

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ  
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА / ELECTROTECHNOLOGY, ELECTRICAL EQUIPMENT AND  
POWER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49>

ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛАЗЕРА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОЛОДНЯКА ОВЕЦ

Научная статья

Оськин С.В.<sup>1</sup>, Цокур Д.С.<sup>2</sup>\*, Шишигин И.Н.<sup>3</sup>, Афанасьев М.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-7274-5229;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-3291-810X;

<sup>1,2,3</sup> Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

<sup>4</sup> Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (dmitry\_tsokur[at]mail.ru)

**Аннотация**

В ветеринарной науке установлено, что стимуляция низкоинтенсивным лазерным излучением молодняка овец нормализует обменные процессы, повышает продуктивные показатели и снижает заболеваемость молодняка. При этом высокую эффективность имеет данный тип воздействия непосредственно на тимус животного. В то же время применяемые сегодня лазеры предназначены для ручной обработки животных. В связи с этим возникла необходимость применения лазера с низкоинтенсивным излучением в автоматизированной установке со снижающей трудоемкость проведения этой процедуры. В работе приведены исследования по определению наиболее оптимального расположения лазера в установке и его режима работы. Моделирование основных физических процессов в программном комплексе Comsol Multiphysics позволило установить следующие параметры: луча лазера должен проходить под углом 20° к вертикальной оси, облучение нужно проводить в трех позициях с расстоянием между ними 4,2 см. Тепловизионные исследования поверхностного слоя кожи шеи ягнят после лазерного облучения показали максимальную температуру 43°C, что безопасно для биологических тканей.

**Ключевые слова:** лазер, овцы, низкоинтенсивное лазерное излучение, компьютерное моделирование.

SUBSTANTIATION OF LASER LOCATION FOR IRRADIATION OF YOUNG SHEEP ANIMALS

Research article

Oskin S.V.<sup>1</sup>, Tsokur D.S.<sup>2</sup>\*, Shishigin I.N.<sup>3</sup>, Afanasev M.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-7274-5229;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-3291-810X;

<sup>1,2,3</sup> Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

<sup>4</sup> Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

\* Corresponding author (dmitry\_tsokur[at]mail.ru)

**Abstract**

In veterinary science it is established that stimulation by low-intensity laser radiation of young sheep normalizes metabolic processes, increases productive parameters and reduces morbidity of juvenile sheep. At the same time, this type of influence directly on the thymus of the animal is highly effective. At the same time, lasers used today are intended for manual treatment of animals. In this regard, there is a need to use a laser with low-intensity radiation in an automated unit with reducing labour intensity of this procedure. In the work, the researches on definition of the most optimum location of a laser in the installation and its mode of work are resulted. Modelling of the main physical processes in the Comsol Multiphysics software complex allowed to establish the following parameters: the laser beam should pass at an angle of 20° to the vertical axis, irradiation should be carried out in three positions with a distance between them of 4.2 cm. Thermal imaging studies of the surface skin layer of the lambs' neck after laser irradiation showed a maximum temperature of 43°C, which is safe for biological tissues.

**Keywords:** laser, sheep, low-intensity laser radiation, computer modelling.

**Введение**

В аграрной науке и на производстве постоянно идет поиск новых способов сохранности молодняка животных. Овцеводство входит как составная часть в животноводство, и данная проблема также касается и его. С развитием науки и технологий стало возможным изучать механизмы воздействия на животных физическими факторами, в том числе электромагнитными излучениями на клеточном и молекулярном уровнях [1]. Предложен метод биостимуляции молодняка овец с помощью низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ), который нормализует обменные процессы животного, повышает продуктивные показатели и снижает заболеваемость молодняка [2], [3]. Безопасность воздействий НИЛИ на человека и животных доказана тысячами мировых исследований. Взаимодействие лазерного излучения с биологическим объектом происходит в два этапа: получение и поглощение энергии; вторичные ответные реакции организма, являющиеся «лечебным фактором» [4]. Объяснение первичного механизма биологического действия НИЛИ сделал В.М. Чудновский [5] на основе изменения коэффициента преломления, что снижает потенциальные барьеры основных биохимических реакций, запуская серию изменений параметров гомеостаза биологической системы [4]. Положительный эффект от лазерного излучения объясняется общебиологическим и адаптационным воздействием на защитно-компенсаторные механизмы на клеточном, тканевом, уровнях,

способствующим саморегуляции. Лечебные эффекты лазеротерапии обусловлены иммунными реакциями организма. Литературные источники говорят о том, что в основе терапевтического действия лазерного излучения лежит активизация в организме животных общего и местного неспецифического иммунитета, и повышения метаболизма питательных веществ [6], [7], [8].

Лазерное излучение, проникая через кожу, частично поглощается и рассеивается, и поэтому эффективность зависит от глубины расположения отдельных органов и длины волны лазерного излучения. Установлено, что импульсное ИК НИЛИ (904 нм) лучше применять для воздействия на глубоко расположенные органы. В Ставропольском ГАУ проводятся опыты по использованию лазерного излучения малой мощности на организм овец. Возникает необходимость в разработке автоматизированной установке для облучения лазером молодняка овец в реальном производственном процессе.

При проектировании лазерной установки с получением ожидаемого результата нужно знать следующие параметры: длина волны, режим работы источника, мощность, экспозиция, локализации расположения излучателя, периодичность проведения процедур. Анализ научной литературы, а также исследования, проводимые в Ставропольском ГАУ, показали, что для повышения резистентности организма телят необходимо проводить облучение тимуса ягнят [3]. Целью данных исследований было обоснование места локализации расположения лазерного излучателя.

### Методы и принципы исследования

Предварительный опыт работы с лазером на овцеферме позволил разработать конструктивно-технологическая схема установки (Рис.1).

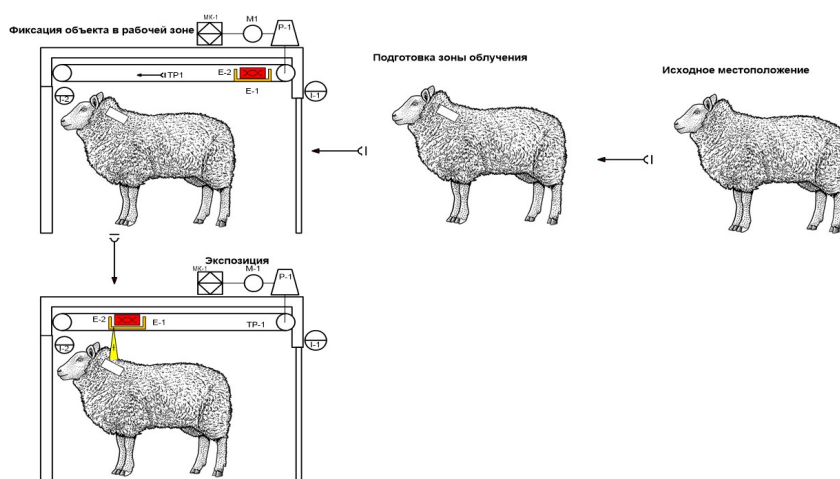


Рисунок 1 - Конструктивно-технологическая схема установки для облучения тимуса ягнят

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.1>

Технология облучения производится следующим образом. Ягненка ставят в исходное местоположение и далее производят выстриг шерсти на шеи. Ягненка заводят в установку, где должно проводиться лазерное облучение в автоматическом режиме. Автоматизация перемещения площадки с лазером может производиться по сигналам от датчиков положений и временным интервалам, задаваемых специальной программой. По завершении процесса лазерной обработки ягненка выводят из рабочей зоны.

Необходимо определить геометрическое место остановки лазера и время обработки. Основным критерием, ограничивающим время обработки и места установки лазера, является температура биотканей. С одной стороны, при взаимодействии НИЛИ с биотканями наружной поверхности шеи ягненка происходит их нагрев, и температура не должна превышать 42°C - 50°C, так может происходить повреждение тканей. С другой стороны излучение должно доходить до тимуса, который расположен в нижней части шеи животного. Обоснование места расположения лазера и времени обработки решено было проводить на основе моделирования физических процессов в программном комплексе Comsol Multiphysics.

Дифференциальное уравнение движения тепловых потоков в общем виде можно выразить широко известным выражением:

$$\sum \rho_i \cdot c_i \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \sum \nabla q_i = Q_{\text{ТЛ}} \quad (1)$$

где  $\rho_i$ ,  $c_i$  – соответственно плотность и теплоемкость  $i$ -й структуры среды;

$q_i$  – теплопроводности отдельных  $i$ -х сред;

$Q_{\text{ТЛ}}$  – интенсивность тепловыделений за счет лазерного излучения, Вт/м<sup>3</sup>;

$T$  – температура, °С.

Считаем, что температура внешней среды не изменяется и плотность теплового потока также постоянна. Теплообмен между поверхностью объекта исследований и окружающей средой происходит в соответствии с законом Ньютона-Рихмана:

$$q_{ст} = h(T_0 - T) \quad (2)$$

где  $q_{ст}$  – теплопроводность наружной поверхности шеи или тепловые потери через кожу, Вт/м<sup>2</sup>;

$T_0$  – температура воздуха внешней среды, °С;

$h$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Известно, что прохождение лазерного пучка через биоткань происходит с ослаблением в соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера [4]:

$$I(z) = (1 - R) \cdot I_0 \cdot \exp(-\mu_a z) \quad (3)$$

где  $z$  – оптическая ось и толщина биоткани;

$R$  – коэффициент отражения при нормальном падении луча;

$I_0$  – начальная интенсивность излучения,

$\mu_a$  – коэффициент поглощения среды.

### Результаты исследований и обсуждение

Структура шейного отдела овцы включает множество составляющих, но в дальнейших расчетах приняты следующие: кожа, мышечная ткань, позвоночник, пищевод, трахеи и тимус. В соответствии с имеющимися литературными данными были приняты коэффициенты поглощения лазерного излучения. Разработка геометрической модели проводилась в ПО Comsol и представлена на рисунке 1. Все дальнейшие исследования физических процессов также проводились в этом программном продукте.

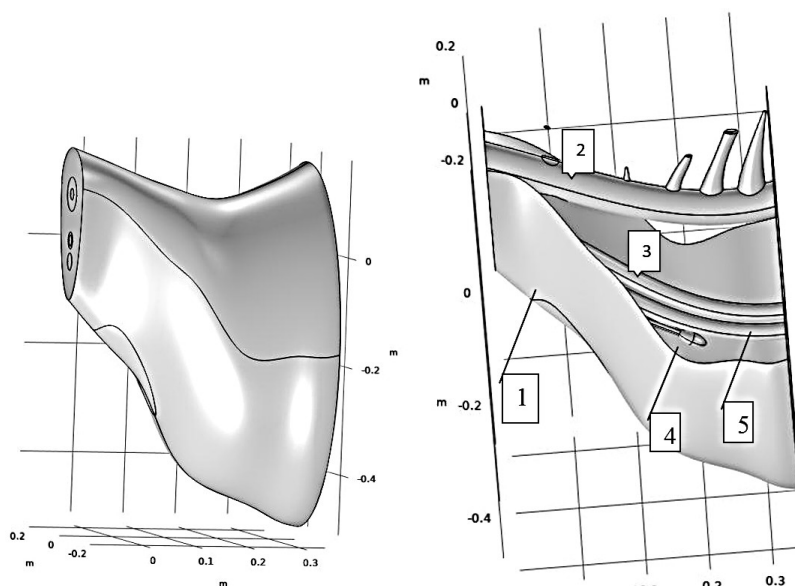


Рисунок 2 - Геометрическая модели шейного отдела ягненка в ПО Comsol:  
1 - наружная часть шеи; 2 - позвоночник; 3 - пищевод; 4 - тимус; 5 - трахея  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.2>

Весь объект исследования был разбит на домены и построена сетка для расчета методом конечных элементов.

Выбор интерфейсов в ПО производился в соответствии с типом физических процессов в объекте исследований: анализ тепловых полей – интерфейс «Heat Transfer in Solids»; анализ лазерного излучения в биоткани – «Radiative Beam in Absorbing Media».

Первоначально было принято место размещение лазера над шейей ягненка, так это наиболее удобно в эксплуатационных условиях и легче подлжит автоматизации. Решение математической модели проводилось в нестационарном режиме с облучением в течение 1 минуты. В результате были получены температурные поля в объекте исследований (Рис.2), анализ которых показал высокие значения температур в верхней части шеи (до 47°С) из-за значительных коэффициентов поглощения мышечной тканью. В то же время тимус не прогревался ни на один градус. На рисунке 3 представлены интенсивности лазерного излучения вдоль шеи и видно, что тимус не попадает в зону облучения из-за позвоночника, пищевода и трахеи.

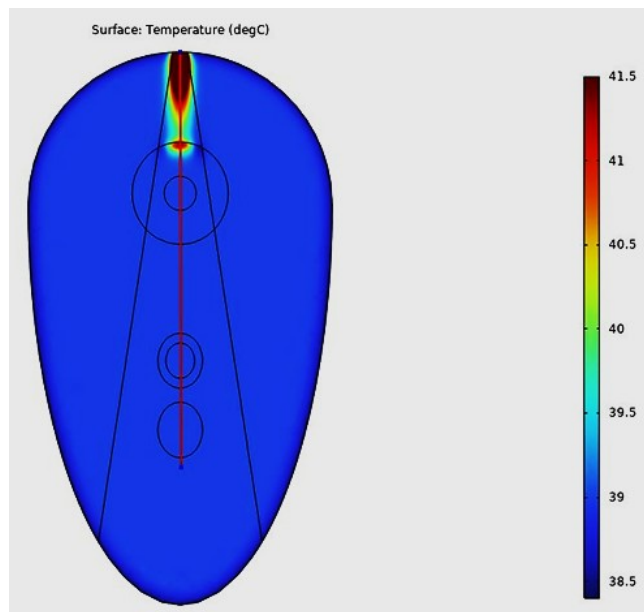


Рисунок 3 - Изображения температурных полей в шеи  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.3>

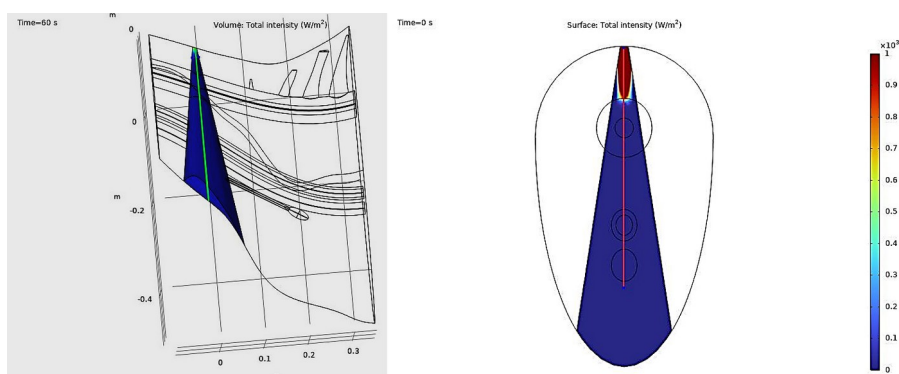


Рисунок 4 - Изображения интенсивности излучения в шеи  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.4>

Наибольшая интенсивность исходит от источника излучения и далее она уменьшается в результате поглощения отдельными составляющими шеи. Установлено, что излучение за позвоночник практически не проходит. Значит необходимо смещать источник излучения в сторону от позвоночника и остальных внутренних составляющих шейного отдела ягненка. Также решено было перенести источник излучения определенное расстояние от шеи, чтобы каждый раз прикладывать лазер к объекту. Для повышения эффективности облучения принято проводить облучение в нескольких точках вдоль шеи.

В результате нескольких итераций изменения геометрии получена новая модель шейного отдела с источником излучения (Рис.4). Облучение будет проводиться в трех точках остановки перемещения лазера при угле отклонения луча от вертикальной оси в  $20^\circ$ . Удаления источника излучения от шейного отдела составило от 4,3 см до 4,8 см.

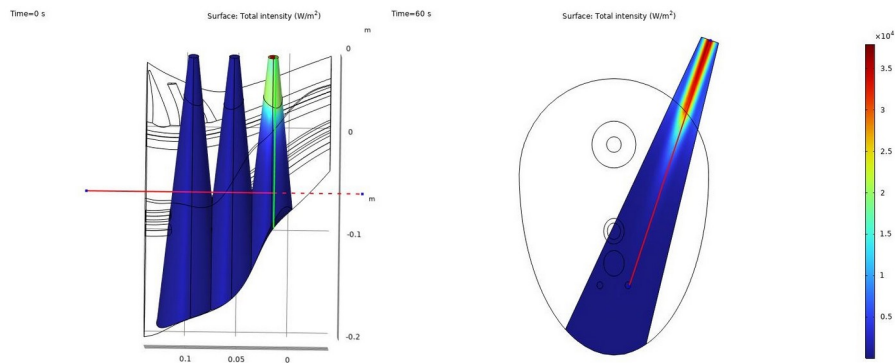


Рисунок 5 - Интенсивности излучения в шейном отделе животного  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.5>

На рисунках 5 и 6 представлены интенсивности излучения с изображением тимуса и его температурное поле. Установлено, что на тимус попадает максимальная энергия излучения равная  $140 \text{ Вт/м}^2$ , и температура отдельных его частей повысилась на  $0,2^\circ\text{C}$ . Дальнейший анализ показал при облучении в каждой точке от 25 до 40 секунд опасных превышений температуры других органов шеи нет.

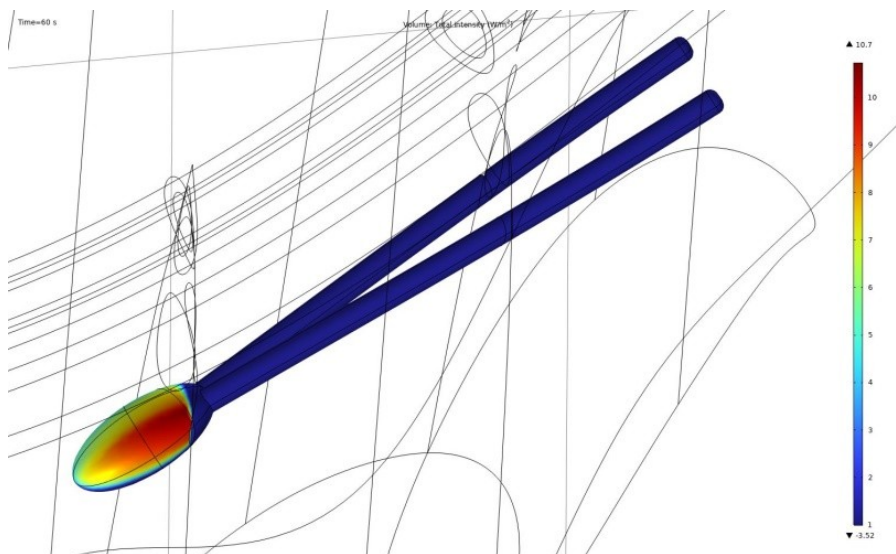


Рисунок 6 - Вид тимуса с нанесением интенсивности получаемой энергии  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.6>

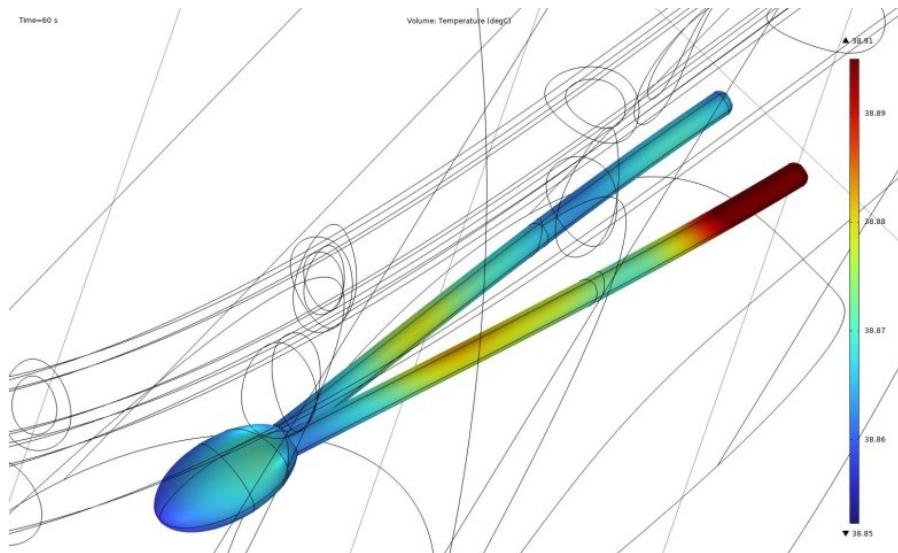


Рисунок 7 - Вид тимуса с нанесением температурного поля  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.7>

Было проведено тепловизионные исследования наружных областей, подвергшихся лазерному облучению [9]. На рисунке 7 показаны фрагменты тепловизионной съёмки шейных отделов трех ягнят после рекомендованной экспозиции. Наблюдается локальное повышение температуры обрабатываемых областей. Отмечалось, что максимальная температура отдельных областей не превысила 43°C.

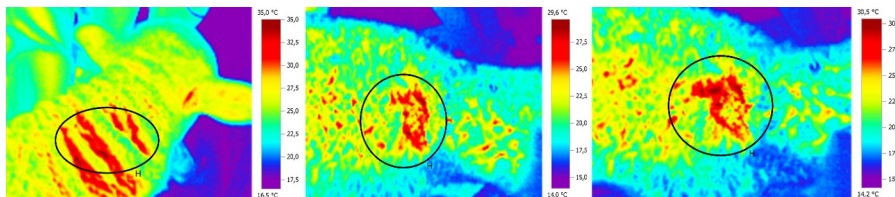


Рисунок 8 - Фрагменты тепловизионной съёмки шейных отделов трех ягнят  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.49.8>

Среднее превышение температуры поверхности кожи по сравнению с температурой до воздействия составило 3,9°C. Такое повышение не является опасным для животных. В Ставропольском ГАУ проведены исследования по влиянию НИЛИ на продуктивные показатели животных, которые подтвердили эффективность применения этого метода [10].

### Заключение

1. Исследования проникающей способности лазерного излучения через биологические ткани с использованием программного обеспечения Comsol позволили получить геометрическую модель шейного отдела ягненка и компьютерную модель протекающих физических процессов в данном объекте.

2. Моделирование физических процессов при лазерном облучении в шейном отделе ягненка показало высокую поглощающую способность внутренних органов, и установка лазера над шеей не доводит излучение до тимуса. Смещение луча лазера на угол 20° к вертикальной оси позволяет проходить излучению в стороне от органов поглощения и достигать тимуса.

3. Анализ результатов моделирования показал, что проводить лазерное облучение нужно в трех позициях с расстоянием между ними 4,2 см. Исследования режимов облучения тимуса в компьютерной модели показали изменения интенсивности излучения при переходе от первой позиции к третьей, находятся в интервале от 11 Вт/м<sup>2</sup> до 140 Вт/м<sup>2</sup>.

Тепловизионные исследования температурного режима поверхностного слоя кожи шеи ягнят после лазерного облучения показала, что максимальная температура не превышала 43°C при среднем превышении температуры поверхности после обработки по сравнению с температурой до воздействия 3,9°C. Эти данные говорят о безопасном режиме облучения животных и свидетельствуют о влиянии лазерного излучения на тело ягненка.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Афанасьев М.А. Формирование мясной продуктивности молодняка создаваемого типа скороспелых овец в возрастном аспекте при использовании биофизических методов / М.А. Афанасьев, Л.Н. Скорых, Д.В. Коваленко [и др.] // Главный зоотехник. — 2018. — № 9. — С. 34-40.
2. Скорых Л.Н. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на продуктивность овец / Л.Н. Скорых, Д.В. Коваленко, М.А. Афанасьев [и др.] // Сельский механизатор. — 2017. — № 1. — С. 32-33.
3. Афанасьев М.А. Параметры и режимы лазерной установки для повышения продуктивных показателей молодняка овец; автореф. дис. ... канд. техн. наук / Афанасьев Михаил Анатольевич. — Краснодар, 2023. — 26 с.
4. Москвин С.В. Основы лазерной терапии (Эффективная лазерная терапия) / С.В. Москвин. — Тверь: Триада, 2016. — Т. 1. — 896 с.
5. Чудновский В.М. Лазерная биостимуляция, модели и механизмы: дис. ... д-ра биол. наук / В.М. Чудновский. — Владивосток, 2002. — 236 с.
6. Голубцов А.В. Механизм влияния на организм животных низкоинтенсивного лазерного излучения, используемого в ветеринарной практике / А.В. Голубцов, В.В. Василисин, С.Н. Семенов [и др.] // Ученые записки Казанской Государственной Академии Ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. — Казань, 2008. — С. 42-46.
7. Карпуть И.М. Микробные препараты и лазеры в повышении резистентности и профилактике болезней молодняка / И.М. Карпуть, М.П. Бабина, А.Н. Козловский [и др.] // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. — 2004. — Т. 40. — № 1. — С. 70-71.
8. Мальцева Б.М. Опыт применения лазера для лечения животных (крупный рогатый скот) / Б.М. Мальцева // Ветеринария. Реферативный журнал. — 2002. — № 3. — С. 798.
9. Афанасьев М.А. Исследование температуры тела животных при воздействии низкоинтенсивного лазерного излучения / М.А. Афанасьев, Е.И. Рубцова, В.С. Афанасьева [и др.] // Сельский механизатор. — № 9. — С. 8-10.
10. Афанасьев М.А. Мясная продуктивность у молодняка создаваемого типа скороспелых овец при использовании биофизических методов / М.А. Афанасьев, Л.Н. Скорых, С.С. Бобрышов // Современное состояние животноводства: проблемы и пути их решения. — Саратов, 2018. — С. 97-98.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Afanas'ev M.A. Formirovanie mjasnoj produktivnosti molodnjaka sozdavaemogo tipa skorospelykh ovec v vozrastnom aspekte pri ispol'zovanii biofizicheskikh metodov [Formation of Meat Productivity of Young Sheep of the Created Type of Fast Sheep in the Age Aspect Using Biophysical Methods] / M.A. Afanas'ev, L.N. Skoryh, D.V. Kovalenko [et al.] // Glavnyj zootehnik [Chief Zootechnician]. — 2018. — № 9. — P. 34-40. [in Russian]
2. Skoryh L.N. Vlijanie nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na produktivnost' ovec [Influence of Low-Intensity Laser Radiation on Sheep Productivity] / L.N. Skoryh, D.V. Kovalenko, M.A. Afanas'ev [et al.] // Sel'skij mehanizator [Rural Mechanizer]. — 2017. — № 1. — P. 32-33. [in Russian]
3. Afanas'ev M.A. Parametry i rezhimy lazernoj ustanovki dlja povysheniya produktivnykh pokazatelej molodnjaka ovec [Parameters and Modes of Laser Installation for Increasing Productive Performance of Young Sheep]: abst. dis. ... PhD in Technical Sciences / Afanas'ev Mihail Anatol'evich. — Krasnodar, 2023. — 26 p. [in Russian]
4. Moskvina S.V. Osnovy lazernoj terapii (Jeffektivnaja lazernaja terapija) [Basics of Laser Therapy (Effective Laser Therapy)] / S.V. Moskvina. — Tver: Triada, 2016. — Vol. 1. — 896 p. [in Russian]
5. Chudnovskij V.M. Lazernaja biostimuljacija, modeli i mehanizmy [Laser Biostimulation, Models and Mechanisms]: dis. ... PhD in Biology / V.M. Chudnovskij. — Vladivostok, 2002. — 236 p. [in Russian]
6. Golubcov A.V. Mechanizm vlijaniya na organizm zhivotnykh nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya, ispol'zuemogo v veterinarnoj praktike [Mechanism of the Effect of Low-Intensity Laser Radiation Used in Veterinary Practice on Animal Organism] / A.V. Golubcov, V.V. Vasilisin, S.N. Semenov [et al.] // Uchenye zapiski Kazanskoj Gosudarstvennoj Akademii Veterinarnoj mediciny im. N.E. Bauman [Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman]. — Kazan, 2008. — P. 42-46. [in Russian]
7. Karput' I.M. Mikrobnye preparaty i lazery v povyshenii rezistentnosti i profilaktike boleznej molodnjaka [Microbial Drugs and Lasers in Increase of Resistance and Prevention of Diseases of Young Animals] / I.M. Karput', M.P. Babina, A.N. Kozlovskij [et al.] // Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaja ordena Znak pocheta gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny [Scientific Notes of Educational Institution Vitebsk Order of Badge of Honour State Academy of Veterinary Medicine]. — 2004. — Vol. 40. — № 1. — P. 70-71. [in Russian]
8. Mal'ceva B.M. Opyt primeneniya lazera dlja lecheniya zhivotnykh (krupnyj rogotyj skot) [Experience of Laser Application for Treatment of Animals (cattle)] / B.M. Mal'ceva // Veterinarija. Referativnyj zhurnal [Veterinary Medicine. Reference Journal]. — 2002. — № 3. — P. 798. [in Russian]

9. Afanas'ev M.A. Issledovanie temperatury tela zhivotnyh pri vozdeystvii nizkointensivnogo lazernogo izluchenija [A Study of Animal Body Temperature under the Influence of Low-Intensity Laser Radiation] / M.A. Afanas'ev, E.I. Rubcova, V.S. Afanas'eva [et al.] // Sel'skij mehanizator [Rural Mechanizer]. — № 9. — P. 8-10. [in Russian]

10. Afanas'ev M.A. Mjasnaja produktivnost' u molodnjaka sozdavaemogo tipa skorospelyh ovec pri ispol'zovanii biofizicheskikh metodov [Meat Productivity in Young Sheep of the Created Type of Soon-Rapid Sheep when Using Biophysical Methods] / M.A. Afanas'ev, L.N. Skoryh, S.S. Bobryshov // Sovremennoe sostojanie zhivotnovodstva: problemy i puti ih reshenija [Modern State of Animal Husbandry: Problems and Ways of Their Solution]. — Saratov, 2018. — P. 97-98. [in Russian]