепловизионной аппаратуры являются 3-5,5 мкм (средневолновой ИК-диапазон, или MWIR) и 8-14 мкм (длинноволновой ИК-диапазон, или LWIR). Именно в этих диапазонах длин волн помехи для их регистрации со стороны среды минимальны, а излучательная способность наблюдаемых объектов с температурой от -50 до +500°C максимальна [2].

Говоря о распределении температуры тела, нельзя привести некую норму или средний показатель, универсальный для всех животных. Можно руководствоваться некоторыми особенностями распределения температуры тела и проводить сравнение симметричных участков тела либо сравнивать термограмму обследуемого животного с аналогичным здоровым животным. Температура кожи у здоровых животных распределяется симметрично относительно оси, расположенной в медианной плоскости тела. Различная температура тела на симметричных участках или участках с разной толщиной кожи и глубиной залегания кровеносных сосудов служит основным критерием для тепловизионной диагностики патологического процесса. Нередко тепловое распределение является более важным диагностическим параметром, чем абсолютная температура. Термограмма, полученная современными тепловизионными приборами, позволяет анатомически точно визуализировать поврежденную область и выявлять начальные стадии нарушений микроциркуляции крови. Температура кожи, измеряемая тепловизором, коррелирует с уровнем кровотока и является маркером сосудистых дисфункций. По данным литературы, показатели термограммы коррелируют с результатами лазерной доплеровской визуализации при заболеваниях, поражающих кожу и систему микроциркуляторного русла крови [9, 12].

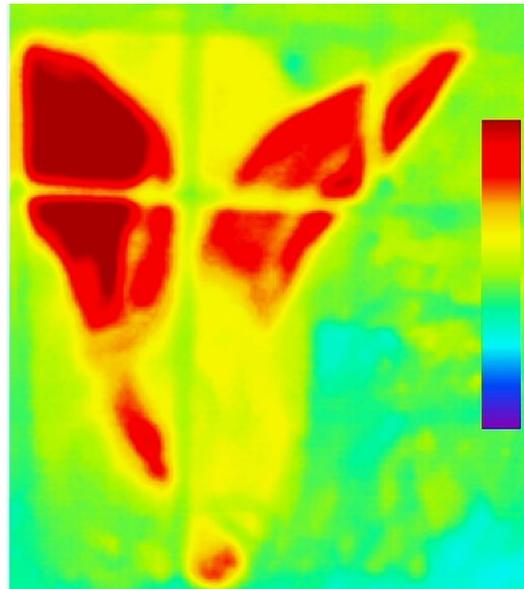
У здоровых животных в норме присутствуют естественные очаги более высокой местной температуры на поверхности тела: область глаз, носа, губ; внутренняя поверхность ушей (рисунки 1, 1а, 2, 2а, 3, 3а). Наличие более теплых участков тела может быть связано:

- ✓ с отсутствием волосяного покрова;
- ✓ с более интенсивным кровоснабжением по сравнению с соседними участками;
- ✓ с поверхностно расположенной сосудистой сетью;
- ✓ с усиленной теплоотдачей для охлаждения организма.

Поэтому термограмму обязательно следует совмещать с другими методами обследования (осмотр, пальпация, сбор анамнеза).



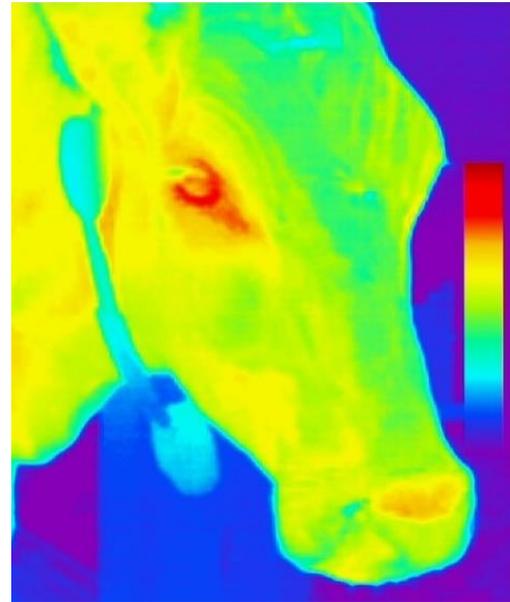
**Рисунок 1 – Голова здорового кролика.  
Фотография**



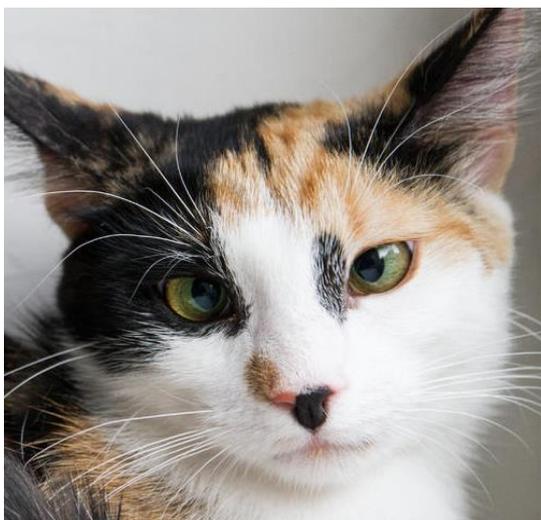
**Рисунок 1а – Голова здорового кролика.  
Нормальное распределение температуры  
в области головы. Термограмма**



**Рисунок 2 – Голова здоровой коровы.  
Фотография**



**Рисунок 2а – Голова здоровой коровы.  
Нормальное распределение температуры  
в области головы. Термограмма**



**Рисунок 3 – Здоровая кошка.  
Фотография**

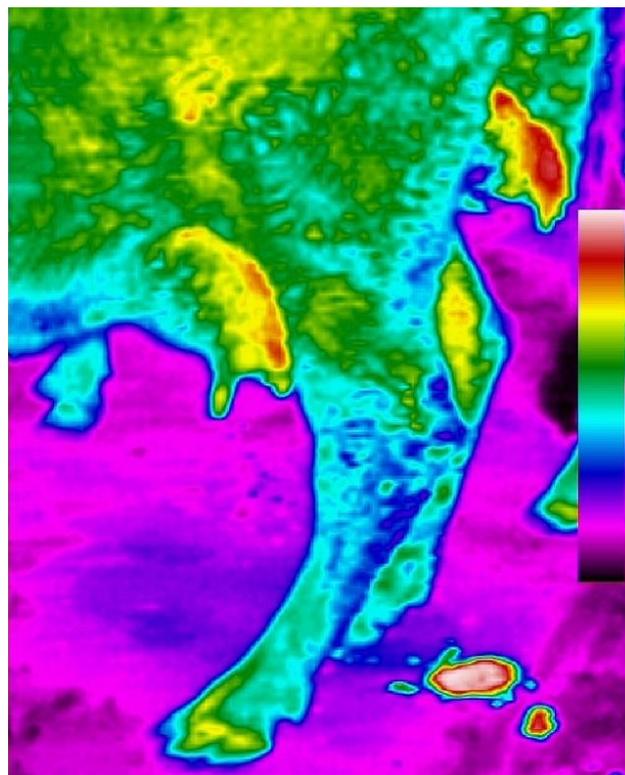


**Рисунок 3а – Голова здоровой кошки.  
Нормальное распределение температуры  
в области головы. Термограмма**

Наличие мышц и степень их развития влияет на распределение температуры тела. Так, на конечности температура снижается в дистальном направлении (рисунки 4, 4а) и составляет 35-38°C в проксимальном направлении, 31-34°C – в дистальном направлении.



**Рисунок 4 – Тазовые конечности коровы.  
Фотография**



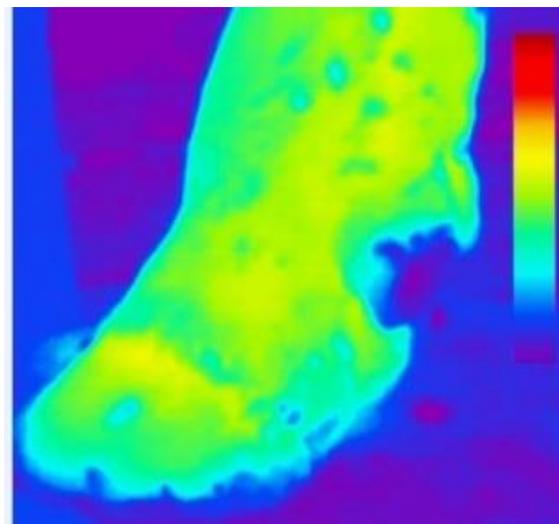
**Рисунок 4а – Тазовые конечности коровы.  
Нормальное распределение температуры  
(снижение температуры в дистальном  
направлении). Термограмма**

В области пальца (пальцев) температура различается в зависимости от наружного покрова: участки, покрытые кожей, на термограмме выглядят более теплыми, по

сравнению с участками, закрытыми роговым чехлом (рисунки 5, 5а). На здоровом копытке из-за рогового чехла температура составляет около 20°C и только в области подушки мякиша, где роговой слой очень тонкий и хорошо развита гиподерма, температура будет выше, достигая 30-33°C (рисунки 5, 5а, 6, 6а).



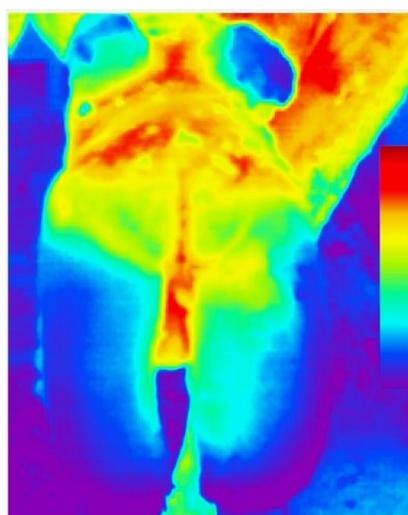
**Рисунок 5 – Здоровое копытке коровы.  
Фотография (вид сбоку)**



**Рисунок 5а – Здоровое копытке коровы.  
Нормальное распределение температуры.  
Термограмма (вид сбоку)**



**Рисунок 6 – Здоровые пальцы коровы. Фотография**



**Рисунок 6а – Здоровые пальцы коровы.  
Нормальное распределение температуры.  
Термограмма**

Таким образом, при интерпретации термограммы необходимо в качестве условной нормы принимать температуру симметричного, здорового участка тела, а также учитывать наличие мест с физиологическим повышением местной температуры.

## 2. Устройство, принцип работы и настройки тепловизора

Тепловизор – это сложная оптико-электронная система, которая позволяет формировать визуально видимое изображение на дисплее при регистрации инфракрасного излучения обследуемого объекта или области пространства. Принцип работы тепловизора основан на наличии разницы температур поверхности разных тел, отличиях в их отражающей или поглощающей способности инфракрасного излучения. Это позволяет в реальном времени формировать картину распределения температуры в исследуемой области, ассоциируя определенный цвет на дисплее с конкретной температурой, при этом температурное разрешение может достигать 0,08 градуса.

Для изготовления объективов тепловизионных приборов используется монокристаллический германий, также могут применяться халькогенидное стекло, сапфир, селенид цинка, кремний и полиэтилен. Фоточувствительным элементом тепловизионного прибора является двумерная многоэлементная матрица фотоприемников, изготовленных на основе различных полупроводниковых материалов. Технологий производства инфракрасных чувствительных элементов достаточно много, однако в современных тепловизионных приборах можно отметить подавляющее превосходство микроболометрических матриц на основе аморфного кремния и оксида ванадия, которые не требуют применения специальных систем охлаждения для снижения инфракрасных шумов от посторонних, не исследуемых в данный момент, объектов. Микроболометр представляет собой приемник энергии инфракрасного излучения, действие которого основано на изменении электропроводности чувствительного элемента при нагревании его вследствие поглощения излучения. Чувствительный материал поглощает инфракрасное излучение, вследствие чего, согласно закону сохранения энергии, чувствительная площадка пикселя (единичного фотоприемника в матрице) микроболометра нагревается. Внутренняя электрическая проводимость материала изменяется, а эти изменения регистрируются и обрабатываются электронным измерительным блоком прибора. Конечным итогом является монохромная или цветная визуализация температурной картины на дисплее прибора. Отметим, что цветность, в которой отображается температурная картина на дисплее, целиком и полностью зависит от работы программной части тепловизионного прибора.

### 3. Настройки тепловизора

Для бесконтактного измерения и регистрации температуры на поверхности тела необходимо подобрать тепловизор, который будет отвечать определенным требованиям, которые обеспечат получение термограммы животного, пригодной для интерпретации данных.

Современные тепловизоры, представленные на рынке, характеризуются многообразием моделей, назначений и конфигураций. Есть камеры с базовым набором функций, которые компактны, легки и стоят дешево, которые прекрасно подходят для инспекции небольших объектов и целиком всего тела. Есть модели, подходящие для сканирования с безопасного расстояния целых зданий, линий электропередач, группы биологических объектов, которые позволяют производить измерения и составлять отчеты, но размеры и вес таких тепловизоров уже несколько больше и стоимость значительно выше. Существуют стационарные узкоспециализированные тепловизионные системы. Однако есть определенные моменты, которые будет полезно учесть при выборе тепловизора под любой бюджет и применение.

**1. Разрешение детектора.** У большинства инфракрасных камер разрешение меньше, чем у обычных фото или видеокамер видимого спектра, поэтому особое внимание нужно уделять разрешению детектора. Чем выше разрешение, тем точнее детализация измерений объектов меньшего размера или с более дальней дистанции. Высокое разрешение позволяет получать более четкие термограммы, делая результаты исследования более точными. Также существует разница между разрешением детектора и разрешением дисплея. Часто производители сосредотачивают внимание клиентов на высоком разрешении ЖК-дисплея, чтобы скрыть слабость детектора. Например, если разрешение экрана 640x480, а детектора – только 160x120, то высокое разрешение дисплея никак не повлияет на качество теплового изображения и на точность измерений, все это напрямую зависит от разрешения детектора.

**2. Встроенная цифровая камера видимого спектра и лазерный указатель.** Многие, даже бюджетные, модели тепловизоров оснащаются встроенными 3-5-мегапиксельными цифровыми камерами, захватывающими изображения видимого спектра вместе с инфракрасными. Цифровые фото, соответствующие тепловизионным изображениям помогают документировать проблему и более понятно, привычно и наглядно передать ее местонахождение.

Встроенные лазерные указатели помогают, особенно когда нужно отметить область, окруженную похожими тканями. Лазерные маркеры хорошо видны на цифровых фотографиях видимого спектра, поэтому отмеченные места можно быстро найти на ИК-изображении, где они также отмечены – и на дисплее камеры, и на сохраненном изображении.

**3. Точные и воспроизводимые результаты.** Инфракрасные камеры не только позволяют увидеть разницу температур, они также могут измерить их, а это значит, что точность и надежность измерений – важный фактор при определении качества и функциональности тепловизора. Чтобы получать максимально точные результаты, необходимо выбирать тепловизор с погрешностью измерения, не превышающей  $\pm 2$  градуса. Чтобы предоставлять точные и воспроизводимые результаты, инфракрасная

камера должна быть оснащена встроенными инструментами для ввода значений излучательной способности и отраженной температуры. Тепловизор, позволяющий вводить и настраивать эти параметры, будет давать точные температурные измерения прямо на месте исследования.

**4. Сохранение данных в стандартных форматах, которые поддерживаются всеми устройствами.** Лучшим выбором будет камера, сохраняющая изображение в стандартном JPEG-формате со встроенным полным анализом температур. Это позволяет отправлять изображения по электронной почте без потери информации. Радиометрические JPEG-файлы могут быть импортированы с устройств, поддерживающих Wi-Fi, на мобильные устройства для дальнейшей обработки и анализа в специальных приложениях, и не нужно тратить время на конвертирование. Нужно выбирать камеру, которая выводит потоковое видео в формате MPEG 4 на компьютер или монитор через USB-порт. Это особенно важно при съемке теплового излучения в динамике, например при наблюдении большого количества биологических объектов в процессе движения. Некоторые тепловизоры оснащаются композитными видеовыходами или выходами HDMI.

**5. Эргономика.** Вес может оказаться важным условием при выборе тепловизора, если планируется длительная и частая работа с ним, а также работа с незафиксированными животными. Более легкая камера – это меньше нагрузки на исследователя, а также его мобильность. Важным фактором является наличие интерактивного контроля. Клавиши должны быть удобно расположены и их назначение интуитивно понятно.

**6. Режимы Картинка-в-картинке и совмещение изображений.** Режим «Картинка-в-картинке» позволяет накладывать ИК-изображение поверх соответствующей фотографии в изолированном окне. Это позволяет четко обозначить местонахождение патологического очага. Ик-камеры с расширенными функциями также имеют режим слияния изображений, позволяющий создавать композитные изображения. В этом режиме вы сможете выбирать соотношение ИК и цифрового снимков на одной картинке.

**7. Температурный диапазон и чувствительность.** Значения температурного диапазона – это минимальная и максимальная температуры, которые может измерить камера. Чувствительность – это наименьшая разница температур двух объектов, которую может определить тепловизор (например, 0,05°C). Тепловизоры способны точно регистрировать инфракрасное излучение с поверхности тела. Кроме того, в них реализована функция измерения абсолютных значений температуры в каждой точке патологического очага.

Приведенные в данном издании термограммы получены при использовании тепловизора RGK TL-160. Технические характеристики прибора представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Технические характеристики тепловизора RGK TL-160**

<b>Показатель</b>	<b>Значение, единицы измерения</b>
Детектор <sup>1</sup>	160 x 120 FPA
Температурный диапазон	от -20° до +150°C; 0° до +350°C
Термочувствительность	0,08°C при +30°C
Оптическое поле зрения	25° x 19°
Частота обновления кадров	50 Гц
Пространственная разрешающая способность (IFOV) <sup>2</sup>	2,78 мрад
Увеличение	1-32X
Экран	2,8 дюйма ЖК, 240 × 320 пикселей
Погрешность	±2°C или ±2% от показания
Коэффициент излучения	0,01-1,0 (таблица/ручной режим)
Устройство хранения	8 Гб, карта micro-SD
Камера видимого диапазона	5 мегапикселей
Объектив камеры видимого диапазона	59°
Диапазон рабочих температур	-20°C до +50°C
Диапазон температур при хранении	от -40°C до +70°C
Вес	0,5 кг
Размер	224 x 77 x 96 мм
Минимальное расстояние фокусировки	0,5 м
Цветовые палитры	железо, радуга, серый, контраст
Формат снимков	JPEG
Количество снимков	> 2000
Разъёмы	мини USB, HDMI, аудио выход, разъем для microSD карты
Батарея	ион-литиевая батарея, время работы 4 часа

*Примечания:* 1. Элемент прибора, улавливающий фотоны инфракрасного излучения в заданном диапазоне и преобразующий энергию этого излучения в электрический сигнал, который в дальнейшем используется программной частью тепловизора для построения визуальной картинки в соответствии с выбранной палитрой визуализации.

2. Пространственное разрешение – это параметр тепловизионной диагностики, характеризующий минимальный размер объекта, точное измерение которого возможно с определенного расстояния. Пространственное разрешение, или мгновенный угол поля зрения, измеряется в миллирадианах. iFov (Instantaneous Field of View) – это угол поля зрения, который приходится на один пиксель [2].

Данный прибор был выбран для исследований, так как находился в доступной ценовой категории. Разрешение матрицы и достаточно широкий угол обзора обеспечивают высокодетализированную термограмму и позволяют охватить большую площадь в одной снимке (например, для исследования крупного животного).

В функциональные возможности тепловизора RGK TL-160 также входят:

- ✓ съемка видимого изображения с помощью встроенной цифровой камеры;
- ✓ возможность совмещения снимка с термограммой для наглядности и максимально точного определения источника тепловой аномалии;
- ✓ точное наведение на исследуемый объект посредством лазерного целеуказателя;
- ✓ цифровой зум  $\times 32$  для детального осмотра объектов на расстоянии;
- ✓ HDMI выход, позволяющий выводить ИК-изображение на большой экран;
- ✓ съемка в режиме видео для комплексного исследования крупных объектов или динамических процессов;
- ✓ фотофиксация изображения в процессе видеосъемки.

#### 4. Возможности и ограничения применения тепловизора в ветеринарии

Так как на окончательный результат измерения и получаемое изображение влияет ряд объективных и субъективных факторов, то для их нивелирования перед тепловизионным исследованием животных необходимо адаптировать к температуре окружающей среды. В литературе есть данные, что человеку для температурной адаптации хватает примерно 20 минут [8, 9]. У животных, в зависимости от наличия и густоты волосяного покрова, это время колеблется от 10 до 35 минут. Помещение для термографического исследования должно быть закрытым, с постоянной температурой воздуха и без сквозняков.

Учитывая принцип работы тепловизионной камеры, основанный на регистрации инфракрасного излучения, исходящего от объекта, мы предположили, что ряд патологических процессов, развитие которых сопровождается местной или общей гипои/или гипертермией, могут быть визуализированы с помощью данного прибора. Однако на окончательный результат измерения и получаемое изображение влияет ряд объективных и субъективных факторов, которые мы разделили на три группы:

- ✓ конструктивные;
- ✓ патофизиологические;
- ✓ физические.

**Конструктивные факторы.** Первая группа факторов включает в себя ограничения технических параметров используемого прибора: его температурную чувствительность, гибкость настроек, разрешение матрицы, широту поля зрения и т.п.

Общие и местные патологические процессы характеризуются гипои или гипертермией, которую можно зарегистрировать на начальном этапе физикального обследования обычной термометрией либо, в случае местного изменения температуры, при пальпации животного. Применение тепловизионной камеры, которая в десятки раз дороже любого электронного контактного и бесконтактного термометра, в данном случае оправдано не столько ее температурной чувствительностью, сколько визуализацией температуры в сотнях тысяч точек, а не в одной точке, как при измерении бесконтактным термометром. Разрешающая способность матрицы тепловизора определяет качество (четкость) получаемой картинки.

Вторым важным техническим параметром является чувствительность тепловизионной камеры, то есть минимальный сдвиг температуры, который она способна зарегистрировать. Данный показатель может колебаться от 0,08 градуса Цельсия. Чувствительность камеры существенно влияет на ее цену, что может стать ограничивающим фактором в ее приобретении.

Третьим фактором могут стать характеристики объектива камеры, влияющие на формирование конечной картинке на матрице тепловизора. Один из важных показателей объектива – это угол, под которым лучи от объекта исследования падают на матрицу, формируя изображение. От «широкоугольности» объектива зависит расстояние, с которого можно проводить съемку. При работе с отдельными животными данный показатель не имел определяющего значения. Поскольку чем меньше расстояние до объекта съемки, тем меньше тепловых помех могло повлиять на результат. Возможно, этот показатель имел бы значение при тепловизионной съемке больших групп животных, например, в птичниках или загонах для скота. В нашей работе более важным параметром объектива тепловизора явилась его настройка на резкость, то есть возможность фокусировки на интересующем участке тела животного и, как следствие, формирова-

ние резкой картинке искомой области.

Четвертым важным техническим фактором явилась возможность вносить поправочные коэффициенты теплоотдачи. Данный параметр позволял повысить точность измерения температуры в интересующей области. Поскольку основная область использования тепловизора – это строительная отрасль, то коэффициенты, касающиеся различных строительных материалов, уже определены и занесены в таблицы. В отношении животных требуется индивидуальный сравнительный подход. Так как материалом, обладающим 100% теплоотдачей, является поливинилхлоридная клейкая лента (ПВХ-изолента), именно ее мы использовали для определения такого коэффициента у животных. Методика проста: пвх-изоленту наклеивали на тело животного в участок измерения и сравнивали разницу в показаниях температуры, если она имелась, то, вводя поправочный коэффициент, добивались одинаковых показаний на приборе в области пвх-изоленты и соседнем участке тела.

Не менее важным фактором, влияющим на качество формируемой картинки, является поправочный коэффициент температуры окружающей среды, в которой проводятся измерения. Данный параметр можно вводить, измерив температуру на рядом расположенных объектах. Однако более объективным методом будет использование фильтра Ламберта, представляющего собой поверхность из скотканной, а затем расправленной фольги. Данный фильтр позволяет создать рассеянный равномерный поток инфракрасного излучения, дающий наиболее точные представления об «инфракрасном фоне» помещения.

**Патофизиологические факторы.** Вторая группа факторов, влияющих на тепловизионное изображение, связана с выраженностью температурных колебаний у животного в патогенезе патологического процесса. В классическом описании ряда патологических процессов присутствует либо изменение температуры тела, либо отдельных его участков, которое можно зафиксировать качественно и измерить количественно. Однако в практических условиях не всегда удается застать этап изменения температуры, что может быть связано с запоздалым обследованием животного или с уже оказанным первичным самостоятельным лечением, что часто бывает в отношении мелких животных. Как известно, хронические воспалительные процессы не характеризуются изменением температуры тела и его отдельных участков. Поэтому круг патологических процессов, потенциально регистрируемых тепловизионной камерой, сужается до острых воспалительных (артрит, синусит, травма) и иных патологических процессов (тепловой и солнечный удар) с общим либо местным повышением температуры и патологических процессов, связанных с общим либо местным понижением температуры (отеки, тромбозы, сильные кровопотери и др.). Помимо этого, важна стадия, на которой пациент поступил на исследование. Очевидно, что травма в завершающую стадию заживления не будет сопровождаться изменением местной температуры. Таким образом, вторая группа факторов может оказать значительное ограничение на результативность использования тепловизора в качестве диагностического прибора.

**Физические факторы.** Третья группа факторов, ограничивающих использование тепловизора, это условия проводимых измерений. Инфракрасное излучение, исходящее от объекта исследования, подвергается воздействию ряда факторов, искажающих конечную картинку на тепловизоре как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения ее качества. Движение воздуха в помещении рассеивает тепловое излучение, поэтому сквозняки и работающие в помещении вентиляторы и кондиционеры сводят на нет возможность получения объективной тепловизионной картинки. Также

сложно проводить исследование на открытом воздухе, особенно в ветреную погоду: резкий перепад температур в животноводческих помещениях при недостаточном их утеплении и высокая влажность могут приводить к конденсации влаги и появлению тумана, который также недопустим при проведении исследований. В жаркое время года температура измеряемого объекта может незначительно отличаться от температурного фона помещения, что также не позволяет получить качественное изображение на тепловизоре, поэтому при проведении измерений надо стараться создать максимальный контраст между инфракрасным фоном и исследуемым объектом. Наличие рядом с исследуемым животным источника более сильного теплового излучения, способного перекрыть таковое от самого животного, будет искажать и размывать тепловизионную картинку. Поэтому надо исключить в зоне исследования наличие горячих радиаторов отопления, бойлеров, тепловентиляторов и т.п. Блестящая поверхность способна отражать инфракрасные лучи в различные стороны, в том числе и в объектив тепловизора, что искажает результаты, поэтому надо избегать исследования мелких пациентов на столе из нержавеющей стали или с полированным покрытием. Даже сам исследователь, не желая того, является источником излучения тепла и, находясь в зоне измерения, может оказывать влияние на его результаты. Учитывая этот факт, мы старались держать тепловизор на вытянутой руке (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Процесс получения тепловизионного изображения**

Таким образом, вышеописанные группы факторов должны быть учтены и по возможности устранены для получения качественной тепловизионной картинки, которая будет иметь диагностическую ценность.

## 5. Методика проведения тепловизионного исследования животного

Для получения качественных и достоверных термограмм необходимо учитывать ряд факторов, которые могут повлиять на результат, подготавливать и последовательно проводить все этапы тепловизионного исследования.

Этапы тепловизионного исследования:

**1. Выбор места проведения тепловизионного обследования:** необходимо постараться создать максимальный контраст между инфракрасным фоном и исследуемым объектом:

**a)** нежелательно проводить исследование на открытом воздухе, особенно при наличии ветра или тумана. В жаркое время года температура измеряемого объекта может незначительно отличаться от температурного фона окружающей среды, что также не позволяет получить качественное изображение на тепловизоре;

**b)** недопустимо наличие рядом с исследуемым животным источника более сильного теплового излучения (например, радиаторы отопления, бойлеры, тепловентилляторы и т.п.), способного перекрыть таковое от самого животного – этот источник будет искажать и размывать тепловизионную картинку;

**c)** необходимо избегать исследования мелких пациентов на столе из нержавеющей стали или с полированным покрытием, так как блестящая поверхность способна отражать инфракрасные лучи в различные стороны, в том числе и в объектив тепловизора, что исказит результаты тепловизионного изображения;

**d)** исследователь не должен находиться в зоне измерения, потому что сам является источником излучения тепла и может оказать влияние на результаты тепловизионной съемки.

**2. Адаптация животного к температуре помещения** (если животное содержалось или перемещалось по улице) – **15-20 минут**.

**3. Настройка тепловизора:** внесение поправочных коэффициентов теплоотдачи:

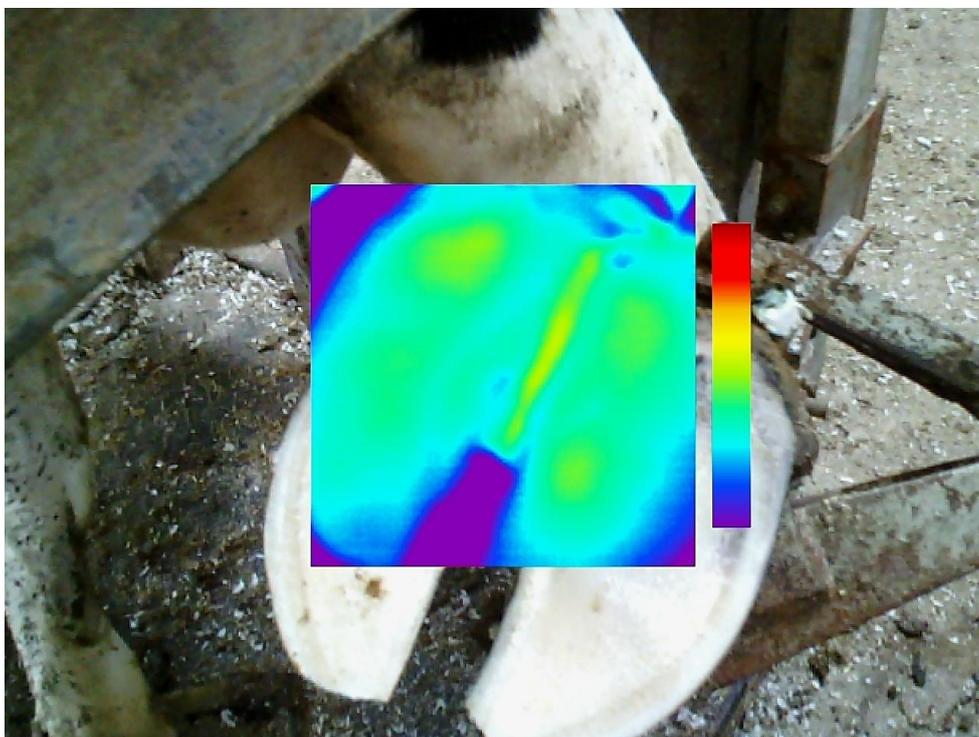
**a)** *внесение поправочного коэффициента температуры окружающей среды (помещения),* в которой проводятся измерения. Данный параметр можно вводить, измерив температуру на рядом расположенных объектах. Однако более объективным методом является использование фильтра Ламберта, представляющего собой поверхность из скотканной, а затем расправленной фольги. Данный фильтр позволяет создать рассеянный равномерный поток инфракрасного излучения, дающий наиболее точные представления об «инфракрасном фоне» помещения;

**b)** *внесение поправочного коэффициента температуры тела животного.* Методика измерения коэффициента: пвх-изолянту наклеить на тело животного в области проведения измерения и сравнить разницу в показаниях температуры, если она имеется, то, вводя поправочный коэффициент, добиться одинаковых показаний на приборе в области пвх-изоляции и соседнем участке тела.

**4. Проведение тепловизионной съемки.** Удерживая тепловизор на вытянутой руке, на расстоянии, необходимом для фокусировки на исследуемом участке тела (оно может варьироваться от 50 см до нескольких метров, в зависимости от размера объекта), проводится съемка тепловизором (фото, видео или комбинированная съемка). Кроме того, фокусировку нужно проводить с применением фокусирующего кольца.

**5. Проведение фотосъемки исследуемых биологических объектов (участков те-**

ла). Для наглядности и удобства обработки данных в будущем необходимо проводить фотографирование объектов исследования обычной камерой или применять функцию «комбинированная съемка» на тепловизоре (термограмма накладывается на обычную фотографию) (рисунок 8). Это поможет в описании клинических признаков патологического процесса (размер, наличие и вид истечений и т.д.).



**Рисунок 8 – Копытца коровы (опорная поверхность). Изображение, полученное тепловизором с применением функции «комбинированная съемка»**

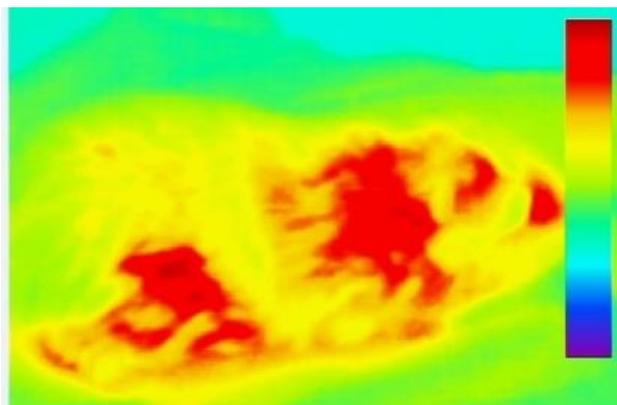
**6. Интерпретация полученных данных.** Провести сравнительный анализ термограммы области предполагаемого поражения и симметричного, здорового участка тела животного, учитывая наличие очагов с физиологическим повышением температуры на поверхности тела.

## 6. Клинические примеры тепловизионных исследований в ветеринарной практике

Тепловизионные исследования, в первую очередь, позволяют выявлять повышение местной температуры при развитии воспаления, даже если внешних изменений еще не регистрируются. Например, у животных с зудом можно обнаруживать участки дерматита, скрытые под волосяным покровом (рисунки 9 и 9а). Прибор фиксирует местную воспалительную реакцию на введение некоторых лекарственных веществ. На изображениях, полученных с тепловизора (термограммах), эти участки четко видны и окрашены в красный цвет (рисунки 9а и 10а), т.е. имеют самую высокую температуру по сравнению с окружающими тканями.



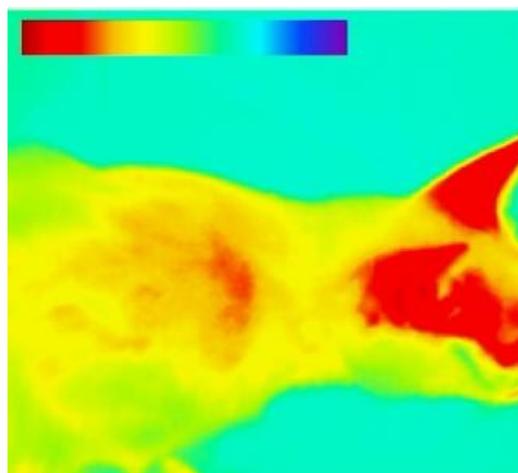
**Рисунок 9 – Морская свинка.  
Фотография**



**Рисунок 9а – Морская свинка  
с признаками местного воспаления  
в области холки  
и латеральной поверхности  
правого бедра. Термограмма**



**Рисунок 10 – Кошка.  
Подкожное введение препарата,  
вызывающего местную воспалительную  
реакцию (в области холки). Фотография**



**Рисунок 10а – Кошка с местной  
воспалительной реакцией  
(в области холки) на введение  
препарата. Термограмма**

Термограмма позволяет определить на ранних стадиях наличие воспаления в пазухах черепа, носовых синусах (рисунки 11 и 11а) без фиксации животного для исследования. В отличие от термограммы, рентгенограмма зафиксирует изменения (за-

темнение) только при наличии экссудата в пазухе, а при гиперемии слизистой и, как следствие, увеличении местной температуры, – изменений не будет.



**Рисунок 11 – Кошка с острым синуситом. Выделение гнойного экссудата из правой ноздри. Фотография**

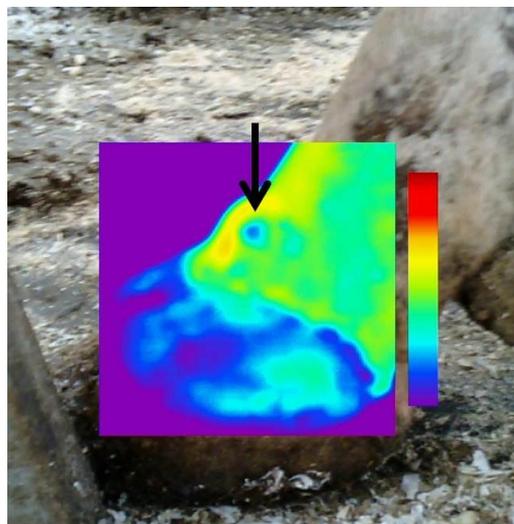


**Рисунок 11а – Кошка с острым (двусторонним) синуситом. Выделение гнойного экссудата (желтый цвет) из правой ноздри. Термограмма**

Отек и хроническое воспаление на тепловизионном изображении будут окрашиваться в оттенки синего цвета (рисунки 12, 12а, 13, 13а). Снижение температуры обусловлено местным ухудшением кровоснабжения: при отеке сдавливаются сосуды микроциркуляторного русла, а хроническое воспаление сопровождается разрастанием соединительной ткани. Оба этих процесса замедляют кровоток, что и приводит к снижению местной температуры тканей.



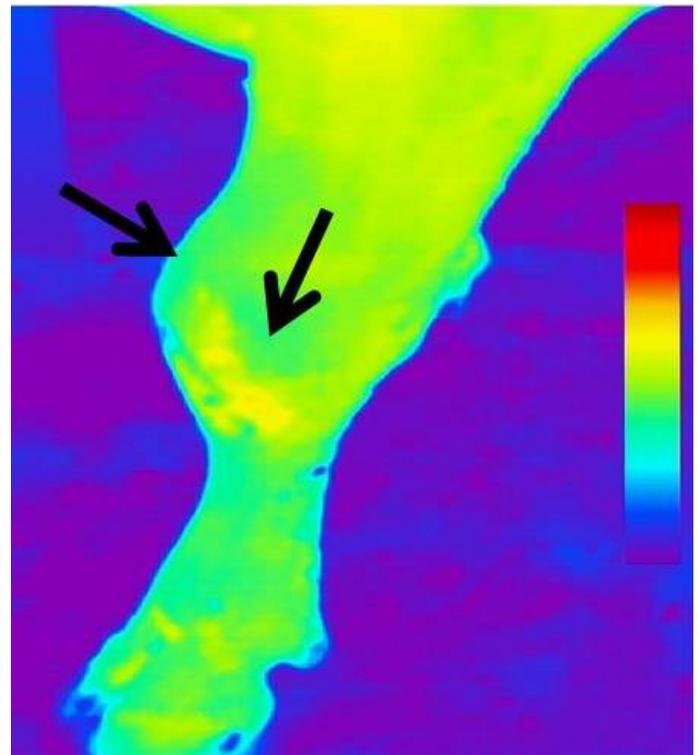
**Рисунок 12 – Отек в области венчика копытца и свода межпальцевой щели. Фотография**



**Рисунок 12а – Снижение температуры отека в области венчика копытца и свода межпальцевой щели. Термограмма**



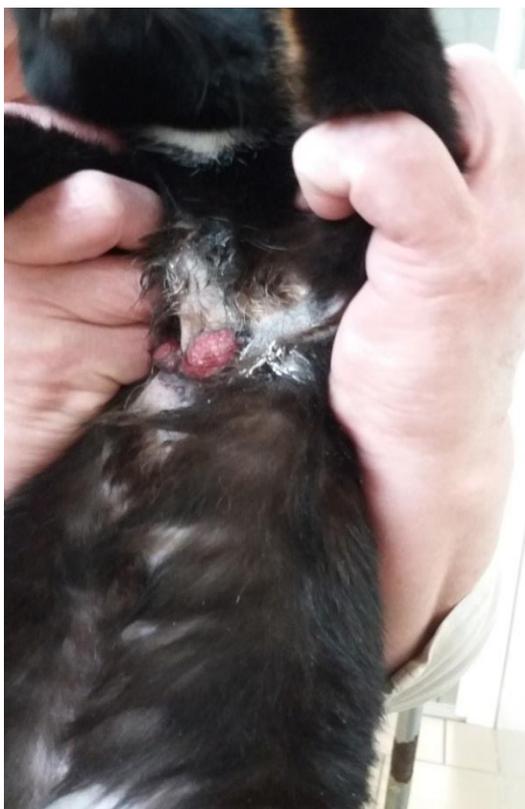
**Рисунок 13 – Хронический бурсит запястного сустава.  
Фотография**



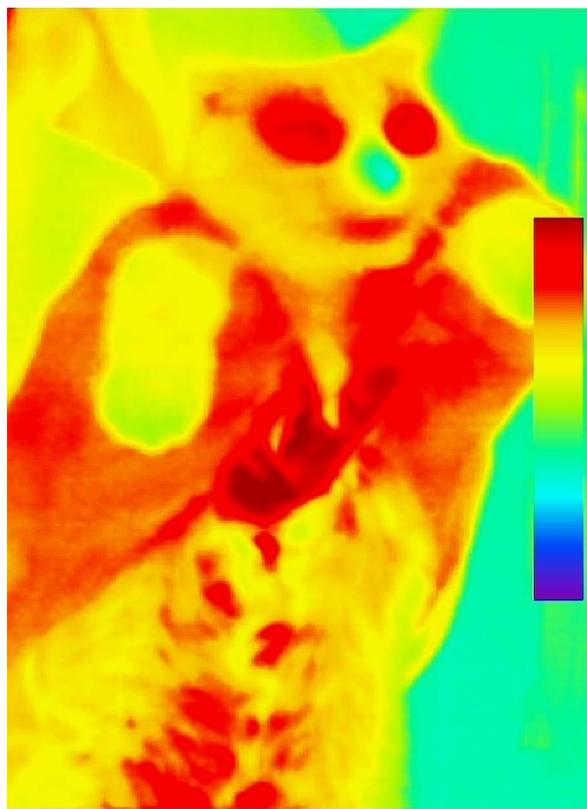
**Рисунок 13а – Снижение температуры (голубой цвет, указан стрелками) при хроническом бурсите запястного сустава. Термограмма**

Применение тепловизора облегчает обнаружение некоторых злокачественных новообразований (рисунки 14 и 14а). Кровоснабжение опухолей осуществляется не только из кровеносного русла организма. Под воздействием продуцируемого опухолью (особенно злокачественными) вещества белковой природы – ангиогенина – происходит новообразование капиллярной сети стромы опухоли [5]. Такое значительное разрастание кровеносных сосудов будет способствовать увеличению местной температуры и легко может обнаруживаться тепловизором.

При клиническом осмотре кошки было обнаружено вскрывшееся, кровоточащее новообразование на первой паре грудных молочных пакетов. При пальпации остальных молочных пакетов уплотнений выявлено не было. Но тепловизионное обследование выявило множественные участки повышения местной температуры на всем протяжении молочной железы. В дальнейшем гистологическое исследование подтвердило единое происхождение выявленных патологических очагов.



**Рисунок 14 – Кошка с новообразованием на молочной железе.  
Фотография**

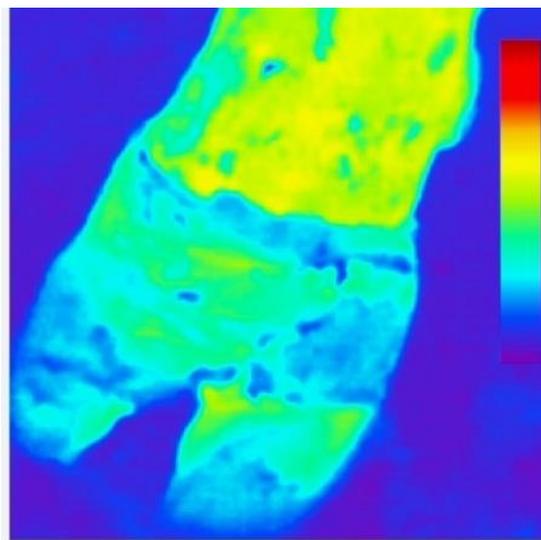


**Рисунок 14а – Увеличение местной температуры в области новообразований на молочной железе. Термограмма**

У крупных животных клинический осмотр, например в ортопедии, связан с фиксацией в станке, а, следовательно, стрессом. Тепловизором можно оценивать состояние тканей и процесс заживления под повязкой (рисунки 15 и 15а).



**Рисунок 15 – Копытце коровы в бинтовой повязке. 3-й день лечения.  
Фотография**

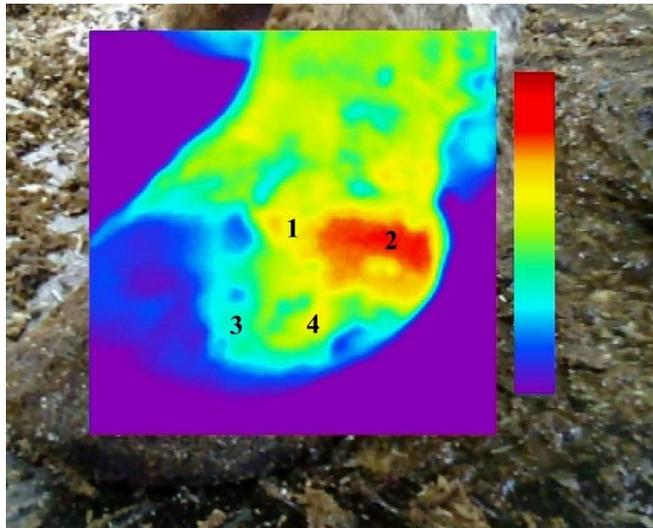


**Рисунок 15а – Копытце коровы. 3-й день лечения. Отсутствие увеличения местной температуры под бинтовой повязкой. Термограмма**

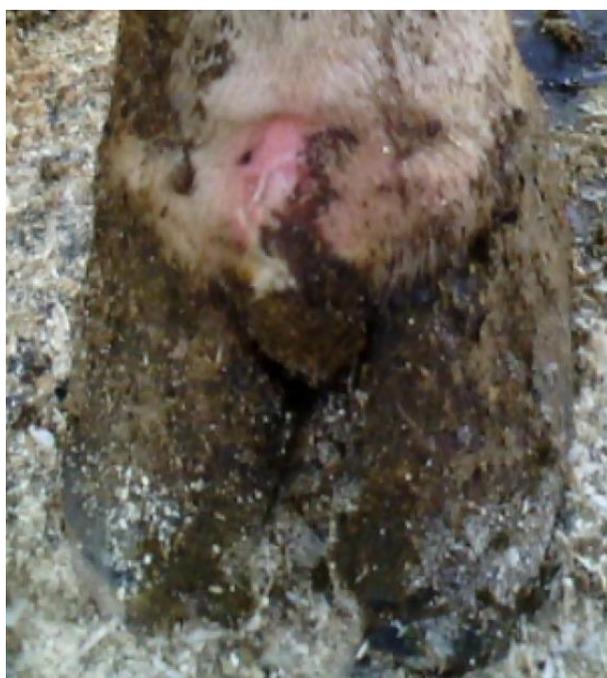
На тепловизионном изображении (рисунки 16а, 17а) четко виден участок максимального повышения местной температуры красного цвета в центре язвы (2), постепенное уменьшение температуры (желтый цвет) (1) на периферии очага и отек тканей под копытцевым рогом в области стенки (3). В данном случае воспалительный очаг распространился ниже, под роговой башмак на стенку копытца (4). Этот факт виден только на тепловизионном изображении, в отличие от рисунка, полученного обычным фотоаппаратом, на котором роговой башмак внешне не изменен (рисунки 16, 17), а очаг изъязвления локализован.



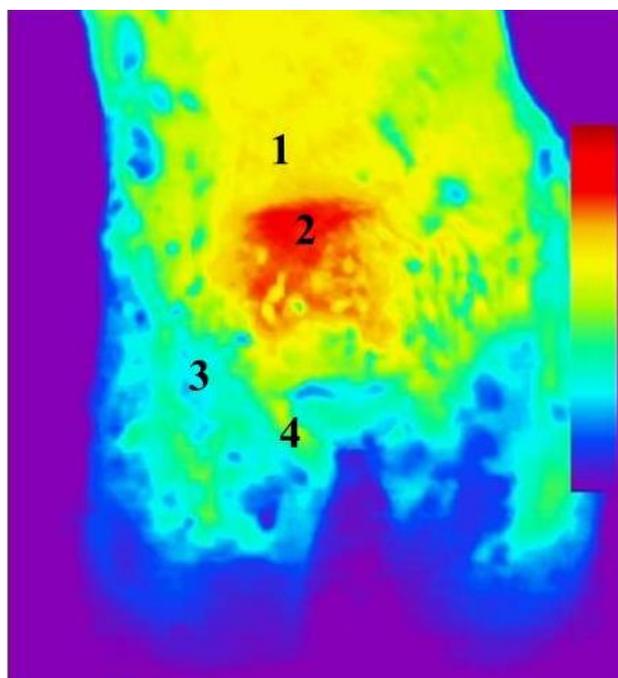
**Рисунок 16 – Копытце коровы с флегмоной венчика. Фотография**



**Рисунок 16а – Копытце коровы с флегмоной венчика. Термограмма**



**Рисунок 17 – Копытце коровы с повреждением в области свода межпальцевой щели. До лечения. Фотография**



**Рисунок 17а – Копытце коровы. Увеличение местной температуры до лечения. Термограмма**

## **Заключение**

Термография – безвредный и неинвазивный метод исследований, что позволяет применять его многократно, наблюдать процессы в динамике, а также использовать для раннего выявления патологических процессов различной этиологии.

Тепловизионные исследования при соблюдении условий проведения испытаний дают объективные данные о состоянии обследуемого участка, в том числе на этапе субклинических проявлений, облегчают осмотры агрессивных животных, диагностику хромоты, расширяют данные клинического осмотра, позволяют точно определять участок зуда, оценить состояние тканей и процесс заживления под повязкой, контролировать эффективность различных видов лечения, прогнозировать период реабилитации, проводить послеоперационный мониторинг процессов заживления. В комплексе с другими методами исследования термография помогает определить наличие поверхностных новообразований, которые могут быть скрыты под шерстью, уточняет их размеры и локализацию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Даценко, А. В. Использование дистанционной инфракрасной термографии в экспериментальной медицине при экстремальных воздействиях (обзор) / А. В. Даценко, В. И. Казьмин // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2016. – № 12 (4). – С. 685–691.
2. О пространственном разрешении тепловизора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.metrologika.ru/o\\_prostranstvennom\\_razreshenii\\_terplovizora](https://www.metrologika.ru/o_prostranstvennom_razreshenii_terplovizora) © Metrologika. – Дата доступа : 28.05.2020.
3. Розенфельд, Л. Г. Дистанционная инфракрасная термография в онкологии / Л. Г. Розенфельд, Н. Н. Колотилов // Онкология. – 2001. – № 3 (2–3). – С. 103–106.
4. Шушарин, А. Г. Медицинское тепловидение – современные возможности метода / А. Г. Шушарин, В. В. Морозов, М. П. Половинка // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4. – С. 1–18.
5. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1030061909>. – Дата доступа : 04.12.2018.
6. Harper, D. L. Thermography in veterinary medicine / D. L. Harper // Inframation. – 2000. – № 1 (4). – P. 1–6.
7. ISMAIEL, N. M. Role of thermography in diagnosis of osteoarthritis of knee joint / N. M. ISMAIEL, M. M. KAMAL // Egypt Rheumatol Rahab. – 2000. – № 4. – P. 827.
8. Jonez, B. F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analyzer in medicine. IEEE / B. F. Jonez // Med. Imaging. – 1998. – № 17 (6). – P. 1019–1027.
9. Veterinary applications of infrared thermography / S. I. Rekant, M. A. Lyons, J. M. Pacheco, L. L. Rodriguez // Am J Vet Res. – 2016. – Vol. 77 (1). – P. 98–107. – doi: 10.2460/ajvr.77.1.98.
10. Stavorovsky, K. M. Automatic diagnostic and analysis of thermal images in medical practice / K. M. Stavorovsky // Electronics and communications 2014. – Vol. 19 (1). – P. 47–55.
11. Tunley, B. V. Reliability and repeatability of thermographic examination and the normal thermographic image of the thoracolumbar region in the horse / B. V. Tunley, F. M. Henson // Equine Vet J. – 2004. – Vol. 36 (4). – P. 306–312.
12. Usanov, D. A. Estimation of blood vessels functional state by means of analysis of temperature reaction on occlusive test / D. A. Usanov, A.V. Skripal, A. A. Protopopov // Saratov Journal of Medical Scientific Research. – 2009. – Vol. 5 (4). – P. 554–558.