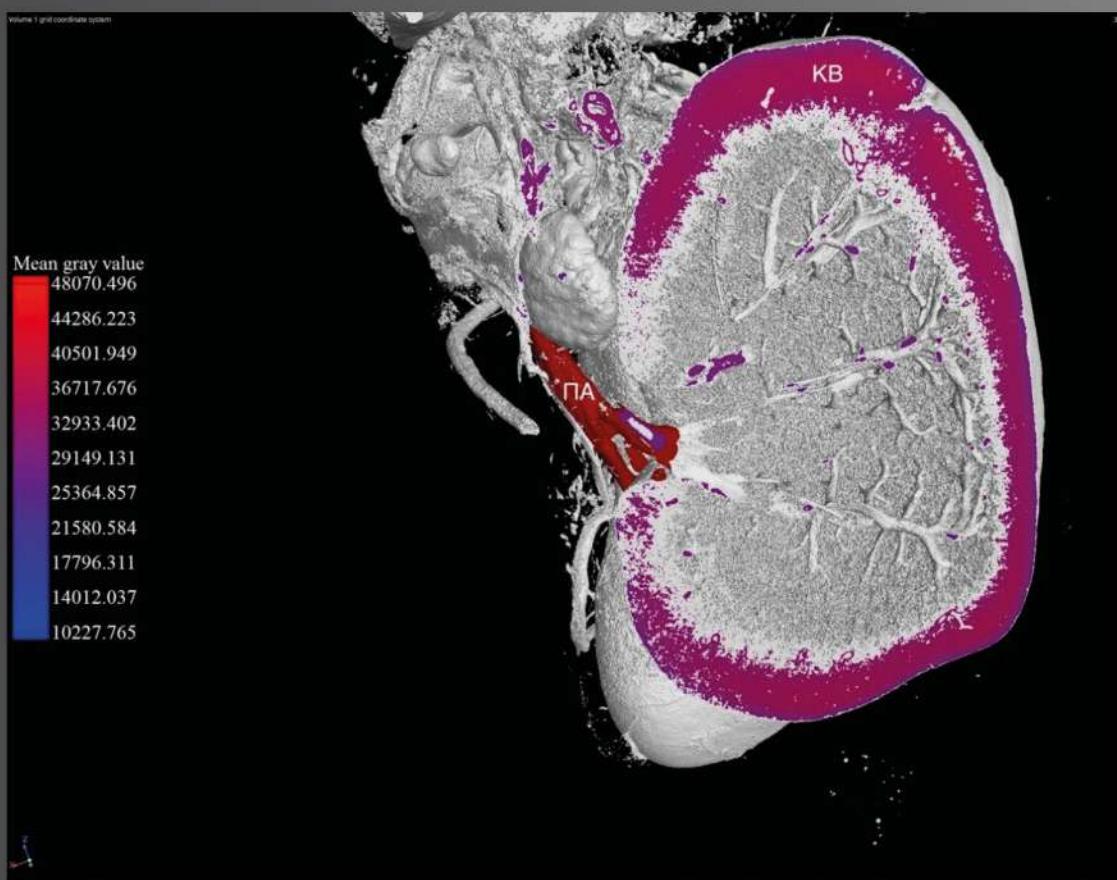


Ветеринарная патология

Паразитология / Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология / Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность / Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства / Инфекционные болезни и иммунология животных/ Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных



Визуализация почки в разрезе со шкалой плотности.

Авторы: Тихменева Ю.А., Садырин Е.В.

Донской государственный технический университет. 2025 год.





ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ветеринарная патология

Russian Journal of Veterinary Pathology

Рецензируемый научно-практический журнал



eISSN 2949-4826

Издается с 2002 года

Периодичность – 4 выпуска в год

DOI: 10.23947/2949-4826

Медаль Отделения ветеринарной
медицины РАСХН
«За достижения в области
ветеринарной науки». Вручена
редакции журнала в 2009 г.

Учредитель и издатель — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону

«Ветеринарная патология» — рецензируемый научно-практический журнал, в котором публикуются результаты оригинальных исследований и обзорные статьи в области ветеринарной медицины. Освещаются вопросы паразитологии, физиологии, фармакологии, экологии, уделяется внимание инфекционным болезням и другим аспектам ветеринарии домашних, сельскохозяйственных и диких животных.

Цель журнала заключается в повышении профессионального уровня знаний профильной аудитории и распространении по всему миру высокоэффективных, тщательно проверенных ветеринарных научных исследований, используя только онлайн-формат открытого доступа для максимальной доступности.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в котором должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК) по следующим научным специальностям:

- 1.5.17 – Паразитология (биологические науки, ветеринарные науки)
- 4.2.1 – Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (биологические науки, ветеринарные науки)
- 4.2.2 – Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки, ветеринарные науки)
- 4.2.3 – Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки, биологические науки)
- 4.2.4 – Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки, сельскохозяйственные науки)
- 4.2.5 – Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

Регистрация: Выписка из реестра зарегистрированных средств массовой информации ЭЛ № ФС 77-85552 от 27.06.2023 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Индексация и архивация: РИНЦ, DOAJ, AGRIS, CyberLeninka, CrossRef, Internet Archive, Google Scholar

Сайт: <https://www.vetpat.ru/>

Адрес редакции: 344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

E-mail: vetpat@donstu.ru

Телефон: +7 (863) 273-85-08

Дата выхода №4, 2025 в свет: 30.12.2025





Russian Journal of Veterinary Pathology

Veterinarnaya Patologiya

Peer-reviewed scientific and practical journal



eISSN 2949-4826

Published since 2002

Periodicity – 4 issues per year

DOI: 10.23947/2949-4826

The medal “For Achievements in the Field of Veterinary Science” by the Veterinary Medicine Department of the Russian Academy of Agricultural Sciences. Awarded to the editorial board in 2009.

Founder and Publisher — Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

The “Russian Journal of Veterinary Pathology” is a peer-reviewed scientific and practical journal that publishes the results of the original research and review articles in the field of veterinary medicine. It covers the issues of parasitology, physiology, pharmacology, ecology, and considers the aspects of infectious diseases and other matters of veterinary medicine of companion, farm and wild animals.

The journal aims at enhancing the level of professional knowledge of the target audience and to disseminate worldwide the highly efficient, thoroughly verified scientific research in the field of veterinary medicine using an online open access format for maximum accessibility.

The journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific publications (Higher Attestation Commission under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation), where the main scientific results of dissertations for the degrees of Doctor and Candidate of Science in the following scientific specialties should be published.

- Parasitology
- Animal Pathology, Morphology, Physiology, Pharmacology and Toxicology
- Sanitation, Hygiene, Ecology, Veterinary and Sanitary Expertise and Biosafety
- Infectious Diseases and Animal Immunology
- Zootechnics, Feeding, Technologies of Feed Preparation and Livestock Products Production
- Breeding, Selection, Genetics and Animal Biotechnology

Registration

Extract from the Register of Registered Mass Media № ФС 77 – 85552 dated June 27, 2023, issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media

Indexing and Archiving

RISC, DOAJ, AGRIS, CyberLeninka, CrossRef, Internet Archive, Google Scholar

Website

<http://www.vetpat.ru/>

Address of the Editorial Office

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation

E-mail

vetpat@donstu.ru

Telephone

+7 (863) 273-85-08

Date of Publication No.4, 2025

30.12.2025



Редакционная коллегия

Главный редактор

Ермаков Алексей Михайлович, доктор биологических наук, профессор, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора

Аксенова Полина Владимировна, доктор биологических наук, профессор, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Тодоров Святослав Димитров, Ph.D, Университет Сан-Паулу (Сан-Паулу, Бразилия)

Выпускающий редактор

Калошкина Инна Муратовна, кандидат ветеринарных наук, начальник отдела противопаразитарных, ветеринарно-санитарных мероприятий ГКУ КСББЖ «Краснодарская» (Краснодар, Российская Федерация)

Ответственный секретарь

Ламтева Алина Владимировна, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Алипер Тарас Иванович, доктор биологических наук, профессор, Федеральный научно-исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. почетного академика Н.Ф. Гамалеи (Москва, Российская Федерация)

Аммар Альгбури, Ph.D (биология), декан ветеринарного факультета, Университет Диала (Баакуба, Ирак)

Алешуккина Анна Валентиновна, доктор медицинских наук, Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Ариунболд Жаргалсайхан, Ph.D, Монгольский государственный университет образования (Улан-Батор, Монголия)

Белова Лариса Михаловна, доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Бондарь Игорь Вечеславович, доктор биологических наук, Заведующий лабораторией физиологии сенсорных систем, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (Москва, Российская Федерация)

Брюя Жан-Франсуа, DVM, PhD, лауреат Университета Поля Сабатье, дипломант Европейского колледжа репродукции животных (ECAR), президент Французской ассоциации по изучению репродукции животных, член экзаменационной комиссии Европейского колледжа репродукции животных (ECAR), профессор териогенологии Национального колледжа ветеринарной медицины, пищевых наук и инженерии (Нант, Франция)

Ватников Юрий Анатольевич, доктор ветеринарных наук, профессор, Российский университет дружбы народов (Москва, Российская Федерация)

Верховский Олег Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский институт диагностики и профилактики болезней человека и животных (Москва, Российская Федерация)

Дерезина Татьяна Николаевна, доктор биологических наук, профессор, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Дилекова Ольга Владимировна, доктор биологических наук, доцент, Ставропольский государственный аграрный университет (Ставрополь, Российская Федерация)

Карташов Сергей Николаевич, доктор биологических наук, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Квочко Андрей Николаевич, доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет (Ставрополь, Российская Федерация)

Клименко Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Донской государственный аграрный университет (пос. Персиановский, Ростовская область, Российская Федерация)

Коняев Сергей Владимирович, кандидат биологических наук, главный врач ветеринарной клиники «AC Вет» (Новосибирск, Российская Федерация)

Кун Венема, Ph.D (естественные науки), профессор, Маастрихтский университет (Маастрихт, Нидерланды);

Макаров Владимир Владимирович, доктор биологических наук, профессор, Российский университет дружбы народов (Москва, Российская Федерация)

Недосеков Виталий Владимирович, доктор ветеринарных наук, профессор, Институт ветеринарной медицины Национального аграрного университета (Киев, Украина)

Онолрагчаа Ганболд, Ph.D, Монгольский государственный университет образования (Улан-Батор, Монголия)

Паршин Павел Андреевич, доктор ветеринарных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии (Воронеж, Российская Федерация)

Попов Игорь Витальевич, Ph.D (микробиология), научный сотрудник, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Сотникова Лариса Федоровна, доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет (Москва, Российская Федерация)

Стекольников Анатолий Александрович, доктор ветеринарных наук, профессор, ректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Степanova Марина Вячеславовна, доктор ветеринарных наук, доцент, Российский биотехнологический университет (Москва, Российская Федерация)

Твердохлебова Татьяна Ивановна, доктор медицинских наук, Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Фернандо Саймон Мартин, профессор Университета Саламанка (Саламанка, Испания)

Чикиндас Михаил Леонидович, кандидат биологических наук, доцент, Рутгерский государственный университет штата Нью-Джерси (Нью-Брансуик, США)

Чистяков Владимир Анатольевич, доктор биологических наук, Академия биологии и биотехнологии, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Урошевич Миливойе, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член Академии ветеринарной медицины – Сербского ветеринарного общества, директор по научной работе, Центр сохранения аборигенных пород (Белград, Сербия)

Editorial Board

Editor-in-Chief

Alexey M. Ermakov, Dr.Sci. (Biology), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Deputy Chief Editor

Polina V. Aksanova, Dr.Sci. (Biology), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Svetoslav D. Todorov, Ph.D, University of São Paulo (São Paulo, Brazil)

Executive Editor

Inna M. Kaloshkina, Cand.Sci. (Veterinary Medicine), Head of the Antiparasitic, Veterinary and Sanitary Activities Department, State-Funded Institution of the Krasnodar Region “Krasnodar Regional Stationfor Combating Animal Diseases” (Krasnodar, Russian Federation)

Executive Secretary

Alina V. Lamteva, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Alexander I. Klimenko, Dr.Sci. (Agriculture), Professor, Don State Agrarian University (Persianovsky Settlement, Russian Federation)

Ammar Algburi, Ph.D. (Biology), Dean of the Veterinary Faculty, Diyala University (Baakuba, Iraq)

Anatoly A. Stekolnikov, Dr.Sci. (Veterinary Medicine), Professor, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation)

Andrey N. Kvochko, Dr.Sci. (Biology), Professor, Stavropol State Agrarian University (Stavropol, Russian Federation)

Anna V. Aleshukina, Dr.Sci. (Medicine), Rostov Scientific Research Institute of Microbiology and Parasitology (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Ariunbold Jargalsaikhan, Ph.D., Mongolian State University of Education (Ulaanbaatar, Mongolia)

Fernando Simón Martín, Professor, University of Salamanca (Salamanca, Spain)

Igor V. Bondar, Dr.Sci. (Biology), Head of the Physiology of Sensory Systems Laboratory, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Igor V. Popov, Ph.D (Microbiology), Researcher, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Jean-François Bruyas, D.V.M, Ph.D., Laureate of the Paul Sabatier University, Diplomate of the European College of Animal Reproduction (ECAR), President of the French Association for the Study of Animal Reproduction, Member of the Exam Committee of the European College of Animal Reproduction (ECAR), Professor of theriogenology, National College of Veterinary Medicine, Food Science and Engineering (Nantes, France)

Koen Venema, Ph.D (Natural Sciences), Maastricht University (Maastricht, Netherlands)

Larisa M Belova, Dr.Sci. (Biology), Professor, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation)

Larisa F. Sotnikova, Dr.Sci. (Veterinary Medicine), Professor, Russian Biotechnological University (Moscow, Russian Federation)

Marina V. Stepanova, Dr.Sci. (Veterinary Medicine), Associate Professor, Russian Biotechnological University (Moscow, Russian Federation)

Michael L. Chikindas, Cand.Sci. (Biology), Associate Professor of Food Science Department, Rutgers University, the State University of New Jersey (New Brunswick, USA)

Milivoje Urošević, PhD, Full Research Professor, Member of the Veterinary Medicine Academy – Serbian Veterinary Society, Managing Director, Center for Preservation of Indigenous Breeds (9, Vera Dimitrijevic Str. Zemun, Belgrade, 11186, Serbia),

Oleg A. Verkhovsky, Dr.Sci. (Biology), Professor, Diagnostic and Prevention Research Institute for Human and Animal Diseases (Moscow, Russian Federation)

Olga V. Dilekova, Dr.Sci. (Biology), Associate Professor, Stavropol State Agrarian University (Stavropol, Russian Federation)

Onolragchaa Ganbold, Ph.D., Mongolian State University of Education (Ulaanbaatar, Mongolia)

Pavel A. Parshin, Dr.Sci. (Veterinary Medicine), Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy (Voronezh, Russian Federation)

Sergey N. Kartashov, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Biology and General Pathology Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Sergey V. Konyaev, Cand.Sci. (Biology), Chief Medical Officer of the Veterinary Clinic “AS Vet” (Novosibirsk, Russian Federation)

Taras I. Aliper, Dr.Sci (Biology), Professor, National Research Center for Epidemiology and Microbiology Named after Honorary Academician N.F. Gamaleya (Moscow, Russian Federation)

Tatyana I. Tverdokhlebova, Dr.Sci. (Medicine), Rostov Scientific Research Institute of Microbiology and Parasitology (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Tatyana N. Derezhina, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Biology and General Pathology Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Vitalii V. Nedosekov, Dr.Sci. (Veterinary Medicine), Professor of the Institute of Veterinary Medicine, National Agrarian University (Kiev, Ukraine)

Vladimir A. Chistyakov, Dr.Sci. (Biology), Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Vladimir V. Makarov, Dr.Sci. (Biology), Professor, Honoured Scholar of the Russian Federation, Professor, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russian Federation)

Yuriii A. Vatnikov, Dr.Sci. (Veterinary Medicine), Professor, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russian Federation)

Содержание

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Зараженность черноморско-каспийской тюльки (*Clupeonella cultriventris*) в Камском водохранилище цестодами рода *Proteocephalus* и гистологическое исследование кишечника рыбы при инвазии данными паразитами

О.И. Лазарева, Т.Н. Сивкова..... 7

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

Создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров.

Часть 1: Формализация задач.

В.В. Побединский, А.А. Побединский, Г.А. Иовлев 17

Биохимические параметры сыворотки крови у кошек с нефрокардиальным синдромом

К.Е. Белкин, Ю.А. Ватников, Е.Д. Сотникова, Е.А. Нотина, Е.А. Кротова 27

Компьютерная томография для диагностики патологий жевательных мышц у собак

Е.А. Николаева, Н.А. Николаева, С.Н. Карташов, А.А. Крикунова 35

Исследование морфофункционального состояния легких и центральных органов детоксикации джунгарских хомячков (*Phodopus sungorus*) при длительном воздействии аэрозоля электронных сигарет

А.В. Сахаров, В.И. Бырдина, П.А. Задубровский, И.В. Задубровская, О.Ф. Потапова, Е.Ю. Кондратюк, С.С. Бондаренко, Е.А. Новиков 43

Оценка изменений плотности тканей почек у крыс с гиперлипидемией методом микро-КТ

Ю.А. Тихменева, Е.В. Садырин 55

Эффективность моделирования окислительного стресса у крыс воздействием шума в сравнении с гипертермией и магнитным полем

Н.В. Симонова, И.Ю. Саятина, М.А. Штарберг, А.П. Лашин, Н.М. Мандро, З.А. Литвинова 64

ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИЯ, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

Основные принципы и практические рекомендации по правильному кормлению ослов

Н. Матеевич, М. Урошевич 74

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

О времени и о себе 90

Contents

PARASITOLOGY

Infestation of Black Sea-Caspian Sprat (*Clupeonella Cultriventris*) with Cestodes of the Genus *Proteocephalus* in the Kama Reservoir and Histological Examination of Fish Intestines Infested with These Parasites

Olga I. Lazareva, Tatyana N. Sivkova 7

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY

Development of an Intelligent System for Diagnosing Rumen Acidosis in Cows. Part 1: Formalization of Tasks
Vladimir V. Pobedinskiy, Andrey A. Pobedinskiy, Grigory A. Iovlev 17

Biochemical Parameters of Blood Serum in Cats with Nephrocardial Syndrome
Konstantin E. Belkin, Yuri A. Vatnikov, Elena D. Sotnikova, Elena A. Notina, Elena A. Krotova 27

Using Computed Tomography Scanning for Diagnosing Masticatory Muscle Pathologies in Dogs
Ekaterina A. Nikolaeva, Nadezhda A. Nikolaeva, Sergey N. Kartashov, Anastasia A. Krikunova 35

A Study on Morphofunctional State of Djungarian Hamster (*Phodopus Sungorus*) Lungs and Main Organs of Detoxification under Long-Term Exposure to E-Cigarette Aerosol
Andrey V. Sakharov, Vitalina I. Byrdina, Pavel A. Zadubrovsky, Inna V. Zadubrovskaya, Olga F. Potapova, Ekaterina Yu. Kondratyuk, Sergey S. Bondarenko, Evgeny A. Novikov 43

Assessing Kidney Tissue Density Changes in Rats with Hyperlipidemia Using Micro-CT
Yulia A. Tikhmeneva, Evgeniy V. Sadyrin 55

The Efficiency of Modeling Oxidative Stress in Rats by Exposure to Noise Compared to Exposure to Hyperthermia or Magnetic Field
Natalya V. Simonova1, Irina Yu. Sayapina, Mikhail A. Shtarberg, Anton P. Lashin, Nikolay M. Mandro, Zoya A. Litvinova 64

PRIVATE ANIMAL HUSBANDRY, FEEDING, TECHNOLOGIES OF FEED PREPARATION AND PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTS

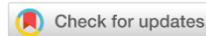
Basic Principles and Practical Instructions for Proper Feeding of Donkeys
Nenad Matejević, Milivoje Urošević 74

ANNIVERSARY OF THE SCIENTIST

About time and about yourself 90

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

PARASITOLOGY



УДК 616.995.121

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-7-16>

Оригинальное эмпирическое исследование

Зараженность черноморско-каспийской тюльки (*Clupeonella cultriventris*) в Камском водохранилище цестодой рода *Proteocephalus* и гистологическое исследование кишечника рыбы при инвазии данными паразитами



EDN: JAOMAR

О.И. Лазарева ID, Т.Н. Сивкова ID

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Российская Федерация

ol.manina@yandex.ru

Аннотация

Введение. Черноморско-каспийская тюлька (*Clupeonella cultriventris*) является адаптировавшимся вселенцем в Камском водохранилище, способным влиять на трофические связи в данной экосистеме. При этом состав ее гельминтофауны и патологические изменения под влиянием отдельных патогенов, таких как цестоды рода *Proteocephalus*, в настоящее время малоизучены. Цель работы — исследовать зараженность *C. cultriventris* в Камском водохранилище цестодой рода *Proteocephalus* и описать гистологические изменения кишечника рыбы при данной инвазии.

Материалы и методы. *C. cultriventris* (n=83) отобрана в осенне-зимний период 2024 г. в нескольких районах Камского водохранилища. Применили неполный биологический анализ, неполное гельминтологическое вскрытие и гистологическое исследование кишечника при инвазии цестодами. Паразитологическое исследование выполняли на кафедре инфекционных болезней ФГБОУ ВО ПГАТУ. Изготовление препаратов для гистологического исследования выполняли в лаборатории гистопатологии ГБУЗ ПК «Краевая детская клиническая больница». Готовые гистологические срезы сканировали с помощью автоматической системы Vision Assist и программного обеспечения для автоматизации микроскопии Vision. Математическую обработку полученных данных выполняли в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования. Наибольшая экстенсивность инвазии ЭИ 50 % при интенсивности инвазии ИИ 1-2 *Proteocephalus* sp. (juv) тюльки отмечалась в центральном районе Камского водохранилища; в несколько раз меньше — в верхнем районе (ЭИ 13 % при ИИ 1-3); тюлька из нижнего района была полностью свободна от инвазии. Размерно-весовые параметры тюльки из верхнего и нижнего районов водохранилища были существенно выше, чем рыбы из центрального района, — примерно в 2 раза по весу и в 1,2 раза по длине. Гистологическое исследование кишечника тюльки выявило изменения на уровне слизистого и подслизистого слоев, эпителий находился в состоянии десквамации, строма ворсинок рыхлая и отечная.

Обсуждение и заключение. Впервые приводятся данные о зараженности *C. cultriventris* в Камском водохранилище цестодами *Proteocephalus* sp. Установлено, что инвазия цестодами оказывает влияние на биологические характеристики рыбы и вызывает в кишечнике незначительные патологические изменения воспалительного характера. Обнаружение предвзрослых цестод у неспецифических хозяев не позволяет провести их идентификацию, поэтому для уточнения паразито-хозяинских отношений между *C. cultriventris* и *Proteocephalus* sp. необходимы дополнительные исследования.

Ключевые слова: тюлька, *Clupeonella cultriventris*, Камское водохранилище, зараженность, паразиты, цестода, *Proteocephalus*, инвазия, гистологическое исследование, кишечник

Благодарности. Выражаем благодарность сотрудникам Пермского филиала «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» младшим специалистам лаборатории водных биоресурсов Игорю Николаевичу и Лидии Васильевне Мерзляковым, старшему специалисту лаборатории водных биоресурсов Семену Николаевичу Казаринову за помощь в отборе проб.

Для цитирования. Лазарева О.И., Сивкова Т.Н. Зараженность черноморско-каспийской тюльки (*Clupeonella cultriventris*) в Камском водохранилище цестодами рода *Proteocephalus* и гистологическое исследование кишечника рыбы при инвазии данными паразитами. *Ветеринарная патология.* 2025;24(4):7–16. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-7-16>

Original Empirical Research

Infestation of Black Sea-Caspian Sprat (*Clupeonella Cultriventris*) with Cestodes of the Genus *Proteocephalus* in the Kama Reservoir and Histological Examination of Fish Intestines Infested with These Parasites

Olga I. Lazareva  , Tatyana N. Sivkova  

Perm State Agro-Technological University Named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

✉ ol.manina@yandex.ru

Abstract

Introduction. The Black Sea-Caspian sprat (*Clupeonella cultriventris*) is an alien species adapted to the Kama Reservoir conditions, capable of affecting the trophic relationships in this ecosystem. However, the composition of helminth fauna in this ecosystem and the pathological changes induced by the certain pathogens, such as cestodes of the genus *Proteocephalus*, are currently poorly investigated. The aim of the study is to investigate the infestation of *C. cultriventris* with cestodes of the genus *Proteocephalus* in the Kama Reservoir and to describe the histological changes in the fish intestines caused by this infestation.

Materials and Methods. In the autumn-winter period of 2024, the *C. cultriventris* (n=83) were taken from the several parts of the Kama Reservoir. A partial biological analysis, partial helminthological dissection and histological examination of the intestines infested with cestodes were carried out. Parasitological examination was performed at the Department of Infectious Diseases of Perm State Agro-Technological University. Preparation of histological specimens was performed in the histopathology laboratory of Perm Regional Children's Clinical Hospital. The prepared histological sections were scanned using the Vision Assist automated system and Vision microscopy automation software. Mathematical processing of the obtained data was performed in Microsoft Excel.

Results. The highest infestation extensity (IE 50%) of *Proteocephalus sp. (juv)* corresponding to infestation intensity (II) range 1–2 was observed in sprat form the middle part of the Kama Reservoir; in sprat from the upper part, it was several times less (IE 13% corresponding to II range 1–3); sprat from the lower part was not infested at all. The size and weight parameters in sprat from the upper and lower parts of the Reservoir were significantly higher than that in the fish from the middle part — approximately 2 times exceedance in weight and 1.2 times — in length. Histological examination of sprat intestines revealed changes in mucosa and submucosa layers; the epithelium was in a state of desquamation, the stromal state of the villi was loose and edematous.

Discussion and Conclusions. Data on infestation of *C. cultriventris* with the cestodes of the genus *Proteocephalus sp.* in the Kama Reservoir are presented for the first time. It has been revealed that cestode infestation affects the biological parameters of fish and causes minor inflammatory pathological changes in the intestines. Detection of the pre-mature cestodes in the non-specific hosts is not enough factor for their identification, therefore, further research is needed to clarify the host-parasite relationships of *C. cultriventris* and *Proteocephalus sp.*

Keywords: sprat, *Clupeonella cultriventris*, Kama Reservoir, infestation, parasites, cestode, *Proteocephalus*, invasion, histological examination, intestines

Acknowledgements. We express our gratitude to the staff of Perm branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography: Igor N. and Lidiya V. Merzlyakovs, junior technicians of the Aquatic bioresources laboratory, and Semen N. Kazarinov, senior technician of the Aquatic bioresources laboratory, for their assistance in collecting samples.

For Citation. Lazareva OI, Sivkova TN. Infestation of Black Sea-Caspian Sprat (*Clupeonella Cultriventris*) with Cestodes of the Genus *Proteocephalus* in the Kama Reservoir and Histological Examination of Fish Intestines Infested with These Parasites. *Russian Journal of Veterinary Pathology.* 2025;24(4):7–16. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-7-16>

Введение. Черноморско-каспийская тюлька (килька) *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) является единственным представителем семейства Clupeidae (Cuvier 1816), принадлежащим к солоновато-водному понто-каспийскому виду рыб, который массово расселился по

всему Волго-Камскому бассейну. Тюлька адаптировалась к условиям среды и занимает устойчивое положение в экосистеме. Она имеет высокую плотность и часто доминирует среди пелагических видов рыб большинства водохранилищ [1].

В Камском бассейне тюлька впервые зарегистрирована как вид-вселенец в 1971 г. в Воткинском водохранилище, в 1975 г. — в Камском [2], в 1979 г. — в Нижнекамском [3]. До 2014 г. данные по количеству тюльки в Камском водохранилище в официальной рыбопромысловой статистике отсутствуют. С 2014 по 2020 гг. относительная ее численность на разных участках водохранилища составляла от 0,1 % до 0,2 % от общего улова [4].

Вследствие расселения чужеродных видов животных возникает вероятность распространения связанных с ними паразитов [5]. Установлено, что в бассейне реки Волги за 20 лет количество паразитов-вселенцев увеличилось в 3 раза ввиду увеличения числа чужеродных видов рыб и беспозвоночных. Из 47 зарегистрированных чужеродных видов паразитов 80 % являлись случайными интродуцентами, а 20 % расширили свой ареал в пределах водоема. При этом 75 % локально натурализовались, а 15 % натурализовались и распространились по водохранилищам [6]. Основными векторами распространения инвазий в бассейне Волги являются случайная интродукция с хозяевами и самораспространение вместе с хозяевами. Так, было обнаружено естественное расширение ареала цестод *Eubothrium rugosum*, *Cystidicola farionis*, *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus crassus* с севера на юг вследствие создания водохранилищ, которые классифицируются как «слабопроточные озера» [6].

Изучение ассоциированных с рыбами-вселенцами чужеродных паразитов актуально, так как они могут использоваться в качестве биологических меток для исследования миграционной активности, определения вектора и направления распространения при прогнозировании динамики численности популяций хозяев-вселенцев [7]. Однако исследованию паразитофауны непресноводной тюльки посвящены немногочисленные статьи. Сообщается, что у каспийской кильки в целом наблюдается обеднение видового состава паразитов. Специфическими для сельдевых являются трематоды, личинки анизакидных нематод и скребни [8]. У тюльки из Азовского моря обнаружены изоподы, личинки трематод и анизакидных нематод [9]. У тюльки из Черного и Азовского морей дополнительно найдены моногенеи, цестоды, трематоды и скребни [10]. В казахстанском секторе Каспийского моря у *C. cultriventris* обнаружены нерегистрируемые ранее анизакидные нематоды [11]. Стоит учесть, что указанные гельминты имеют эпидемиологическое значение [12], поэтому потенциально их можно рассматривать как источник инвазии.

Относительно пресноводных форм черноморско-каспийской тюльки в период 2000–2010 гг. в Иваньковском, Рыбинском, Горьковском, Чебоксарском и Шекснинском водохранилищах наблюдали отсутствие специфических для сельдевых паразитов, единично обнаруживали моло-

дых цестод, метацеркари и мариты трематод, неполовозрелых нематод, глохидии и ракчи [13]. За последние пять лет публикации посвящены обследованию тюльки из Горьковского водохранилища на наличие метацеркари трематод [5], из Иваньковского — на наличие кровепаразитов [14], которые неспецифичны для сельдевых.

Материалов по исследованию гистологических изменений у тюльки при инвазионных болезнях крайне мало. Описаны гистологические изменения в кишечнике *C. cultriventris caspia* из Среднего и Южного Каспия при инвазии специфичными трематодами при совместных неопластических процессах во внутренних органах [15].

С момента вселения *C. cultriventris* в Камское водохранилище прошло 50 лет, однако исследования паразитофауны и гистологических изменений в кишечнике тюльки при неспецифических инвазиях отсутствуют. Цель работы — изучить зараженность черноморско-каспийской тюльки в Камском водохранилище цестодой рода *Proteocephalus* и выполнить гистологическое исследование кишечника рыбы при данной инвазии.

Материалы и методы. *C. cultriventris* (n=83) отобрана в осенне-зимний период 2024 г. в нескольких районах Камского водохранилища: в верхнем районе около деревни Быстрая ($59^{\circ}25'$ с.ш., $56^{\circ}23'$ в.д.); в центральном районе около острова Бор ($58^{\circ}96'$ с.ш., $56^{\circ}22'$ в.д.); и в нижнем районе напротив поселка Хохловка ($58^{\circ}13'$ с.ш., $56^{\circ}20'$ в.д.). Обработку ихтиологического материала осуществляли согласно общепринятым методикам [16]. Паразитологическое исследование выполняли на кафедре инфекционных болезней ФГБОУ ВО ПГАТУ по методике И.Е. Быховской-Павловской [17], осуществляли морфологическую идентификацию по определителю [18], рассчитывали паразитологические индексы.

Для гистологического исследования отбирали кишечник инвазированных цестодами экземпляров, фиксировали 4-процентным раствором формальдегида. Изготовление препаратов выполняли в лаборатории гистопатологии ГБУЗ ПК «Краевая детская клиническая больница» по стандартной методике. Готовые гистологические срезы сканировали с помощью автоматической системы Vision Assist (West Medica, Австрия) и программного обеспечения для автоматизации микроскопии Vision (ООО «Медика Продакт», Россия). Математическую обработку полученных данных выполняли в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования. Анализ паразитологических индексов выявил неравномерную зараженность тюльки цестодами рода *Proteocephalus* в разных районах Камского водохранилища: самая высокая экстенсивность инвазии (ЭИ) отмечалась в центральном районе; примерно в 4 раза ниже — у рыбы из верхнего района (при этом интенсивность инвазии (ИИ) в этих районах была примерно одинаковой); особи из нижнего

района оказались свободными от данной инвазии. Неполный биологический анализ показал, что размерно-весовые параметры рыбы из верхнего и нижнего районов были существенно лучше, чем экземпляров из центрального района, — примерно в 2 раза по весу и в 1,2 раза по длине (таблица 1).

При неполном гельминтологическом вскрытии в кишечнике тюльки мы обнаружили неполовозрелых цestод, относящихся к роду *Proteocephalus* (рис. 1). Видовую идентификацию не выполняли, так как цестоды находились в предвзрослой стадии. При изучении морфологии сколекса они соответствовали описа-

нию *P. torulosus* ввиду наличия четырех боковых присосок при отсутствии апикальной.

При гистологическом исследовании препаратов в полях зрения находились свободнолежащие цестоды *Proteocephalus sp.* на ювенальной стадии развития (рис. 2).

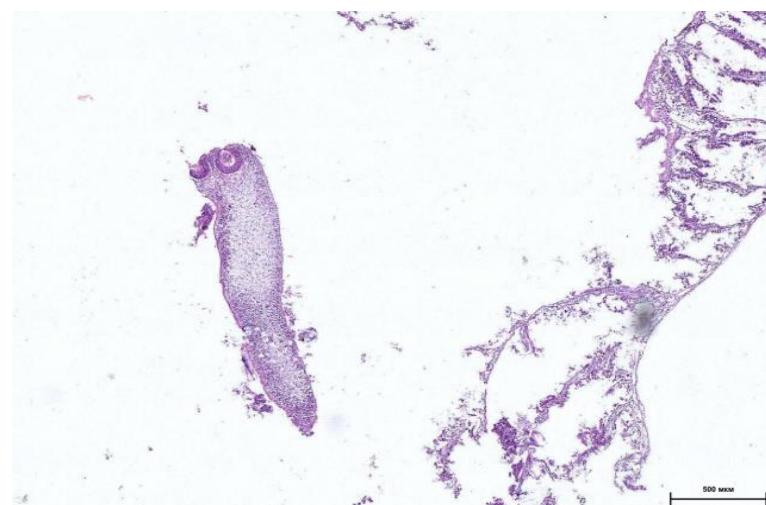
На уровне слизистой оболочки и подслизистого слоя кишечника обнаружены патологические изменения в тканях. Эпителий находился в состоянии десквамации, строма ворсинок рыхлая и отечная (рис. 3).

По внутренней поверхности подслизистого слоя прерывисто располагались клетки вытянутой формы с овальными ядрами (рис. 4).

Таблица 1

Размерно-весовые характеристики тюльки *C. cultriventris* из разных районов Камского водохранилища и зараженность цестодами рода *Proteocephalus*

Районы исследования	N, экз.	Вес рыбы (W), г $X \pm SE$	Стандартное отклонение W, SD	Средняя длина (l), мм $X \pm SE$	Стандартное отклонение l, SD	ЭИ, %	ИИ среднее, экз. (min-max)
Верхний	15	5,8±1,56	0,42	77,6±8,82	2,36	13,3	2 (1-3)
Центральный	20	3,4±1,72	0,40	65,8±10,92	2,50	50	1,2 (1-2)
Нижний	48	6,5±1,34	0,19	80,25±6,07	0,89	0	0

Рис. 1. *Proteocephalus sp.*, обнаруженный в *C. cultriventris* из верхнего района Камского водохранилища, ув. ×4Рис. 2. *Proteocephalus sp.*, часть кишечника *C. cultriventris*, окраска H & E, ув. ×62

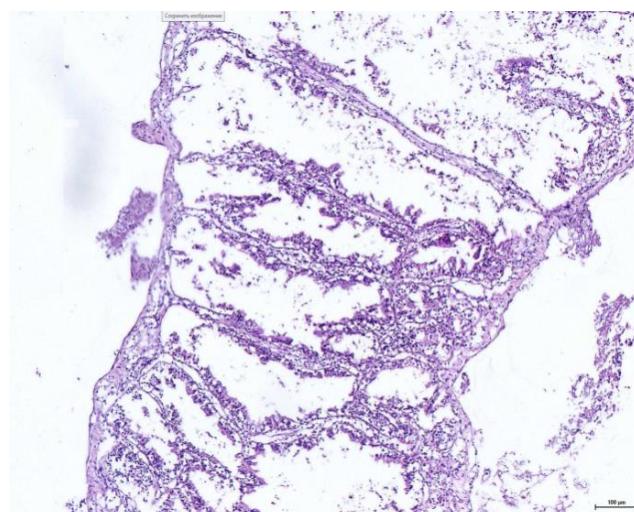


Рис. 3. Десквамация эпителия, отек стромы ворсинок, окраска Н & Е, ув. ×200

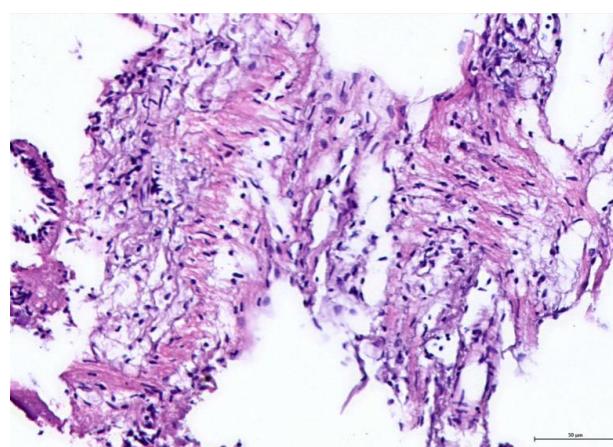


Рис. 4. Подслизистый слой с вытянутыми клетками, окраска Н & Е, ув. ×1000

Обсуждение и заключение. Для черноморско-каспийской тюльки характерна размерная изменчивость, которая зависит от кормовой базы водоема, включая размеры пищевых частиц, от температурных режимов под влиянием ГЭС, от наличия хищников и конкурентов, а также от развития промысла. На основании проведенных исследований размерную изменчивость тюльки из волжских водохранилищ связывают с условиями обитания и давностью вселения вида [2]. Однако, если учитывать ЭИ, то можно предположить, что зараженность рыбы кишечными гельминтами также влияет на ее размерно-весовые характеристики, что подтверждается исследованиями других цестодозов [19]. Недавно было установлено, что во время инвазии цестоды выделяют ингибиторы ферментов, что приводит к снижению протеолитической активности слизистых оболочек кишечника [20] и, как следствие, нарушению пищеварения и ассимиляции питательных веществ.

Протеоцефалюсы у тюльки находились в кишечнике, что согласуется с литературными данными при индикации других видов [21, 22]. Однако стали появляться сообщения о локации личинок семейства Proteocephalidae [21], личинок *P. ambloplitis* вне кишечника у вторых промежуточных хозяев-рыб [23].

Первое упоминание об обнаружении *Proteocephalus* sp. (juv) у кильки в Волго-Донском канале [24] датируется 50-ми годами прошлого века, когда создавались каскады водохранилищ и бассейны каналов [25]. Затем данная инвазия регистрировалась в Рыбинском водохранилище в 2000–2001 гг. (ЭИ $2,4 \pm 1,6$ [26]); в 2005 г. (ЭИ $0,6 \pm 0,6$ [13]); при появлении вселенца с 1993 г. [25]. Позднее сообщается, что неспецифические, редкие цестоды относились к *P. percae* (juv) [13].

Обнаружение незрелых цестод может быть связано с сезонной полицикличностью, зависящей от географического положения и экологических условий [21]. Для протеоцефалюсов характерен долгий препродуктивный период, охватывающий большую часть года, и короткий репродуктивный — менее двух месяцев. Численность популяции, соответственно, в препродуктивный период — более 99 %, в репродуктивный — около 0,02 % [21, 27]. Рост, созревание и элиминация цестод зависят от температурных условий среды, гормонального фона хозяина [21], его физиологического состояния, устойчивости кормовой базы и внутривида конкуренции [27].

При идентификации необходимо проводить генетическое подтверждение ввиду высокой изменчивости протеоцефалюсов [27–29], при детекции личиночных

форм, понимания эпизоотологии [22] и инвазии одновременно несколькими видами *Proteocephalus* sp. [30]. Отсутствие апикальной присоски является нехарактерным признаком, в одной кладе могут находиться виды с отчетливой апикальной присоской, тогда как виды без нее включены в разные клады [31].

Потенциально тюлька из Камского водохранилища может быть инвазирована четырьмя видами протеоцефалюсов: *P. percae*, *P. cernuae*, *P. torulosus* и *P. longicollis*. Учитывая биологические особенности и потребности [28], экологический тип поведения хозяина [29], для тюльки возможна инвазия *P. percae*. Тюлька теплолюбива, типичный плантофаг, предпочитает борельный равнинный комплекс, в водоеме данная инвазия регистрируется у окуней [32]. *P. percae* широко распространен в Палеарктике, отличается полигостальностью [28], обладает полиморфизмом [27, 28]. Для него характерен годичный цикл развития [21, 27]. Для *P. percae* описаны abortивные (тупиковые) хозяева, в которых они не развиваются [28]. *P. percae* имеет филогенетическую связь с *P. longicollis* — сходство 98 %, несмотря на генетическую отдаленность хозяев [31].

Условия водоема [28] и узкая специфичность [31] не подходят для инвазии тюльки *P. cernuae*, но тип питания и экологического поведения [28, 29], цикл развития [21, 26] — такие, как у *P. percae*, и представляют возможность для инвазии *P. cernuae*. В Камском водохранилище *P. cernuae* регистрировали у ёрша [32, 33] и окуня [32]. Экспериментально установлено, что неспецифические хозяева могут являться транспортными для молодых и зрелых цестод, в которых они не развиваются, но выживают [21]. Генетически *P. cernuae* имеет высокий процент сходства (94–99 %) с *P. percae* [31].

У тюльки также может развиваться инвазия *P. torulosus*. Среди карповых из Камского водохранилища *P. torulosus* обнаруживали у плотвы, елеца, язы, уклей, леща [33]. Среди карповых установлено несколько гостальных группировок *P. torulosus*, зависящих от вида хозяина и пищевой специализации [34]. У разных видов хозяев паразит образует отдельные экологические формы [34], отличающиеся фенотипически. Одинаковый характер питания тюльки и уклей предполагает вероятность инвазии. Гостальная радиация обеспечивает условия для генетической изменчивости, что способствует развитию устойчивости и пластичности цестоды карповых [34]. Данный вид морфологически отличается от всех представителей рода, формирует отдельную кладу, имеет низкое генетическое сходство с другими видами протеоцефалюсов [31].

Для *P. longicollis* характерен полиморфизм органов прикрепления [29], он зарегистрирован у широкого

круга рыб разных отрядов: многообразных, окунеобразных, сельдеобразных, трескообразных [35]. В Камском водохранилище никогда не регистрировался. Тип водоема и тип питания [28], цикл развития [21] подходят для инвазии данным видом, однако температурные режимы не характерны (хотя, учитывая изменение климата, такую инвазию нельзя исключать). Зафиксирован случай адаптации *P. longicollis* у *Cobitis taenia* (вьюновые) и *Perca fluviatilis* (окуневые) [21].

Говоря о гистологических изменениях в кишечнике рыбы при инвазии цестодами рода *Proteocephalus* sp., интересно сопоставить полученные нами результаты у тюльки с данными публикаций, касающихся других видов рыб. Так, при инвазии специфическим для европейского сома (*Silurus glanis*) видом *P. osculates* с ЭИ 6 %, ИИ 1-17, выявлены механические повреждения ткани кишечника, некроз, воспаление, точечные кровоизлияния вследствие фиксации паразита, а также пониженную секрецию слизи, инфильтрацию лимфоцитами в слизистый и подслизистый слои кишечника [36].

Описаны гистологические изменения у электрического сома (*Malapterurus electricus*) при инвазии двумя формами цестод семейства *Proteocephalidae* вида *Corallobothrium solidum* (ЭИ 75 %, ИИ 1-50), а также африканского гигантского сома *Heterobranchus bidorsalis* при заражении половозрелыми *Proteocephalus* sp. (ЭИ 40 %, ИИ 1-4). У обоих видов сомов представителей взрослых цестод находили в кишечнике, и только у *M. electricus* личинки *C. solidum* обнаружили под кожей и на брыжейке. В кишечнике *M. electricus* фиксировали некроз и деформацию мышечной оболочки, кровоизлияния, инфильтрацию тканей клетками воспаления и эозинофилами. Отмечено, что взрослые формы *C. solidum* и *Proteocephalus* sp. прочно крепятся к слизистой кишечника, вызывая повышение отделения слизи и застойные явления в стенке кишечника. Вследствие повреждений и нарушения пищеварения, конкуренции за питательные вещества у рыбы возникает физиологический стресс [23].

В нашем исследовании, посвященном тюльке, мы не наблюдали взрослых цестод (только предвзрослые формы, свободно лежащие в кишечнике) и высокой ИИ, фиксации паразитов, инвазии внутренних органов, кровоизлияний в кишечнике. При микроскопии выявлено хроническое воспаление слизистого и подслизистого слоев кишечника, что характерно для незначительных патологических процессов, но, вероятно, достаточно, чтобы вызвать стресс у хозяина. Для уточнения паразито-хозяиных отношений между *C. cultriventris* и *Proteocephalus* sp. необходимы дополнительные исследования, включающие генетическую идентификацию.

Список литературы / References

1. Karabanov DP, Pavlov DD, Dgebuadze YuYu, Bazarov MI, Borovikova EA, Gerasimov YV, et al. Dataset of Non-Indigenous and Native Fish of the Volga and Kama Rivers (European Russia). *Data*. 2023;8(10):154. <https://doi.org/10.3390/data8100154>
2. Osipov VV, Dgebuadze YY. Variability of Black and Caspian Sea Sprat *Clupeonella Cultriventris* (Clupeidae) Growth in the Contemporary Range. *Journal of Ichthyology*. 2016;56(5):767–774. <https://doi.org/10.1134/S003294521605009X>
3. Шакирова Ф.М., Говоркова Л.К., Анохина О.К. Современное состояние Нижнекамского водохранилища и возможность рационального освоения его рыбных ресурсов. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013;15(3–1):518–527.
- Shakirova FM, Govorkova LK, Anokhina OK. Modern State of Niznekamsky Reservoir and Possibility Rational Development of Its Fishery Resources. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3–1):518–527. (In Russ.)
4. Казаринов С.Н., Мерзляков И.Н., Поносов С.В., Комарова Л.В. Видовой состав и особенности распределения ихтиофауны Камского водохранилища. *Вестник Пермского Университета. Серия: Биология*. 2021;(1):39–52. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2021-1-39-52>
- Kazarinov SN, Merzlyakov IN, Ponosov SV, Komarova LV. Species Composition and Distribution Features of the Ichthyofauna of the Kama Reservoir. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. 2021;(1):39–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2021-1-39-52>
5. Тютин А.В., Медянцева Е.Н., Базаров М.И., Тютин В.А. Особенности распределения метацеркарий трематоды *Apophallus muehlingi* (Jägerskiöld, 1899) у сеголетков в инвазивной популяции *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) из Горьковского водохранилища (бассейн Верхней Волги). *Российский журнал биологических инвазий*. 2022;15(4):80–96. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-15-4-80-96>
- Tyutin AV, Medyanzheva EN, Bazarov MI, Tyutin VA. Distribution Patterns of Metacercariae of the Trematoda *Apophallus Muehlingi* (Jagerskiold, 1899) in Underyearlings in an Invasive Population of *Clupeonella Cultriventris* (Nordmann, 1840) from the Gorky Reservoir (Upper Volga Basin). *Russian Journal of Biological Invasions*. 2022;15(4):80–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.35885/1996-1499-15-4-80-96>
6. Zhokhov AE, Pugacheva MN, Molodozhnikova NM, Berechikidze IA. Alien Parasite Species of the Fish in the Volga River Basin: A Review of Data on the Species Number and Distribution. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2019;10(2):136–152. <https://doi.org/10.1134/S2075111719020140>
7. Рубанова М.В., Мухортова О.В. Экологические аспекты изменений фауны многоклеточных паразитов окуня *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) в притоке Куйбышевского водохранилища. *Биосфера*. 2024;16(2):223–234. <http://doi.org/10.24855/biosfera.v16i2.922>
- Rubanova MV, Mukhortova OV. Ecological Aspects of Changes in the Fauna of Multicellular Parasites of Perch (*Perca Fluviatilis Linnaeus, 1758*) in a Tributary of the Kuibyshev Reservoir. *Biosphere*. 2024;16(2):223–234. (In Russ.) <http://doi.org/10.24855/biosfera.v16i2.922>
8. Воронина Е.А. Мониторинг инфекций и инвазий каспийских кильек. *Труды ВНИРО*. 2016;162:28–35.
- Voronina EA. Monitoring of Infections and Invasions of Caspian Kilka. *Trudy VNIRO*. 2016;162:28–35 (In Russ.)
9. Войкина А.В., Бугаев Л.А., Бортников Е.С., Ружинская Л.П., Цыбульская М.А., Сергеева С.Г. и др. Физиологическое и паразитологическое состояние тюльки (*Clupeonella cultriventris*) Азовского моря в 2018 году. Экология. Экономика. Информатика. Серия: геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2019;(4):202–207. <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-202-207>
- Voykina AV, Bugayev LA, Bortnikov ES, Ruzhinskaya LP, Tsybulskaya MA, Sergeeva SG, et al. Physiological and parasitological status of the tyulka sprat (*Clupeonella Cultriventris*) of the Sea of Azov in 2018. *Ecology Economy Informatics. Geoinformation Technologies and Space Monitoring*. 2019;4:202–207. (In Russ.) <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2019-2-4-202-207>
10. Плаксина М.П. Фауна и экология сообществ гельминтов пелагических и придонно-пелагических рыб прибрежья Крыма (Черное и Азовское моря). Диссертация кандидата биологических наук. Санкт-Петербург; 2022. 314 с.
- Plaksina MP. Fauna and Ecology of Helminth Communities of Pelagic and Bottom-Pelagic Fish of The Crimean Coast (Black and Azov Seas). Diss. Cand. Sci. (Biology). St. Petersburg; 2022. 314 p. (In Russ.)
11. Abdybekova AM, Abdibayeva AA, Popov NN, Zhaksylykova AA, Barbol BI, Bozhanov BZh, et al. Helminth Parasites of Fish of the Kazakhstan Sector of the Caspian Sea and Associated Drainage Basin. *Helminthologia*. 2020;57(3):241–251. <https://doi.org/10.2478/helm-2020-0030>

12. Hajipour N, Valizadeh H, Ketzis J. A Review on Fish-Borne Zoonotic Parasites in Iran. *Veterinary Medicinal Science*. 2023;9(2):748–777. <https://doi.org/10.1002/vms3.981>
13. Tyutin AV, Verbitsky VB, Verbitskaya TI, Medyantseva EN. Parasites of Alien Aquatic Animals in the Upper Volga Basin. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2013;4(1):54–59. <https://doi.org/10.1134/S2075111713010098>
14. Трофимов Д.Ю., Заботкина Е.А. Влияние паразитарной инвазии трипаносомами на гематологические показатели тюльки (*Clupeonella cultriventris*) Иваньковского водохранилища. *Биология внутренних вод*. 2024;17(2):354–357. <https://doi.org/10.31857/S0320965224020147>
- Trofimov DYU, Zabotkina EA. Effect of Trypanosome Infection on Hematological Parameters of the Black Sea Sprat (*Clupeonella Cultriventris*) from the Ivankovo Reservoir. *Inland Water Biology*. 2024;17(2):354–357. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0320965224020147>
15. Фёдорова Н.Н., Воронина Е.А., Дубовская А.В., Алтуфьева Н.С. Морфологические изменения внутренних органов каспийской тюльки (*Clupeonella cultriventris caspia*). *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2014;(1):84–88.
- Fedorova NN, Voronina EA, Dubovskaya AV, Altufyeva NS. Morphological Changes in Internal Organs of Caspian Sardelle (*Clupeonella Cultriventris Caspia*). *Vestnik Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2014;(1):84–88. (In Russ.)
16. Правдин И.Ф. *Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных)*. Москва: Пищевая промышленность; 1966. 376 с.
- Pravdin IF. *A Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater)*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost; 1966. 376 p. (In Russ.)
17. Быховская-Павловская И.Е. *Паразиты рыб: руководство по изучению*. Ленинград: Наука: Ленинградское отделение; 1985. 121 с.
- Bykhovskaya-Pavlovskaya IE. *Fish Parasites: A Study Guide*. Leningrad: Nauka: Leningrad Branch; 1985. 123 p. (In Russ.)
18. *Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т.3. Паразитические многоклеточные, Ч. 2*. Ленинград: Наука: Ленинградское отделение; 1987. 583 с.
- Identifier of Parasites of Freshwater Fish of the USSR Fauna. Vol. 3. Parasitic Multicellular, Part 2*. Leningrad: Nauka: Leningrad Branch; 1987. 583 p. (In Russ.)
19. Курковская Л.Я. Влияние цестоды *Bothriocephalus acheilognathi* на морфологические показатели карпов, выращиваемых на теплых водах. *Паразитология*. 2001;35(3):249–256.
- Kurovskaya LY. Influence of the Cestode *Bothriocephalus Acheilognathi* on Morphological and Physiological Characteristics of Carps Reared in Warm Water. *Parazitologiya (Parasitology)*. 2001;35(3):249–256. (In Russ.)
20. Фролова Т.В., Извекова Г.И. Сравнительный анализ влияния цестод, обитающих в кишечниках различных видов рыб, на активность протеолитических ферментов. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2022;58(3):188–195. <https://doi.org/10.31857/S0044452922030032>
- Frolova TV, Izvekova GI. A Comparative Analysis of the Effect of Intestinal Cestodes in Different Fish Species on Activity of Proteolytic Enzymes. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2022;58(3):188–195. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0044452922030032>
21. Scholz T. Life Cycles of Species of *Proteocephalus*, Parasites of Fishes in the Palearctic Region: A Review. *Journal of Helminthology*. 1999;73(1):1–19. <https://doi.org/10.1017/S0022149X99000013>
22. Scholz T, Kuchta R, Oros M. Tapeworms as Pathogens of Fish: A review. *Journal of Fish Diseases*. 2021;44(12):1883–1900. <https://doi.org/10.1111/jfd.13526>
23. Hamouda AH, Younis AE. Two Proteocephalid Cestodes in the Fish *Malapterurus Electricus* and *Heterobranchus Bidorsalis* from Lake Nasser, Egypt: A Morphological, Molecular, And Histopathological Study. *BMC Veterinary Research*. 2024;20(1):213. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04048-1>
24. Косарева Н.А. К паразитофауне рыб Волго-Донского канала им. Ленина. В: *Труды Всесоюзного совещания по биологическим основам рыбохозяйственного освоения водохранилищ (Ленинград, 24–29 ноября 1958)*. Москва; Ленинград: Издательство Академии наук СССР; 1961. С. 178–181.
- Kosareva NA. On the Parasite Fauna of Fishes of the Volga-Don Canal Named after Lenin. In: *Proceedings of the All-Union Conference on the Biological Foundations of Fisheries Development of Reservoirs (Leningrad, November 24–29, 1958)*. Moscow; Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences [Leningrad Branch]; 1961. P. 178–181. (In Russ.)
25. Тютин А.В. Сравнительный анализ паразитофауны двух видов пелагических рыб-вселенцев в Рыбинском водохранилище. *Биология внутренних вод*. 2003;(2):86–91.
- Tyutin AV. Comparative Analysis of Parasite Fauna for Two Pelagic Fish Invaders in the Rybinsk Reservoir. *Inland Water Biology*. 2003;(2):86–91. (In Russ.)

26. Tyutin AV. New Examples of Parasites Exchanges Between Alien and Aboriginal Fish Species in the Ecosystem of Upper Volga (Russia). Invasion of Alien Species in Holarctic. In: *Proceedings of U.S. – Russia Invasive Species Workshop (August 27–31, Institute for Biology of Inland Waters RAS)*. Borok: Russian Academy of Sciences; 2003. P. 561–565. <https://doi.org/10.13140/2.1.2726.8165>

27. Аникеева Л.В. Популяционные аспекты изучения морфологической изменчивости цестоды *Proteocephalus percae* (Cestoda: Proteocephalidea) в онтогенезе. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2007;(11):3–9.

Anikieva LV. Population Aspect in Study of Morphological Variability of the Cestode *Proteocephalus Percae* (Cestoda: Proteocephalidea) through the Ontogeny. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk (Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences)*. 2007;(11):3–9. (In Russ.)

28. Аникеева Л.В. Цестоды рода *Proteocephalus* (Cestoda: Proteocephalidea) из корюшки *Osmerus eperlanus*. *Паразитология*. 1998;32(2):134–140.

Anikieva LV. Cestodes of the Genus *Proteocephalus* (Cestoda: Proteocephalidea) from the European Smelt *Osmerus Eperlanus*. *Parazitologiya (Parasitology)*. 1998;32(2):134–140. (In Russ.)

29. Аникеева Л.В., Иешко Е.П. Фенотипическое разнообразие популяционных группировок *Proteocephalus longicollis* (Zeder 1800) (Cestoda: Proteocephalidea) паразита сиги *Coregonus lavaretus* (L.). *Паразитология*. 2022;56(2):91–107.

Anikieva LV, Ieshko EP. Phenotypic Diversity of Population Groupings of *Proteocephalus Longicollis* (Zeder 1800) (Cestoda: Proteocephalidae), a Parasite of the Whitefish *Coregonus Lavaretus* (L.). *Parazitologia (Parasitology)*. 2022;56(2):91–107. (In Russ.)

30. Власенко П.Г., Изотова Г.В., Кашинская Е.Н., Шокурова А.В., Маркевич Г.Н., Соловьев М.М. Видовое разнообразие цестод рода *Proteocephalus* Weinland, 1858 – паразитов лососевых рыб Сибири и Дальнего Востока. В: *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Лососевые рыбы: биология, воспроизводство, промысел»* (Мурманск, 23–24 марта 2023). Мурманск: PINRO им. Н.М. Книповича; 2023. С. 85–89.

Vlasenko PG, Izotova GV, Kashinskaya EN, Shokurova AV, Markevich GN, Soloviev MM. Species Diversity of Cestodes of the Genus *Proteocephalus* Weinland, 1858 – Parasites of Salmon Fishes of Siberia and the Far East. In: *Proceedings of the Russian National Scientific Conference “Salmonoids: Biology, Reproduction, Fisheries”* (Murmansk, March 23–24, 2023). Murmansk: PINRO Named after NM Knipovich; 2023. P. 85–89. (In Russ.)

31. Scholz T, Hanzelova V, Skerikova A, Shimazu T, Rolbiecki L. An Annotated List of Species of the *Proteocephalus* Weinland, 1858 Aggregate Sensu De Chambrier Et Al. (2004) (Cestoda: Proteocephalidae), Parasites of Fishes in the Palaearctic Region, Their Phylogenetic Relationships and a Key to Their Identification. *Systematic Parasitology*. 2007;67(2):139–156. <https://doi.org/10.1007/s11230-006-9089-8>

32. Михеева О.И., Михеев П.Б. Предварительные данные по паразитофауне рыб бассейна Камского водохранилища. Часть 2. Обсуждение. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2014;16(5(1)):582–587.

Mikheeva OI, Mikheev PB. Preliminary Data on Fish Parasite Basin Kama Reservoir. Part 2. Discussion. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014;16(5–1):582–587. (In Russ.)

33. Костарев Г.Ф. *Паразиты и болезни рыб бассейна Средней Камы (в условиях загрязнения)*. Пермь: Издательство Пермского университета; 2003. 194 с.

Kostarev GF. *Parasites and Diseases of Fish in the Middle Kama Basin (Under Pollution Conditions)*. Perm: Perm University Publishing House; 2003. 194 p. (In Russ.)

34. Аникеева Л.В. Изменчивость и фенотипическая структура *Proteocephalus torulosus*. (Cestoda: Proteocephalidea) паразита карповых. *Паразитология*. 2004;38(2):171–179.

Anikieva LV. Variability and Phenotypic Structure of *Proteocephalus Torulosus* (Cestoda: Proteocephalidea) — A Parasite of Cyprinid Fishes. *Parazitologiya (Parasitology)*. 2004;38(2):171–179. (In Russ.)

35. Аникеева Л.В., Лебедева Д.И. Фенотипическое разнообразие и гостальная изменчивость *Proteocephalus longicollis* (Zeder 1800) (Cestoda: Proteocephalidae) паразита лососеобразных Сибири. *Зоологический журнал*. 2023;102(8):843–851. <https://doi.org/10.31857/S0044513423070036>

Anikieva LV, Lebedeva DI. Phenotypic Diversity and Hostal Variability of *Proteocephalus Longicollis* (Zeder 1800) (Cestoda, Proteocephalidae), a Parasite of Salmoniformes Fishes of Siberia. *Zoologicheskii zhurnal (Zoological Journal)*. 2023;102(8):843–851. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0044513423070036>

36. Azadikhah D, Nekui Fard A, Seidgar M, Amin H. The Infection Rate and Pathologic Lesions Induced by *Proteocephalus Osculates* (Goeze, 1782) in European Catfish (*Silurus Glanis*) from North-West of Iran. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 2014;(3):63–68.

Об авторах:

Ольга Игоревна Лазарева, кандидат биологических наук, доцент кафедры инфекционных болезней Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, Российской Федерации, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ol.manina@yandex.ru

Татьяна Николаевна Сивкова, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры инфекционных болезней Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, Российской Федерации, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), tatiana-sivkova@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

О.И. Лазарева: проведение исследования, написание черновика рукописи.

Т.Н. Сивкова: научное руководство, проведение исследования, валидация результатов, написание рукописи, редактирование.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Olga I. Lazareva, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of Infectious Diseases Department, Perm State Agro-Technological University Named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya Str., Perm, 614990, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ol.manina@yandex.ru

Tatyana N. Sivkova, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Professor of the Infectious Diseases Department Perm State Agro-Technological University Named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya Str., Perm, 614990, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), tatiana-sivkova@yandex.ru

Claimed Contributorship:

OI Lazareva: conducting research, preparing a draft of a manuscript.

TN Sivkova: scientific supervision, conducting research, verification of results, preparing a manuscript and its editing.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

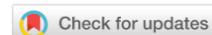
Поступила в редакцию / Received 12.10.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 10.11.2025

Принята к публикации / Accepted 16.11.2025

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 619 (004.891.3)

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-17-26>

Оригинальное эмпирическое исследование

Создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров. Часть 1: Формализация задач

В. В. Побединский¹ , А. А. Побединский² , Г. А. Иовлев¹

¹ Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

² Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

vm993711@mail.ru



EDN: GVUYMT

Аннотация

Введение. Совершенствование методов диагностирования ацидоза рубца у коров представляет собой весьма актуальную проблему по причине распространенности этого заболевания и падежа скота. Наиболее перспективными методами ранней диагностики этой патологии являются профилактические проекты или индивидуальные обследования животных с использованием онлайн-сервисов на основе технологии ветеринарной телемедицины, однако отсутствие в России достаточно развитых методов оценки патологии на основе математического аппарата, используемого для современных интеллектуальных систем, не позволяет эффективно использовать эту технологию. В своем исследовании мы предприняли попытку создания интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров. Первый этап работы был посвящен формализации задач на основе концепции нечеткой логики.

Материалы и методы. Исследование проведено в Уральском государственном аграрном университете и Государственном аграрном университете Северного Зауралья в период с 2022 по 2025 гг. Для постановки диагноза «ацидоз рубца» в качестве входных переменных для нечеткой системы был определен минимальный перечень диагностических параметров (на основании анализа данных из специализированных справочников и научных публикаций). Поскольку сложность могут вызывать сочетания нескольких параметров, превышающих референтные значения, для корректного решения задачи с учетом этих условий использовался метод формализации неопределенностей — теория нечетких множеств. В качестве структуры интеллектуальной системы выбрано иерархическое построение, которое делает ее строго логичной и прозрачной для анализа. Для разработки программы использовалось открытое программное обеспечение Scilab и штатный редактор программного кода Scinotes.

Результаты исследования. Дано обоснование комплекса необходимых диагностических параметров, куда вошли значение pH содержимого рубца, жирность молока, частота пульса, частота дыхательных движений. Выполнена содержательная постановка и формализация задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза рубца у коров. Разработана структура интеллектуальной системы иерархического типа, формализованы все переменные, включая промежуточные, в нечеткой модели интеллектуальной системы диагностирования.

Обсуждение и заключение. В первой части исследования мы формализовали модели всех переменных (входных, выходной и промежуточных) для решения задачи диагностирования ацидоза рубца у коров. При появлении новых параметров, напрямую связанные с ацидозом, их также можно включить в интеллектуальную систему. Во второй части исследования планируется выполнить компьютерную реализацию интеллектуальной системы оценки патологии ацидоза рубца у коров, взяв за основу полученные здесь формализованные данные.

Ключевые слова: корова, ацидоз рубца, патология, диагностирование, интеллектуальная система диагностирования, формализация задач, концепция нечеткой логики, теория нечетких множеств

Для цитирования. Побединский В.В., Побединский А.А., Иовлев Г.А. Создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза рубца у коров. Часть 1: Формализация задач. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):17–26.
<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-17-26>

Development of an Intelligent System for Diagnosing Rumen Acidosis in Cows. Part 1: Formalization of Tasks

Vladimir V. Pobedinskiy¹ , Andrey A. Pobedinskiy²  , Grigory A. Iovlev¹

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russian Federation

² Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

 vm993711@mail.ru

Abstract

Introduction. Improvement of the diagnostic methods for detecting bovine ruminal acidosis is a relevant problem due to the prevalence of this disease resulting in cattle murrain. The most future-oriented methods of early diagnostics of this pathology are prophylaxis campaigns or individual examinations of animals using the online services in the frame of veterinary telemedicine technologies. However, in Russia, the efficient use of these technologies is hindered by the absence of well-developed methods of assessing the pathology based on the mathematical tools integrated into the advanced intelligent systems. In our study, we attempted to create an intelligent system for diagnosing rumen acidosis in cows. The first stage of the research consisted of formalization of tasks based on the concept of fuzzy logic.

Materials and Methods. The study was conducted at the Ural State Agrarian University and the Northern Trans-Ural State Agricultural University from 2022 to 2025. For diagnosing rumen acidosis, a minimum list of diagnostic parameters was determined as input variables for the fuzzy system (based on the analysis of data obtained from the specialized reference books and scientific publications). Due to the possible difficulty of combining several parameters exceeding reference values, a method for representing uncertainties — fuzzy set theory — was used to correctly solve the problem in the given settings. A hierarchical structure was chosen to build the intelligent system, which makes it strictly logical and transparent for analysis. Scilab open source software with embedded text editor Scinotes were used to develop the application.

Results. A set of necessary diagnostic parameters including pH of rumen contents, fat content in milk, pulse rate, and respiratory rate was justified. A substantive formulation and formalization of the problem of fuzzy inference for assessing rumen acidosis pathology in cows was completed. The structure of the hierarchical-type intelligent system was developed. All variables, including intermediate ones, were formalized within the fuzzy model of the intelligent diagnostic system.

Discussion and Conclusion. In the first part of the study, we have established the formal models of all variables (input, output, and intermediate) for solving the task of diagnosing rumen acidosis in cows. In case of emergence of new parameters directly related to acidosis, they can also be integrated into the intelligent system. Based on the formalized data obtained at this stage of the research, in the second part of the study, it is planned to apply computer technologies to create the intelligent system for assessing rumen acidosis pathology in cows.

Keywords: cow, rumen acidosis, pathology, diagnostics, intelligent diagnostic system, formalization of tasks, fuzzy logic concept, fuzzy set theory

For Citation: Pobedinskiy VV, Pobedinskiy AA, Iovlev GA. Development of an Intelligent System for Diagnosing Rumen Acidosis in Cows. Part 1: Formalization of Tasks. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):17–26. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-17-26>

Введение. Сохранение поголовья крупного рогатого скота (КРС) на фермах и в частных хозяйствах является важнейшей задачей российского агропромышленного комплекса. Для борьбы с инфекциями выполняется обработка пастбищ, дезинфекция стойл и другие мероприятия, однако незаразные заболевания могут никак не проявляться до того момента, пока заболевание не перейдет в тяжелую стадию. К таким патологиям относится ацидоз рубца у коров — распространенное заболевание, которое наносит огромный ущерб сельскому хозяйству. Выявить ацидоз рубца сразу довольно сложно даже ветеринарному врачу с многолетним опытом. Этой проблеме посвящен ряд исследований [1–4], где рассмотрены вопросы раннего диагностирования

ацидоза и предложены рекомендации по совершенствованию этого процесса.

Ацидоз характеризуется повышенной кислотностью pH содержимого рубца, которая появляется из-за нарушения обмена веществ, когда в рационе животного низкое содержание твердой пищи или её отсутствие. Важным условием для успешного лечения любого заболевания является точный и ранний диагноз. Ацидоз рубца у коров на начальном этапе заболевания может быть схож с атонией и гипотонией преджелудков, а при профилактике или лечении иногда может быть ошибочно принят за алкалоз. При позднем выявлении ацидоза или уже в запущенной стадии могут быть последствия, показанные на рис.1.

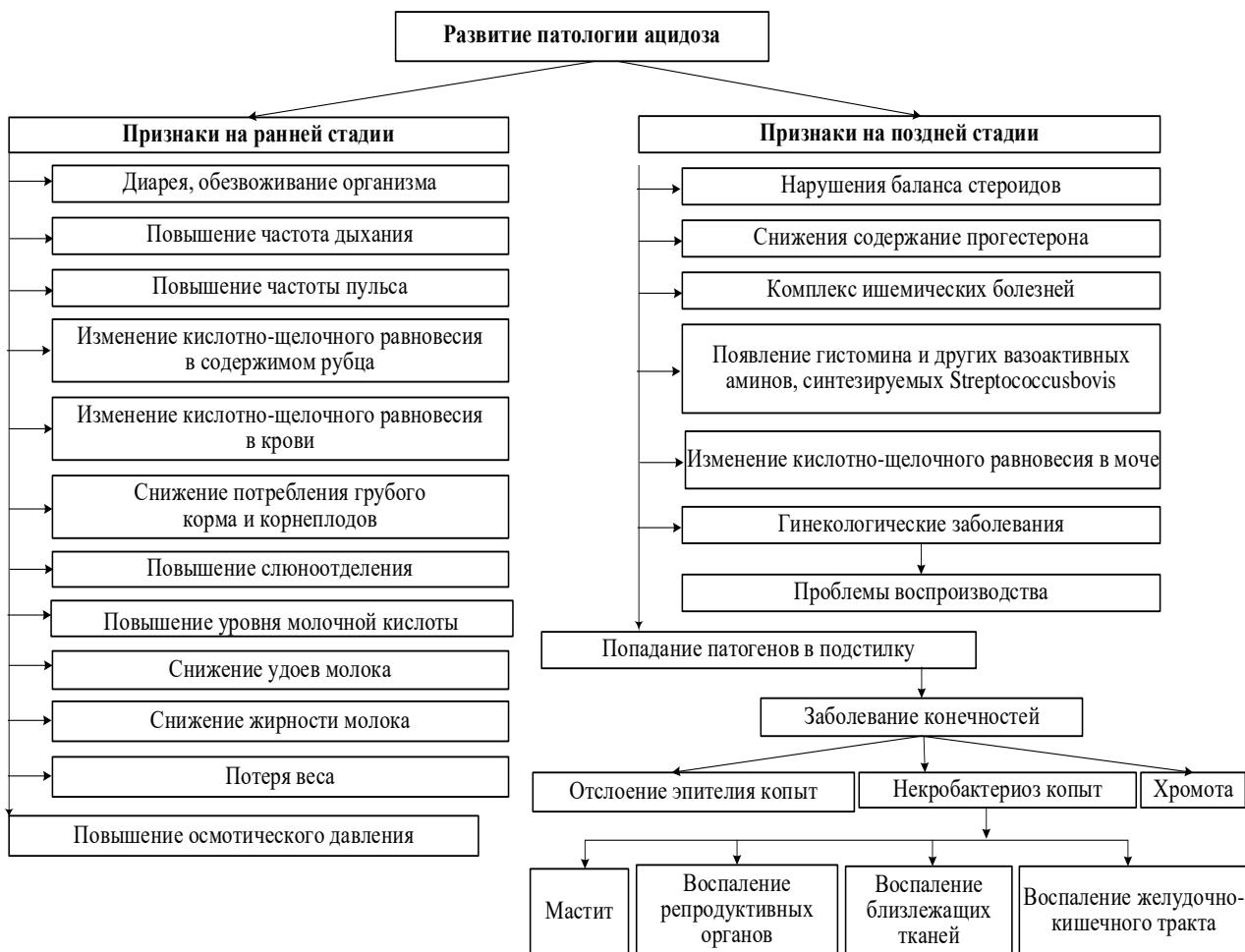


Рис. 1. Схема развития патологии ацидоза

Массовость заболевания, риск поздней или неверной постановки диагноза (из-за схожести симптоматики с другими патологиями) делает задачу совершенствования процесса диагностирования ацидоза рубца весьма актуальной. Поскольку неопределенность показателей играет существенную роль в этой задаче, представляется наиболее эффективным ее решение с использованием современных методов, учитывающих и формализующих неопределенности, — т. е. методов интеллектуальных систем. На сегодня известен опыт применения в ветеринарии таких систем. Например, в работе [2] приведены математические основы теории нечетких множеств и на языке Python решена задача с использованием метода Сугено — авторы рекомендуют использование тестов интеллектуальной системы «Эйдос-X++» без программирования для массового диагностирования и в учебном процессе. В работах [3, 4] упоминается, как искусственный интеллект обнаружил ряд ошибок ветеринарных врачей. Тем не менее отсутствие достаточно развитых методов оценки развития патологии на основе математического аппарата не позволяет эффективно использовать современные интеллектуальные системы в России.

В связи с вышеизложенным, целью нашего исследования, состоящего из двух частей, является создание интеллектуальной системы диагностирования ацидоза

рубца у коров на основе концепции нечеткой логики. В первой части мы планируем формализовать задачи диагностирования ацидоза. Для этого потребуется:

- 1) обосновать комплекс диагностических параметров;
- 2) выполнить содержательную постановку и формализацию задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза;
- 3) разработать структуру интеллектуальной системы иерархического типа;
- 4) формализовать промежуточные переменные в нечеткой модели интеллектуальной системы.

Материалы и методы. Исследование проведено в Уральском государственном аграрном университете (г. Екатеринбург) и Государственном аграрном университете Северного Зауралья (г. Тюмень) в период с 2022 по 2025 гг. Перечень диагностических параметров, необходимых для формализации задач, включал: значения pH содержимого рубца, жирность молока, частоту пульса, частоту дыхательных движений (данные взяты из специализированных справочников и научных публикаций). В исследование не включались коровы: 1) с перенесенными заразными заболеваниями из-за возможных последствий и ослабленного иммунитета; 2) готовящиеся к отёлу (примерно за 30–40 дней); 3) недавно отелившиеся (около 30 дней) в связи с перестройкой гормонального фона и естественного восстановления pH .

Минимального перечня диагностических параметров вполне достаточно для точной постановки диагноза «ацидоз рубца» при отсутствии корреляции с другими заболеваниями. Особую сложность могут вызывать сочетания нескольких параметров, превышающих референтные значения, что придает параметрам задачи свойства неопределенности. Для корректного решения задачи с учетом этих условий использовался метод формализации неопределенностей — теория нечетких множеств. Иерархическое построение структуры интеллектуальной системы делает ее строго логичной и прозрачной для анализа. Для разработки программы интеллектуальной системы использовалось открытое программное обеспечение Scilab (Scilab Consortium, Франция) и штатный редактор программного кода Scinotes.

Результаты исследования

1. Обоснование комплекса диагностических параметров. Предварительный диагноз «ацидоз рубца» ветеринар может поставить, наблюдая за поведением коровы и уточнив ее рацион кормления. Для ацидоза рубца характерны:

- pH содержимого рубца ниже 6 (в норме 6–6,9);
- pH крови ниже нормы 7,35;
- уровень молочной кислоты в 3–4 раза превышает норму (9–13 мг/дл);
- пульс поднимается до 120–140 уд./мин (норма 80–100 уд./мин); частота пульса повышается с увеличением кислотности;
- частота дыхания увеличивается до 50–60 дыхательных движений в минуту и достигает максимума в 70 дв./мин (в норме 18–28 движ./мин);
- корова съедает в среднем меньше 15–20 кг грубого корма и корнеплодов;
- содержание белка и жирность молока падает и становится менее 4 %;
- происходит потеря веса (средняя взрослая корова весит 300–450 кг);
- слюноотделение выше 90–180 л говорит о нарушении pH содержимого рубца;
- pH мочи ниже нормы $7,6\text{--}8,5\pm0,2$;
- снижение количества жевательных движений до 30–40 (среднее количество жевательных движений после срыгивания у лактирующей коровы — 55, максимально до 60).

Состояние pH содержимого рубца играет важную роль в жизни коровы. В работе [5] показано, что при систематическом промывании рубца у лактационных коров и добавлении к основному рациону премикса микробного состава, натрия гидрокарбоната и минералов среднесуточный удой молока повысился на 31,3 %. В исследовании [6] установлена положительная статистическая значимая корреляция между температурой содержимого рубца и ректальной температурой, а это значит, что, измеряя ректальную

температуру, можно предупредить появление подострого ацидоза рубца у коров.

Авторы [7] выявили, что при ацидозе наблюдается значительное увеличение концентрации ионов натрия в эритроцитах и снижение их содержания в плазме крови, а параллельно происходит уменьшение количества ионов калия в эритроцитах и повышение их уровня в плазме: т. е. ацидоз негативно влияет на энергетический обмен, ухудшая синтез АТФ. Высказывалось также мнение [8], что для точного измерения pH содержимого рубца оптимальным является получение пробы путем руминоцентеза, поскольку на концентрацию водородных ионов в пробах, полученных с помощью зонда, определенное влияние оказывает слюна, что приводит к изменению pH в щелочную сторону в пределах 0,14 ед. (2,3 %).

Авторы [9] установили, что при ацидозе рубца у коров показатели клинического и морфологического статуса в целом стабильны, за исключением дыхательных движений, которые при заболевании выше нормы до 7 %. В результате исследования физиологии пищеварения коров [10] установлено, что снижение pH мочи является диагностическим методом для выявления признаков хронического ацидоза рубца, что, в свою очередь, подтверждается результатами молочной продуктивности подопытных животных.

На сегодняшний день существуют примеры успешного применения систем дистанционного мониторинга в ветеринарии [11–12], включая дистанционное исследование pH содержимого рубца [13]. В ходе этого исследования установлено, что pH содержимого рубца и температура у коров имеют суточные колебания, при этом высказывается мысль, что колебания pH содержимого рубца связаны с потреблением корма, а колебания температуры тела отражают объемы потребления воды животными.

В зарубежных источниках также рассматривалась проблема ацидоза рубца у коров с присущими ему условиями развития [14–15] и возможными последствиями [16–18]. Для более точной диагностики ацидоза рубца за границей использовались те же методы, что и в отечественной ветеринарии: руминоцентез и желудочное канюлирование [19] или биомаркеры [20]. Стоит отметить также авторов, которые обратили внимание на многократное увеличение молочной кислоты, появляющейся из крахмала [21–22], которая в свою очередь способствует образованию ацидоза рубца.

В контексте настоящего исследования следует отметить некоторые неопределенные в трактовке значений в разных источниках. К примеру, нормой pH содержимого рубца у коровы является 6, но некоторые эксперты-ветеринары утверждают, что границей является 7, а всё, что выше, относится к алкалозу, когда щелочной фон превышен. Ряд других экспертов в этой области считает, что при индексе pH ниже 6 кислотность рубца

повышена, но если она, к примеру, составляет 5,5 и несит кратковременный характер, то сразу ставить животному диагноз «ацидоз рубца» преждевременно. Выявляя все значения кислотно-щелочного баланса рубца у коров всех пород, можно прийти к выводу, что интервальным значением нормы будет уровень pH 6–7, а всё, что ниже или выше, нужно считать отклонением от нормы. При этом значение ниже нормы будет указывать на ацидоз, а выше нормы — на алкалоз.

При правильном рационе молодая здоровая корова дает молоко высокой жирности, с возрастом жирность молока постепенно снижается. При первых проявлениях ацидоза рубца у коров показатель жирности молока резко снижается до 3–4 %, а иногда и ниже 2,5 %, т. е. минимальным значением можно принять 2,0 %. Все дело в наличии большого содержания молочной кислоты, которая снижает жирность молока.

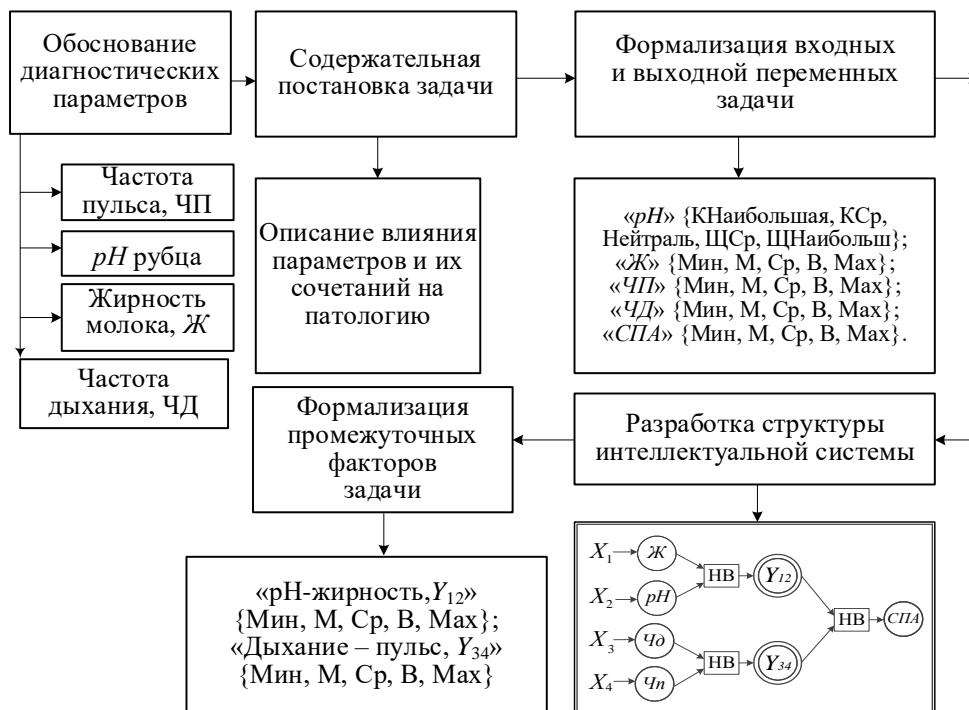


Рис. 2. Общая схема выполнения исследований

Кроме этих показателей ветеринарные врачи иногда принимают во внимание контрольный показатель pH крови. Он необходим только в случае, если pH содержимого рубца находится в норме, но при этом жирность молока резко снижена. Уровень pH содержимого рубца и pH крови взаимосвязаны, поскольку содержимое рубца может вбрасываться в кровоток животного. Значения, свидетельствующие о симптоматике ацидоза рубца, будут для pH крови в диапазоне 7,1–7,3. Но данные значения слишком близки к тем, что имеют здоровые животные, поэтому такой параметр не может быть основным и достаточным для постановки диагноза. Следовательно, предпочтение нужно отдать параметру жирности молока, который, как правило, фиксируется не менее двух раз в сутки при доении коровы.

Другими важными параметрами для выявления признаков ацидоза рубца у коров являются такие физиологические показатели, как частота дыхательных движений и пульса. Норма пульса в обычном состоянии, т. е. без активных движений животного, составляет от 80 до 100 уд./мин, тогда как при заболевании ацидозом он может повышаться до 120 уд./мин, достигая 130–140 уд./мин. Частота дыхания также будет увеличиваться по мере ухудшения состояния животного. Без нагрузки в

нормальном состоянии корова может делать от 15 до 30 дыхательных движений; при осложнениях, связанных с ацидозом, эти показатели могут достигать 50–60 и более (до 70) движ./мин.

Таким образом, можно выделить четыре показателя, однозначно коррелирующие с заболеванием ацидозом рубца: pH содержимого рубца, жирность молока, частота пульса, частота дыхательных движений. Остальные показатели с большой вероятностью могут быть следствием других заболеваний. Поэтому для разработки интеллектуальной системы диагностирования принимаем указанные четыре параметра в качестве входных переменных для нечеткой системы

2. Выполнение содержательной постановки и формализация задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза

Содержательная постановка задачи. В нечетком моделировании содержательная постановка задачи предназначена для представления эмпирических данных об объекте в форме определенных эвристических правил: выполняется словесное описание задачи состояния объекта (в данном случае — ацидоз рубца у коровы) в зави-

симости от диагностических параметров. В содержательном описании задачи определяются наиболее специфические особенности ветеринарного диагноза.

Сведения о симптоматике ацидоза рубца у коровы, влиянии различных факторов на протекание заболевания и его взаимосвязи с диагностическими параметрами достаточно подробно приводятся в справочниках по ветеринарии^{1,2,3,4,5,6,7} и научных статьях [7–10]. Однако в трактовке некоторых значений присутствует, как мы уже упоминали, некоторая неопределенность. Принцип нечеткого моделирования позволяет обобщить разрозненные экспериментальные и экспертные данные и получить более полную картину состояния животного в зависимости от сочетания параметров, на основе которых выполняется точный диагноз.

Формализация задачи нечеткого вывода оценки патологии ацидоза. Введение нечеткости в задачу (диагностика) заключается в формализации входных и выходных параметров в виде лингвистических переменных⁸. Напоминаем, что входными параметрами приняты: величина водородного показателя *pH* содержимого рубца, жирность молока, частота дыхательных движений и частота пульса. В качестве выходной величины принята степень патологии (тяжелость заболевания) животного.

Для оценки величины *pH* содержимого рубца в ветеринарной медицине используется терминология «Кислотность», «Щелочность». В теории нечетких множеств обозначения аналогичные: «Кислотность наибольшая» до 4 *pH*; «Кислотность средняя» от 4 до 6 *pH*; «Нейтральная среда» от 6 до 7 *pH*; «Щелочность средняя» от 7 до 9 *pH*; «Щелочность наибольшая» выше 9 до 9,5 *pH*.

Для второй переменной «Жирность молока, *Ж*» в терминах нечеткого моделирования примем значения: «Минимальная» от 2,5 до 3%; «Малая» от 3 до 4%; «Средняя» от 4 до 6%; «Высокая» от 6 до 7%; «Максимальная» от 7%.

Третья переменная «Частота пульса, *ЧП*» будет иметь следующие значения: «Минимальная» до 60 уд./мин; «Малая» от 60 до 80 уд./мин; «Средняя» от 80 до 100 уд./мин; «Высокая» от 100 до 120 уд./мин; «Максимальная» от 120 до 130 уд./мин.

Четвертая переменная «Частота дыхания, *ЧД*» будет иметь следующие значения: «Минимальная» от 5 до 10 движ./мин; «Малая» от 10 до 15 движ./мин (симптомы заболевания алкалозом); «Средняя» от 15 до 30 движ./мин (норма); «Высокая» от 30 до 50 движ./мин; «Максимальная» от 50 до 70 движ./мин.

Для выходной величины введен показатель «Степень патологии ацидоза, *СПА*». Для удобства определим этот показатель на шкале от 0 до 5 и в безразмерном виде. Переменная принимает следующие значения: «Минимальная» до 1; «Малая» от 1 до 2; «Средняя» от 2 до 3; «Высокая» от 3 до 4; «Максимальная» от 4 до 5. Градация степени патологии имеет следующее содержание:

- 1 — перманентная (животное здорово);
- 2 — субацидная (гипотония преджелудков или первые выраженные симптомы ацидоза рубца);
- 3 — хроническая (четко выраженные симптомы ацидоза с проявлениями средней тяжести);
- 4 — подострая (тяжелые проявления симптомов ацидоза);
- 5 — острые (критически тяжелая степень ацидоза).

В терминах теории нечетких множеств лингвистические переменные определены терммножествами со следующими значениями и обозначениями:

- «Водородный показатель рубца, *pH*» {КНаибольшая, КСр, Нейтраль, ЩСр, ЩНаибольшая};
«Жирность, *Ж*» {Мин, М, Ср, В, Max};
«Частота пульса, *ЧП*» {Мин, М, Ср, В, Max};
«Частота дыхания, *ЧД*» {Мин, М, Ср, В, Max};
«Степень патологии ацидоза, *СПА*» {Мин, М, Ср, В, Max}.

На рис. 3 (а–г) показаны функции принадлежности входных переменных в виде треугольных нечетких чисел и трапецидальных интервалов, а на рис. 2д приведена нечеткая функция выходной лингвистической переменной «Степень патологии ацидоза, *СПА*». Примем для терммножеств значений лингвистических переменных треугольные или трапецидальные нечеткие числа, а на границах области определения z-образные и s-образные функции (рис. 3).

3. Разработка структуры интеллектуальной системы иерархического типа. Определим структуру системы в виде нечеткой системы иерархического типа⁹. Вначале выполняется нечеткий вывод от двух параметров — значения *pH* содержимого рубца и жирности молока *Ж*. Результатирующую функцию этого нечеткого вывода от первых двух переменных обозначим фактором «*pH*–жирность, *Y*₁₂».

Затем в машину нечеткого вывода (НВ) подаются входные переменные «Частота дыхания, *ЧД*» и «Частота пульса, *ЧП*». Назовем результатирующую функцию этого нечеткого вывода как фактор «Дыхание–пульс, *Y*₃₄». По значениям переменных факторов *Y*₁₂ и *Y*₃₄ после выполнения нечеткого вывода рассчитывается значение

¹ Бутьянин Д.Д., Карпуть И.М., Якубовский М.В. Справочник по болезням сельскохозяйственных животных. Минск: Урожай; 1990. 352 с.

² Андросов Ф.З., Беляев И.Я., Ключко Р.Т. Справочник ветеринарного лаборанта. Москва: Колос; 1981. 248 с.

³ Алтухов Н.М., Афанасьев В.И., Башкиров Б.А. Справочник ветеринарного врача. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос; 1996. 623 с.

⁴ Андреев Г.М., Баранцев И.Д., Воробьев Е.О. Справочник ветеринарного фельдшера. Ленинград: Агропромиздат. Ленинградское отделение; 1988. 479 с.

⁵ Кузнецов А.Ф. (ред.). Справочник по ветеринарной медицине. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2004. 912 с.

⁶ Щербаков Г.Г., Данилевская Н.В., Старченков С.В., Ковалев С.П., Коробов А.В., Тарнусев Ю.А. и др. Справочник ветеринарного терапевта: учебное пособие. 5-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2009. 656 с.

⁷ Линёва А. Физиологические показатели нормы животных. Справочник. Москва: «Аквариум-Принт». 2008. 256 с.

⁸ Piegl A. Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables. Heidelberg, New York: Physica-Verlag, 2001. P. 760.

⁹ Штобва С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия. Телеком, 2007. 288 с.

«Степени патологии ацидоза, СПА». В графическом виде эта структура модели показана на рис. 4.

4. Формализация промежуточных переменных в нечеткой модели интеллектуальной системы. Поскольку в структуре модели присутствуют промежу-

точные переменные, их тоже необходимо привести к нечеткости. Для удобства определим лингвистические переменные в диапазоне от 0 до 5 и разделим на 5 интервалов для пяти нечетких функций принадлежности. В графическом виде переменные приведены на рис. 5.

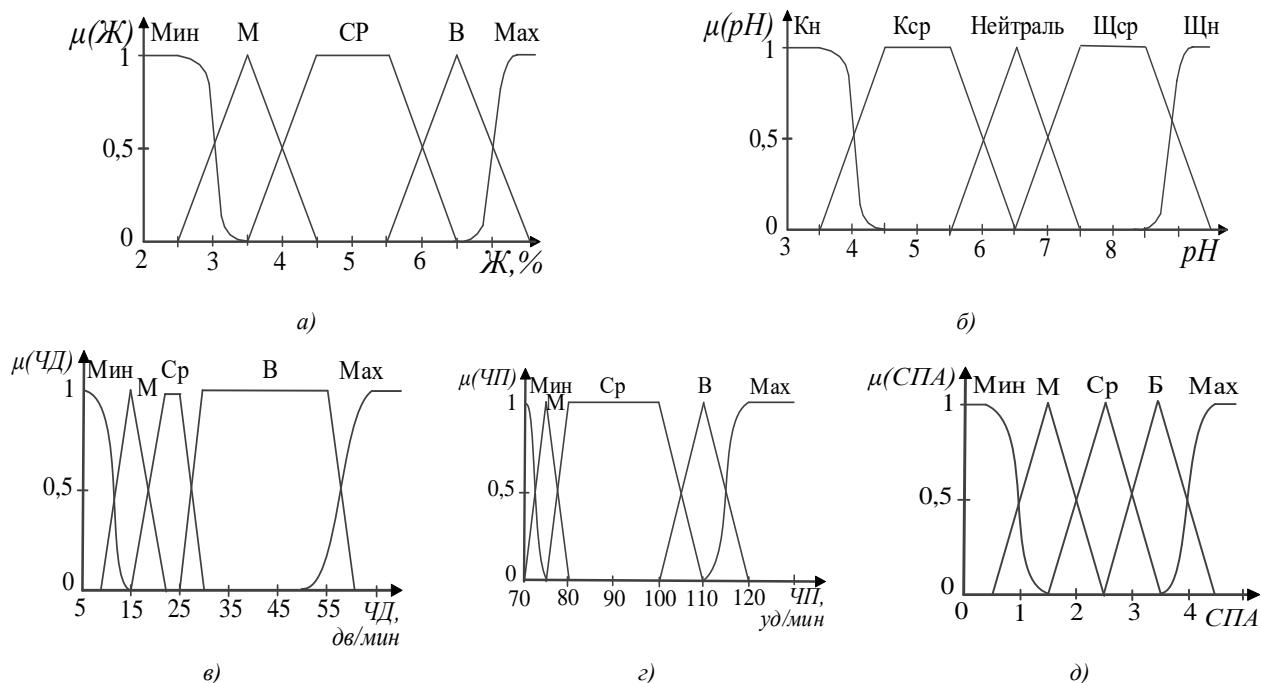


Рис. 3. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных: *а* — «Жирность, $\dot{Ж}$ »; *б* — «Водородный показатель рубца, pH »; *в* — «Частота дыхания, $ЧД$ »; *г* — «Частота пульса, $ЧП$ »; *д* — «Степень патологии ацидоза, $СПА$ »

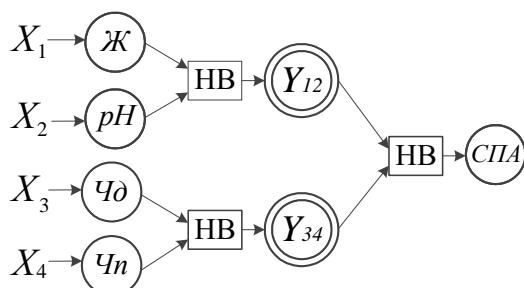


Рис. 4. Структура интеллектуальной системы иерархического типа для оценки патологии ацидоза рубца:
Х₁–Х₄ — входные параметры модели; НВ — машина нечеткого вывода; Y₁₂ — фактор « pH –жирность»;
Y₃₄ — фактор «Дыхание–пульс»; СПА — степень патологии ацидоза

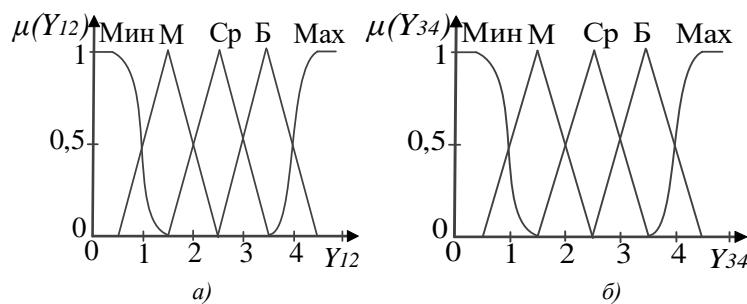


Рис. 5. Нечеткие функции принадлежности промежуточных лингвистических переменных: *а* — фактор « pH –жирность, Y_{12} »; *б* — фактор «Дыхание–пульс, Y_{34} »

Выполненная формализация всех необходимых задач позволяет разработать модель соответствующей интеллектуальной системы и реализовать ее в программном коде.

Обсуждение и заключение. В настоящее время внедрение интеллектуальных систем является приоритетным направлением развития высокотехнологичной ветеринарной помощи. В первой части исследования мы обосновали перечень необходимых для диагности-

рования ацидоза рубца у коров параметров, предложили структуру интеллектуальной системы и формализовали модели всех переменных для решения задачи с помощью теории нечетких множеств и ее практических приложений — нечеткой логики, нечеткого моделирования. На втором этапе работы мы планируем выполнить компьютерную реализацию интеллектуальной системы оценки патологии ацидоза рубца у коров, взяв за основу описанные здесь формализованные данные.

Список литературы/References

1. Сафарова Л.У. *Нечетко-логические алгоритмы диагностирования болезней крупного рогатого скота*. Монография. Ташкент: Fanziyosi; 2023. 108 с.
Safarova LU. *Fuzzy-Logic Algorithms for Diagnosing Cattle Diseases*. Monograph. Tashkent: Fanziyosi; 2023. 108 p. (In Russ.)
2. Луценко Е.В., Коржаков В.Е. Реализация тестов и супертестов для ветеринарной и медицинской диагностики в среде системы искусственного интеллекта «Эйдос-Х++» без программирования. *Научный журнал КубГАУ*. 2013;89(05):99–140.
Lutsenko EV, Korzhakov VE. Realization of Tests and Supertests for Veterinary and Medical Diagnostics in the Eidos-X++ System of Artificial Intelligence without Programming. *Scientific Journal of KubSAU*. 2013;89(05):99–140. (In Russ.)
3. Лакомкин В. *Российское исследование: развитие искусственного интеллекта в ветеринарной медицине*. URL: <https://www.ferra.ru/review/techlife/veterinar.htm> (дата обращения 24.11.2025).
Lakomkin V. *Russian Study: Development of Artificial Intelligence in Veterinary Medicine*. (In Russ.) URL: <https://www.ferra.ru/review/techlife/veterinar.htm> (accessed 24.11.2025).
4. Медведева А. *Искусственный интеллект подключился к борьбе с ранними симптомами болезней крупного рогатого скота*. URL: <https://www.agroxxi.ru/zivotnovodstvo/tehnologi/iskusstvennyi-intellekt-podklyuchilsja-k-borbe-s-mastitom-u-korov.html> (дата обращения 24.11.2025).
Medvedeva A. *Artificial Intelligence Joins the Fight against Early Symptoms of Cattle Diseases*. (In Russ.) URL: <https://www.agroxxi.ru/zivotnovodstvo/tehnologi/iskusstvennyi-intellekt-podklyuchilsja-k-borbe-s-mastitom-u-korov.html> (accessed 24.11.2025).
5. Бакиров Б., Рузиков Н.Б., Хайтов Б., Абдурасулов А.Х. Групповая профилактика ацидоза рубца у коров. *Вестник ОШГУ. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2023;(4(5)):50–56. https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_7
Bakirov B, Ruzikulov NB, Khaitov B, Abdurasulov AKh. Group Prevention of Rumen Acidosis in Cows. *Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zootechnics*. 2023;(4(5)):50–56. (In Russ.) https://doi.org/10.52754/16948696_2023_4_7
6. Павкин Д.Ю., Владимиров Ф.Е. Диагностика подострого ацидоза рубца у коров в послеотельный период с помощью цифровых технологий. *Главный зоотехник*. 2020;(12(209)):47–52.
Pavkin DYu, Vladimirov FE. Diagnosis of Subacute Rumen Acidosis in Cows in the Postpartum Period when Using Digital Technologies. *Head of Animal Breeding*. 2020;(12(209)):47–52. (In Russ.)
7. Рыжкова Г.Ф., Евглевский А.А., Евглевская Е.П., Миненков Н.А. Перераспределение электролитов между эритроцитами и плазмой крови коров при нарушении кислотно-щелочного равновесия (ацидоз рубца). *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(4):136–139.
Ryzhkova GF, Evglevsky AA, Evglevskaya EP, Minenkov NA. The Redistribution of Electrolytes between the Erythrocytes and Plasma of Cows Blood at the Violation of Acid-Base Balance (Acidosis of the Rumen). *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii (Bulletin of Kursk State Agricultural Academy)*. 2018;(4):136–139. (In Russ.)
8. Воронов Д.В., Бобер Ю. Н. Показатели pH содержимого рубца у коров, больных ацидозом, при различных способах получения пробы. *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины*. 2017;53(3):18–21.
Voronov DV, Bober YuN. Indicators pH of the Content of Rumen in the Cows, Patients with Acidosis, with Different Methods of Obtaining the Sample. *Scientific Notes of the Vitebsk State Awarded with the Badge of Honor Academy of Veterinary Medicine*. 2017; 53(3):18–21. (In Russ.)
9. Эленшлегер А.А., Соловьева В.В. Клинико-морфологические показатели крови при ацидозе рубца у молочных коров. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016;(6(140)):112–115.
Elenshleger AA, Solovyeva VV. Clinical and Morphological Blood Parameters in Rumen Acidosis in Dairy Cows. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016;(6(140)):112–115. (In Russ.)

10. Луговой М.М., Азарнова Т.О., Подольников В.Е., Луговая И.С. Значимость поддержания водородного показателя в организме коров для профилактики метаболических нарушений и повышения молочной продуктивности. *Аграрная Россия*. 2019;(12):3–7. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-12-3-7>

Lugovoi MM, Azarnova TO, Podolnikov VE, Lugovaya IS. Importance of Maintaining a Hydrogen Index in the Cows for Prevention of Metabolic Disorders and for an Increase in Milk Productivity. *Agrarnaya Rossiya (Agrarian Russia)*. 2019;(12):3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-12-3-7>

11. Побединский А.А. Побединский В.В. Способ мониторинга пчелиных ульев и популяций пчёл. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023;(6(104)):198–204.

Pobedinsky AA. Pobedinsky VV. A Method for Monitoring Bee Hives and Bee Populations. *Izvestia Orenburg State Agrarian University (Bulletin of the Orenburg State Agrarian University)*. 2023;(6(104)):198–204. (In Russ.)

12. Побединский А.А. Дистанционный мониторинг определения продуктивности кур-несушек в частном хозяйстве. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022;(1(93)):127–130. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-127-130>

Pobedinsky AA. Remote Monitoring Determining Productivity Laying Hens in a Private Household. *Izvestia Orenburg State Agrarian University (Bulletin of the Orenburg State Agrarian University)*. 2022;(1(93)):127–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-127-130>

13. Владимиров В.Е. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. Исследование pH и температуры рубца для диагностики ацидоза у дойных коров после отела. *Вестник ВНИИМЖ*. 2019;(4(36)):196–199.

Vladimirov VE, Kirsanov VV, Pavkin DYU. Study of the Rumen's pH and Temperature for Milk Cows after Calving Acidosis Diagnosis. *Vestnik vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva (Bulletin of the All-Russian Research Institute of Animal Husbandry Mechanization)*. 2019;(4(36)):196–199. (In Russ.)

14. Chen L, Liu Sh, Wang H, Wang M, Lihuai Yu. Relative Significances of pH and Substrate Starch Level to Roles of Streptococcus Bovis S1 in Rumen Acidosis. *AMB Express*. 2016;6(1):80. <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0248-2>

15. Millen DD, De Arrigoni MB, Pacheco RDL (Eds). *Rumenology*. Cham: Springer; 2016. 314 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30533-2>

16. Asqarov SS, Yunusov XB, Ro‘ziqulov N.B. Qo‘zilar Dispepsiyasining Klinik Belgilari va Ularning Etiopatogenetik Asoslari. *Veterinariya meditsinası*. 2023; P. 18–19.

17. Smith BP, Van Metre DC, Pusterla N (Eds). *Large Animal Internal Medicine. 6th Edition*. USA: Elsevier; 2020. 1874. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01788-6>

18. McSweeney CS, Mackie RI (Eds). *Improving Rumen Function: Burleigh Dodds Series in Agricultural Science*. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing; 2020. 862 p.

19. AlZahal O, Kebreab E, France J, Froetschel M, McBrideet BW. Ruminal Temperature May Aid in the Detection of Subacute Ruminal Acidosis. *Journal of Dairy Science*. 2008;91(1):202–207. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0535>

20. Antanaitis R, Juozaitiene V, Malasauskiene D, Televicius M., Urbutis M. Biomarkers from Automatic Milking System as an Indicator of Subclinical Acidosis and Subclinical Ketosis in Fresh Dairy Cows. *Polish Journal of Veterinary Science*. 2019;22(4):685–693. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2019.129981>

21. Abarghuei MJ, Rouzbehani Y, Salem AZM, Zamiri MJ. Nutrient Digestion, Ruminal Fermentation and Performance of Dairy Cows Fed Pomegranate Peel Extract. *Livestock Science*. 2013;157(2–3):452–461.

22. Chen L., Luo Y., Wang H., Liu S., Shen Y., Wang M. Effects of Glucose and Starch on Lactate Production by Newly Isolated Streptococcus Bovis S1 from Saanen Goats. *Applied and Environmental Microbiology*. 2016;82(19):5982–5989.

Об авторах:

Владимир Викторович Побединский, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления в технических системах и инновационных технологий Уральского государственного лесотехнического университета (620100, Российская Федерация, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37); профессор кафедры сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК Уральского государственного аграрного университета (620000, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, стр. 42), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), pobedinskyvv@mail.ru

Андрей Анатольевич Побединский, доцент кафедры лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики Аграрного института Тюменского государственного университета (625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Рошинское шоссе, 18), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), vm993711@mail.ru

Григорий Александрович Иовлев, кандидат экономических наук, заведующий кафедрой сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК Уральского государственного аграрного университета (620000, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, стр. 42), [SPIN-код](#), [Scopus ID](#), gri-iovlev@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

В.В. Побединский: научное руководство, формирование основной концепции, цели и задач исследования, подготовка текста, формирование выводов, разработка интеллектуальной системы.

А.А. Побединский: подготовка данных для интеллектуальной системы, анализ результатов исследований, корректировка выводов.

Г.А. Иовлев: помочь в доработке текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Vladimir V. Pobedinskiy, Professor, Dr.Sci. (Engineering), Head of the Management in Technical Systems and Innovative Technologies Department, Ural State Forest Engineering University (37, Sibirsky Trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation); Professor of the Service of Transport and Technological Machines and Equipment for the Agro-Industrial Complex Department, Ural State Agrarian University (42, Karla Liebknehta St., Ekaterinburg, 620000, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](mailto:pobedinskyvv@mail.ru), pobedinskyvv@mail.ru

Andrey A. Pobedinskiy, Associate Professor of the Forestry, Woodworking and Applied Mechanics Department, Agrarian Institute of Tyumen State University (18, Roshchinskoye Shosse, Tyumen, 625003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), vm993711@mail.ru

Grigory A. Iovlev, Cand.Sci. (Economics), Head of the Service of Transport and Technological Machines and Equipment for Agro-Industrial Complex Department, Ural State Agrarian University (42, Karla Liebknehta St., Ekaterinburg, 620000, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Scopus ID](#), gri-iovlev@yandex.ru

Claimed Contributorship:

VV Pobedinskiy: scientific supervision, formulating the main concept, aim and objectives of the research, preparing the text, formulating conclusions, developing the intelligent system.

AA Pobedinskiy: preparing data for the intelligent system, analysing research results, adjusting conclusions.

GA Iovlev: assistance in finalizing the text.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 10.11.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 05.12.2025

Принята к публикации /Accepted 11.12.2025

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 619:618.96:569.822.2–086

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-27-34>

Оригинальное эмпирическое исследование

Биохимические параметры сыворотки крови у кошек с нефрокардиальным синдромом

К.Е. Белкин , Ю.А. Ватников , Е.Д. Сотникова , Е.А. Нотина , Е.А. Кротова

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация

sotnikova_ed@rudn.ru



EDN: MZIYHW

Аннотация

Введение. Нефрокардиальный синдром (НКС) — это комплекс взаимосвязанных нарушений, при котором хроническая болезнь почек (ХБП) приводит к развитию вторичной миокардиальной дисфункции и структурному ремоделированию сердца. ХБП является одним из наиболее распространенных патологических состояний у кошек старшего возраста, и хотя случаи развития у кошек нефрокардиального синдрома описаны в литературе, его точные патофизиологические механизмы остаются не до конца изученными. В частности, недостаточно научных данных, касающихся роли системного воспаления, нарушений белкового и энергетического обмена в патогенезе и прогрессировании НКС. Целью настоящего исследования явилось комплексное изучение биохимических параметров сыворотки крови у кошек с нефрокардиальным синдромом для выявления специфических паттернов нарушений и разработки усовершенствованных методов диагностики и терапии.

Материалы и методы. В ходе ретроспективного анализа изучены 82 истории болезни кошек, поступивших на лечение в московские ветеринарные клиники за период с 2021 по 2025 гг. Было сформировано две опытные группы животных (37 кошек с НКС; 23 кошки с ХБП без кардиальных осложнений) и одна контрольная (22 здоровые кошки). Методы исследования включали биохимический анализ сыворотки крови (общий белок, фракции альбуминов/глобулинов, С-реактивный белок, маркеры азотемии и кетонемии), а также инструментальные методы (эхокардиография, ЭКГ).

Результаты исследования. У кошек с НКС выявлена выраженная диспротеинемия: гипоальбуминемия ($28,1 \pm 0,5$ г/л против $34,2 \pm 0,6$ г/л в контроле), гиперглобулинемия ($42,6 \pm 1,4$ г/л), значительное снижение альбумин-глобулинового коэффициента ($0,69 \pm 0,03$ против $1,02 \pm 0,07$ в контроле). Уровень С-реактивного белка у животных с НКС превышал показатели как здоровых кошек ($164,1 \pm 5,6$ г/л против $82,9 \pm 1,4$ г/л), так и группы с ХБП без кардиальных осложнений ($128,5 \pm 3,2$ г/л), что подтверждает наличие системного воспаления. Параметры азотемии (мочевина, креатинин, СДМА) не имели значимых различий между группами с ХБП и НКС, но были повышены относительно контроля.

Обсуждение и заключение. Обнаружен усиленный кетогенез у кошек с обеими патологиями, вероятно, связанный с уремической интоксикацией и катаболическими процессами. НКС у кошек характеризуется выраженным системным воспалением, нарушением белкового обмена и метаболическими сдвигами. Полученные результаты подчёркивают важность интеграции оценки воспалительных и метаболических маркеров в диагностику НКС, а также необходимость дальнейших исследований для установления причинно-следственных связей в рамках нефрокардиального континуума.

Ключевые слова: нефрокардиальный синдром, диагностика, биохимические параметры, вторичная кардиомиопатия, патогенез, кошки, хроническая почечная недостаточность

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00090, <https://rscf.ru/project/24-26-00090/>

Для цитирования. Белкин К.Е., Ватников Ю.А., Сотникова Е.Д., Нотина Е.А., Кротова Е.А. Биохимические параметры сыворотки крови у кошек с нефрокардиальным синдромом. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):27–34. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-27-34>

Biochemical Parameters of Blood Serum in Cats with Nephrocardial Syndrome

Konstantin E. Belkin , Yuri A. Vatnikov , Elena D. Sotnikova ✉, Elena A. Notina , Elena A. Krotova 

Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russian Federation

✉ sotnikova_ed@rudn.ru

Abstract

Introduction. Nephrocardial syndrome (NCS) is a complex of interrelated disorders, which includes chronic kidney disease (CKD) resulting in development of secondary myocardial dysfunction and structural cardiac remodeling. CKD is one of the most common pathologies in older cats. Although cases of nephrocardial syndrome in cats have been described in the literature, its precise pathophysiological mechanisms are still poorly understood. Particularly insufficient are the scientific data regarding the role of systemic inflammation and protein and energy metabolism disorders related to NCS pathogenesis and progression. The aim of the study is to investigate the biochemical parameters of blood serum in cats with nephrocardial syndrome for identifying the specific patterns of disorders and developing the improved diagnostic and therapeutic techniques.

Materials and Methods. A retrospective analysis of 82 medical records of cats admitted to the Moscow veterinary clinics in the period of 2021 — 2025 was conducted. Two experimental groups of animals were formed (37 cats with NCS; 23 cats with CKD without cardiac complications) and one control group (22 healthy cats). Research methods included serum biochemistry (total protein, albumin/globulin fractions, C-reactive protein, azotemia and ketonemia markers), as well as instrumental methods (echocardiography, ECG).

Results. In cats with NCS, pronounced dysproteinemia was revealed: hypoalbuminemia (28.1 ± 0.5 g/l versus 34.2 ± 0.6 g/l in the control group), hyperglobulinemia (42.6 ± 1.4 g/l), a significant decrease in the albumin to globulin ratio (0.69 ± 0.03 versus 1.02 ± 0.07 in the control group). The level of C-reactive protein in animals with NCS exceeded the values of both healthy cats (164.1 ± 5.6 g/l versus 82.9 ± 1.4 g/l) and the cats from the group with CKD without cardiac complications (128.5 ± 3.2 g/l), which confirms the presence of systemic inflammation. Azotemia parameters (urea, creatinine, SDMA) did not significantly differ in groups with CKD and NCS, but were higher, compared to the control group.

Discussion and Conclusion. The increased ketogenesis was detected in cats with both pathologies, which is likely due to uremic intoxication and catabolic processes. NCS in cats is characterized by pronounced systemic inflammation, impaired protein metabolism, and metabolic shifts. The obtained results emphasize the importance of integrating inflammatory and metabolic markers interpretation into the diagnostics of NCS, as well as the need for further research to establish the cause-and-effect relationships within the nephrocardial continuum.

Keywords: nephrocardial syndrome, diagnostics, biochemical parameters, secondary cardiomyopathy, pathogenesis, cats, chronic kidney disease

Funding. The research was conducted at the expense of the grant No. 24-26-00090 of the Russian Science Foundation, <https://rscf.ru/project/24-26-00090/>

For citation. Belkin KE, Vatnikov YuA, Sotnikova ED, Notina EA, Krotova EA. Serum Biochemical Parameters in Cats with Nephrocardial Syndrome. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025; 24(4):27–34. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-27-34>

Введение. Хроническая болезнь почек (ХБП) — распространённое у кошек старшего возраста прогрессирующее заболевание, значительно повышающее риск смерти [1]. На фоне ХБП нередко развиваются сопутствующие патологии, включая гипертонию, поражения печени, гиперпаратиреоз, электролитные нарушения и анемию [2, 3]. Благодаря прогрессу в ветеринарной нефрологии, многие кошки теперь живут дольше, но при этом у них может развиваться вторичное поражение сердца на фоне почечной дисфункции [4–7]. Это состояние известно как нефрокардиальный синдром (НКС) — сочетание ХБП и вторичной кардиомиопатии [8, 9]. Исследования показывают, что системное воспаление играет ключевую роль в

прогрессировании как почечной, так и сердечной недостаточности у животных [10–12]. При кардиомиопатиях и болезнях клапанов сердца часто отмечается повышение маркеров воспаления (С-реактивного белка, фибриногена, цитокинов), а также изменения в анализах крови, такие как нейтрофилия и ускорение СОЭ [13–15]. Аналогичные изменения наблюдаются у кошек с ХБП.

Ещё одним важным фактором является нейрогормональная активация (ренин-ангиотензин-альдостероновая система, симпатическая нервная система): высокий уровень ангиотензина II усиливает окислительный стресс, воспаление и гибель клеток, ускоряя повреждение почек и сердца [9]. Кроме того, медикаментозная терапия сама

по себе может способствовать развитию нефрокардиального и кардиоренального синдромов [16]. Например, петлевые диуретики (фуросемид, торасемид) способны вызвать гиповолемию и ухудшить кровоснабжение почек, одновременно активируя ренин-ангиотензин-альдостероновую систему, что усугубляет повреждение почечной и сердечной ткани [17, 18].

Описанные в литературе случаи нефрогенного поражения сердца у кошек не дают полного понимания механизма развития синдрома. В частности, остаётся неясной роль системного воспаления и нарушений белково-энергетического обмена в патогенезе НКС. Выявление специфических биохимических маркеров способно раскрыть ключевые механизмы формирования синдрома. Цель исследования — изучить профиль биохимических параметров (белкового обмена, маркеров воспаления, азотемии и кетонемии) сыворотки крови у кошек с нефрокардиальным синдромом для выявления характерных паттернов нарушений и разработки на их основе комплексного подхода к ранней диагностике и эффективной терапии данного коморбидного состояния.

Материалы и методы. Данные для ретроспективного анализа были взяты из 82 историй болезни кошек, поступивших на лечение в ветеринарные клиники г. Москвы («Ветлайф», «Эпиона», «Зооакадемия») за период с 2021 по 2025 гг. Было сформировано две опытные группы животных (37 кошек с НКС; 23 кошки с ХБП без кардиальных осложнений) и одна контрольная (22 здоровые кошки).

Критерии исключения для всех групп: острое повреждение почек; преренальная либо постренальная азотемия; инфекционные, токсические или обструктивные нефропатии (включая пиелонефрит); острые воспалительные процессы; патологии печени, поджелудочной железы, онкологические заболевания; вирусонасительство FeLV/FIV; агрегация тромбоцитов, искажающая гематологический анализ.

Основную опытную группу (НКС, n=37) составили кошки, соответствующие следующим диагностическим критериям: ХБП III–IV стадии по классификации IRIS (средний показатель $3,4 \pm 0,1$); подтверждённая кардиомиопатия, проявляющаяся концентрической гипертрофией левого желудочка и/или дилатацией левого предсердия; средний возраст — $132,9 \pm 4,9$ месяцев.

Вторую опытную группу (ХБП без кардиальных осложнений, n=23) составили животные, соответствующие следующим критериям включения: ХБП III–IV стадии по IRIS (средний показатель $3,4 \pm 0,1$) и отсутствие структурных изменений сердца по данным эхокардиографии. Средний возраст — $131,4 \pm 7,3$ месяцев.

Контрольная группа (n=22) включала здоровых кошек (средний возраст — $126,1 \pm 6,5$ месяцев), которые

отбирались на основе следующих критериев: отсутствие клинических отклонений; нормальные лабораторные показатели; отрицательные тесты на FeLV/FIV. Этим животным в ветклиниках проводили плановый предоперационный осмотр либо диспансеризацию.

Для формирования групп и верификации диагноза применяли лабораторные исследования. Гематологический анализ выполняли с помощью автоматического анализатора NEMAX 53 VET (B&E Bio-technology Co., Ltd, Китай) [1, 18]. Лейкоформулу определяли в мазках по Романовскому-Гимза. Биохимические параметры сыворотки крови (мочевина, креатинин, общий белок, альбумин) определяли с помощью анализатора CS-600B (Dirui Industrial Co., Ltd., Китай) [17]. Также использовали такие инструментальные методы, как эхокардиография и электрокардиография [9].

Статистический анализ на первом этапе включал проверку нормальности распределения (тест Шапиро-Уилка). На втором этапе осуществляли сравнение групп с помощью t-критерия Стьюдента (для параметрических данных). При этом данные представлены как $M \pm m$ (среднее \pm стандартная ошибка). Уровень статистической значимости определяли по критерию Манна-Уитни и считали достоверной при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Исследование биохимических параметров сыворотки крови, отражающих состояние белкового обмена, играет ключевую роль в понимании патогенеза нефрокардиального синдрома у кошек (таблица 1).

Анализ белкового обмена и маркеров воспаления при нефрокардиальном синдроме у кошек имеет особую практическую значимость в понимании патогенетических механизмов при коморбидной нефрокардиальной патологии. Относительно характеристик основных белковых фракций у больных животных важно отметить следующее: концентрация общего белка в сыворотке крови оказалась достоверно повышенена при НКС, по сравнению с группой ХБП. Параллельно с этим, сывороточная концентрация альбуминов у животных как с ХБП, так и с НКС, оказалась значительно снижена относительно контроля. При этом межгрупповая значимость по данному биохимическому параметру оказалась весьма существенной (НКС относительно ХБП). Что касается глобулиновой фракции сыворотки крови, необходимо акцентировать внимание на наличии более выраженной гиперглобулинемии у животных при НКС, по сравнению с ХБП. А/Г соотношение у животных при ХБП, по сравнению с группой здоровых кошек, статистически не отличалось. Однако этот параметр значимо снижался при НКС, по сравнению как с ХБП, так и с контролем.

Таблица 1

Биохимические параметры сыворотки крови у кошек трех групп (n=82), характеризующие белковый метаболизм

Параметр	Контроль (健康发展 n=22)	Опытные группы (больные кошки)		Статистическая значимость (критерий Манна-Уитни)		
		ХБП (n=23)	НКС (n=37)	p1	p2	p3
Общий белок, г/л	69,9±1,6	66,6±2,1	70,7±1,4	≤0,1	≤1	≤0,05
Альбумины, г/л	34,2±0,6	31,6±0,7	28,1±0,5	≤0,05	≤0,001	≤0,001
Глобулины, г/л	35,7±1,7	34,9±2,1	42,6±1,4	≤0,5	≤0,01	≤0,01
А/Г соотношение, ед	1,02±0,07	0,97±0,06	0,69±0,03	≤1	≤0,001	≤0,001
Альфа1-глобулины, г/л	7,0±0,3	8,7±0,2	11,8±0,4	≤0,001	≤0,001	≤0,001
Альфа2-глобулины, г/л	7,1±0,2	8,6±0,2	10,6±0,2	≤0,001	≤0,001	≤0,001
Бета-глобулины, г/л	8,6±0,5	14,9±0,7	17,6±0,4	≤0,001	≤0,001	≤0,01
Гамма-глобулины, г/л	13,5±1,4	6,8±1,3	8,1±0,9	≤0,001	≤0,01	≤0,5
С-реактивный белок, г/л	82,9±1,4	128,5±3,2	164,1±5,6	≤0,001	≤0,001	≤0,001

Примечание: ХБП — хроническая болезнь почек;

НКС — нефрокардиальный синдром;

р1 — между здоровыми и больными хронической почечной недостаточностью кошками;

р2 — между здоровыми и больными НКС кошками;

р3 — между больными хронической почечной недостаточностью и НКС кошками.

Фракционный анализ глобулинов показывает, что при НКС, в сравнении с ХБП, отмечалось значимое повышение сывороточной концентрации α_1 -, α_2 - и глобулинов на фоне резкого снижения концентрации γ -глобулинов. Аналогичные изменения, но в меньшей степени, установлены и в группе ХБП, в сравнении с контролем. В сыворотке крови кошек с НКС определяли также концентрацию такого маркера воспаления, как С-реактивный белок. Данный биохимический тест оказался повышенным у кошек с ХБП (относительно контроля). Однако максимальное повышение сывороточной концентрации С-реактивного белка установлено нами при НКС (относительно контроля и ХБП).

Таким образом, в организме кошек с НКС наблюдается выраженная диспротеинемия, которая манифестируется гипоальбуминемией, гиперальфаглобулинемией (особенно α_1 -фракции), значительным повышением сывороточной концентрации β -глобулинов.

Т. е. в патогенезе развития и прогрессирования НКС у кошек установлен выраженный воспалительный компонент. Данный тезис также подтверждается резким ростом сывороточной концентрации С-реактивного белка. Развитие выраженной системной воспалительной реакции установлено также в других исследованиях при почечной и сердечной недостаточности. Степень воспалительной реакции коррелирует с тяжестью состояния при многих хронических болезнях. Полученные данные свидетельствуют о наличии более выраженного системного воспаления у домашних кошек с НКС, значимом нарушении белкового обмена, высоковероятном синергизме почечного и сердечного повреждения, и требует отдельного детального анализа для понимания патогенетических механизмов.

Данные об оценке уровня азотемии у больных кошек представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка параметров азотемии у кошек трех групп (n=82)

Параметр	Контроль (健康发展 n=22)	Опытные группы (больные кошки)		Статистическая значимость (критерий Манна-Уитни)		
		ХБП (n=23)	НКС (n=37)	p1	p2	p3
Мочевина, ммоль/л	6,8±0,3	28,9±1,1	29,9±0,6	≤0,001	≤0,001	≤1
Креатинин, кмоль/л	104,0±8,4	356,6±11,0	390,4±13,1	≤0,001	≤0,001	≤0,1
Мочевина/креатинин, ед	81,8±12,3	83,6±4,8	79,9±3,2	≤0,1	≤0,1	≤0,5
СДМА, мкг/дл	12,2±0,7	34,0±2,0	36,2±1,0	≤0,001	≤0,001	≤0,5

Примечание: ХБП — хроническая болезнь почек;

НКС — нефрокардиальный синдром;

СДМА — симметричный диметиларгинин;

р1 — между здоровыми и больными хронической почечной недостаточностью кошками;

р2 — между здоровыми и больными НКС кошками;

р3 — между больными хронической почечной недостаточностью и НКС кошками.

Такой биохимический параметр, характеризующий степень азотемии, как мочевина, оказался достоверно повышенным и при ХБП, и при НКС (относительно контроля). Межгрупповых различий в сывороточной концентрации мочевины между кошками с ХБП и НКС не выявлено. Важнейшим биохимическим параметром уровня азотемии у мелких животных считается креатинин — как конечный продукт метаболизма креатина. Установлено значительное повышение уровня креатинина в сыворотке крови кошек с ХБП и НКС (относительно контроля). При этом различий между группами с ХБП и НКС не обнаружено. Соотношение «мочевина/креатинин» не имело статистически значимых различий между тремя группами животных. Такой маркер

почечной дисфункции, как СДМА, оказался статистически значимо повышенным у животных с ХБП и НКС (относительно контроля). Одновременно с этим, данный биохимический параметр не отличался между опытными группами с патологиями (НКС против ХБП).

В оценке метаболических изменений в организме кошек с ХБП и НКС важно учитывать концентрацию кетоновых тел — как промежуточных продуктов обмена липидов, жиров и углеводов. Нами установлена значимая кетонемия у кошек с ХБП (относительно контроля), так и с НКС (относительно контроля) (рис. 1). Однако межгрупповых различий у кошек с патологиями (НКС против ХБП) не выявлено.

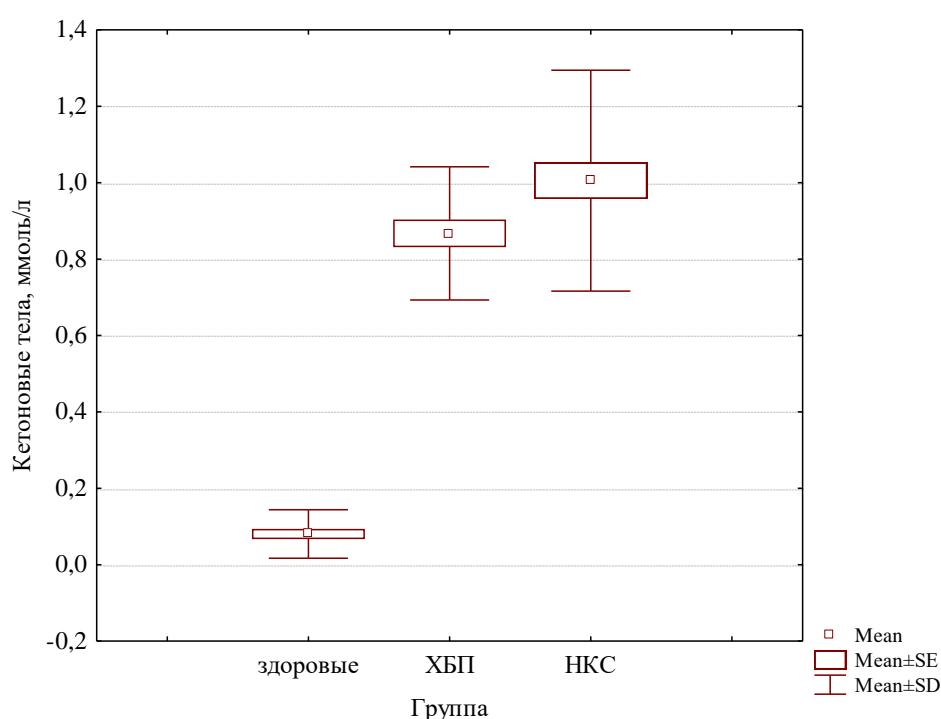


Рис. 1. Кетонемия у кошек с нефрокардиальным синдромом

Таким образом, характеристики биохимических показателей сыворотки крови кошек, больных ХБП и НКС, свидетельствуют об отсутствии дополнительного влияния кардиального компонента на уровень азотемии. Установлены значимые метаболические нарушения: усиленный кетогенез как при ХБП, так и при НКС. Кетогенез при ХБП у кошек также был отмечен в другом исследовании [17]. У кошек с НКС нами отмечен системный воспалительный синдром, который проявляется диспротеинемией. Концентрация СДМА в сыворотке крови кошек с НКС подтверждает почечную дисфункцию, но не отражает кардиальное вовлечение патофизиологических механизмов. Метаболические нарушения (кетогенез) могут быть связаны с уремической интоксикацией, нарушениями энергетического обмена, сопутствующим катаболическим статусом.

Для оценки степени тяжести течения НКС у кошек особое значение имеет анализ таких показателей сыворотки крови, как общий белок и его фракции, альбумин-глобулиновый коэффициент, белково-катаболические маркеры. Эти параметры четко отражают нарушения синтетической функции печени, потерю белка через поврежденный почечный фильтр, системный воспалительный ответ, метаболические изменения при развитии нефрокардиального континуума.

Обсуждение и заключение. Проведенное исследование выявило ключевые различия в биохимических параметрах у кошек с хронической болезнью почек и нефрокардиальным синдромом, подчеркивая роль системного воспаления и метаболических нарушений. НКС у кошек патогенетически характеризуется выраженным воспалительным компонентом, которая манифестируется диспротеинемией (гипоальбуминемия,

гиперальфа- и бета-глобулинемия), а также резким повышением сывороточной концентрации С-реактивного белка. Параметры азотемии (мочевина, креатинин, СДМА) значимо повышены при обеих патологиях, но не различаются между группами кошек с ХБП и НКС. Это свидетельствует о том, что кардиальный компонент нефрокардиального синдрома не усугубляет азотемию, но усиливает воспалительный ответ. У больных кошек верифицировали наличие умеренной кетонемии, что связано с уремической интоксикацией и высоким катаболическим статусом.

Результаты исследования подчеркивают необходимость интегративной оценки воспалительных и метаболических маркеров при нефрокардиальном синдроме у животных, а также проведения дальнейших исследований для определения причинно-следственных связей в нефрокардиальном континууме. Это поможет усовершенствовать методы диагностики и стратегии терапии, направленные на контроль воспаления и метаболического дисбаланса.

Список литературы / References

1. Conroy M, Brodbelt DC, O'Neill D, Chang YM, Elliott J. Chronic Kidney Disease in Cats Attending Primary Care Practice in the UK: A VetCompass™ Study. *Veterinary Record*. 2019;184(17):526. <https://doi.org/10.1136/vr.105100/10.1136/vr.105100>
2. Brown CA, Elliott J, Schmiedt CW, Brown S.A. Chronic Kidney Disease in Aged Cats: Clinical Features, Morphology, and Proposed Pathogeneses. *Veterinary Pathology*. 2016;53(2):309-26. <https://doi.org/10.1177/0300985815622975>
3. Spencer S, Wheeler-Jones C, Elliott J. Hypoxia and Chronic Kidney Disease: Possible Mechanisms, Therapeutic Targets, and Relevance to Cats. *The Veterinary Journal*. 2021;274:105714. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2021.105714>
4. Summers S, Quimby J. Insights into the Gut-Kidney Axis Cats and Dogs. *Veterinary Journal*. 2024;306:106181. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2024.106181>
5. Петрова Н.С., Глебов В.В. Результаты ультразвукового исследования хронической болезни почек домашних кошек на территории столичного мегаполиса. *Вестник НГАУ*. 2023;(2(67)):229–236. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-229-236>
- Petrova NS, Glebov VV. Results of the Ultrasonic Study of Chronic Kidney Disease in Domestic Cats in the Territory of the Capital Megapolis. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023;(2(67)):229-236. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-229-236>
6. Бычкова В.А., Гончарова А.В., Костылев В.А. Протеинурия у кошек с хронической болезнью почек как фактор дополнительного повреждения. *Ветеринарная морфология и патология*. 2024;3:36–41. URL: https://disk.vetmorph.ru/2024-03/5_ВМП%202024-3_Протеинурия%20у%20кошек%20с%20хронической%20болезнью%20почек.pdf (дата обращения: 11.11.2025).
- Bychkova VA, Goncharova AV, Kostylev VA. Proteinuria in Cats with Chronic Kidney Disease as a Factor of Additional Damage. *Veterinary Morphology and Pathology*. 2024;(3):36–41. (In Russ.) URL: https://disk.vetmorph.ru/2024-03/5_ВМП%202024-3_Протеинурия%20у%20кошек%20с%20хронической%20болезнью%20почек.pdf (accessed: 11.11.2025).
7. Инатуллаева Л.Б., Ватников Ю.А., Вилковыский И.Ф., Воронина Ю.Ю. Гистологические изменения в почках при хронической болезни почек у кошек, связанные с отложением амилоида. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2017;5:25–31.
- Inatullaeva LB, Vatnikov YuA, Vilkovyskiy IF, Voronina Yu.Yu. Gistologicheskiye izmeneniya v pochkah pri khronicheskoy bolezni pochek u koshek, svyazannyye s otlozheniem amiloida. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2017;5:25–31. (In Russ.)
8. Ватников Ю.А., Сотникова Е.Д., Бяхова В.М., Петрухина О.А., Матвеев А.В., Родионова Н.Ю., и др. Особенности развития гепатокардиального синдрома у собак с дилатационной кардиомиопатией. *Ветеринария*. 2022;(10):52–57. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.10.52-57>
- Vatnikov Yu.A., Sotnikova E.D., Byakhova V.M., Petrukhina O.A., Matveev A.V., Rodionova N.Yu., Rudenko A.A. Osobennosti razvitiya hepatokardial'nogo sindroma u sobak s dilatatsionnoy kardiomiopatiyey. *Veterinariya*. 2022;10:52–57. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.10.52-57> (In Russ.)
9. Ватников Ю.А., Вилковыский И.Ф., Щуров И.В., Сотникова Е.Д., Бяхова В.М., Петрухина О.А., и др. Клинико-эхокардиографическая характеристика кардиоренального синдрома у собак, больных эндокардиозом двустворчатого клапана. *Вестник КрасГАУ*. 2025;(1(214)):100–110. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-1-100-110>
- Vatnikov YuA, Vilkovyskiy IF, Shchurov IV, Sotnikova ED, Byakhova VM, Petrukhina OA, Rudenko AA. Clinical and Echocardiographic Characteristics of Cardiorenal Syndrome in Dogs with Bicuspid Valve Endocardiosis. *Bulliten of KSAU*. 2025;(1):100–110. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-1-100-110> (In Russ.)
10. Carvalho L, Kelley D, Labato MA, Webster CR. Hyperammonemia in Azotemic Cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2021;23(8):700–707. <https://doi.org/10.1177/1098612x20972039>

11. Rogg S, Mochel JP, Kundu D, Tropf MA, Masters AK, Adin DB, et al. Frequency and Progression of Azotemia during Acute and Chronic Treatment of Congestive Heart Failure in Cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2025;39(1):e17254. <https://doi.org/10.1111/jvim.17254>
12. Krofič Žel M, Nemec Svete A, Tozon N, Pavlin D. Hemogram-Derived Inflammatory Markers in Cats with Chronic Kidney Disease. *Animals*. 2024;14(12):1813. <https://doi.org/10.3390/ani14121813>
13. Chen H, Dunaevich A, Apfelbaum N, Kuzi S, Mazaki-Tovi M, Aroch I, Segev G. Acute or Chronic Kidney Disease in Cats: Etiology, Clinical and Clinicopathologic Findings, Prognostic Markers, and Outcome. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020;34(4):1496–1506. <https://doi.org/10.1111/jvim.15808>
14. Loane SC, Thomson JM, Williams TL, McCallum KE. Evaluation of Symmetric Dimethylarginine in Cats with Acute Kidney Injury and Chronic Kidney Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2022;36(5):1669–1676. <https://doi.org/10.1111/jvim.16497>
15. Jing H, Hsu WL, Wu VC, Tsai HJ, Tsai SF, Tsai PJ, et al. Urine Hemojuvelin in Cats with Naturally Occurring Kidney Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020;34(3):1222–1230. <https://doi.org/10.1111/jvim.15781>
16. Wang IC, Hsu WL, Wu PH, Yin HY, Tsai HJ, Lee YJ. Neutrophil Gelatinase-Associated Lipocalin in Cats with Naturally Occurring Chronic Kidney Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017;31(1):102–108. <https://doi.org/10.1111/jvim.14628>
17. Gorman L, Sharkey LC, Armstrong PJ, Little K, Rendahl A. Serum Beta Hydroxybutyrate Concentrations in Cats with Chronic Kidney Disease, Hyperthyroidism, or Hepatic Lipidosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2016;30(2):611–616. <https://doi.org/10.1111/jvim.13826>
18. Polzin DJ, Churchill JA. Controversies in Veterinary Nephrology: Renal Diets Are Indicated for Cats with International Renal Interest Society Chronic Kidney Disease Stages 2 to 4: The Pro View. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2016;46(6):1049–1065. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2016.06.005>

Об авторах:

Константин Евгеньевич Белкин, аспирант департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), [ORCID](#), 1142220009@rudn.ru

Юрий Анатольевич Ватников, доктор ветеринарных наук, профессор, директор департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), vatnikov_yu@rudn.ru

Елена Дмитриевна Сотникова, кандидат биологических наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), sotnikova_ed@rudn.ru

Елена Александровна Нотина, кандидат филологических наук, доцент, заведующий кафедрой иностранных языков аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), notina-ea@rudn.ru

Елена Александровна Кротова, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), krotova-ea@rudn.ru

Заявленный вклад авторов:

К.Е. Белкин: проведение экспериментов, статистический анализ, написание черновика рукописи.

Ю.А. Ватников: научное руководство, разработка концепции, валидация результатов.

Е.Д. Сотникова: методология и редактирование рукописи.

Е.А. Нотина: написание рукописи — обзор, перевод.

Е.А. Кротова: проведение исследования, статистический анализ.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Konstantin E. Belkin, PhD Student of the Veterinary Medicine Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba (6, Miklukho-Maklai Str., Moscow, 117198, Russian Federation), [ORCID](#), 1142220009@rudn.ru

Yuri A. Vatnikov, Dr.Sci. (Veterinary), Professor, Director of the Veterinary Medicine Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba (6, Miklukho-Maklai Str., Moscow, 117198, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), vatnikov_yu@rudn.ru

Elena D. Sotnikova, Cand.Sci.(Biology), Associate Professor of the Veterinary Medicine Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba (6, Miklukho-Maklai Str., Moscow, 117198, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), sotnikova_ed@rudn.ru

Elena A. Notina, Cand.Sci.(Philology), Associate Professor, Head of the Foreign Languages Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba (6, Miklukho-Maklai Str., Moscow, 117198, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), notina-ea@rudn.ru

Elena A. Krotova, Cand.Sci. (Veterinary), Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba (6, Miklukho-Maklai Str., Moscow, 117198, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), krotova-ea@rudn.ru

Claimed Contributorship:

KE Belkin: conducting experiments and statistical analysis, writing the draft manuscript.

YuA Vatnikov: scientific supervision, development of a concept, validating results.

ED Sotnikova: developing methodology and editing the manuscript.

EA Notina: writing the manuscript, preparing a review, making translation.

EA Krotova: conducting the research and statistical analysis.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 30.08.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 24.09.2025

Принята к публикации /Accepted 30.09.2025

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК 619:616.617.51-07:636.7

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-35-42>

Компьютерная томография для диагностики патологий жевательных мышц у собак

Е.А. Николаева ✉, Н.А. Николаева , С.Н. Карташов , А.А. Крикунова

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ katrinnik000@gmail.com



EDN: LWWAYE

Аннотация

Введение. Проблема диагностики патологий жевательных мышц у собак остаётся актуальной как в научной, так и в практической ветеринарной медицине, поскольку заболевания жевательных мышц могут приводить к потере аппетита и, как следствие, к ухудшению общего здоровья животного. Современные методы визуализации, такие как компьютерная томография, до сих пор недостаточно широко применяются в ветеринарии для диагностики патологий. Цель исследования — провести компьютерную томографию жевательных мышц у собак и оценить диагностические возможности метода, осуществив сравнительный анализ томограмм и макроанатомических срезов данных мышц.

Материалы и методы. Исследования проводились на базе ветеринарной клиники «ВитаВет», а также в анатомическом театре Донского государственного технического университета в период с ноября 2023 г. по март 2024 г. Объектом исследования служили собаки ($n=3$). Компьютерная томография проводилась в 3-х фазах сканирования: артериальной, венозной и отсроченной. После проведения КТ и эвтаназии трупы животных были заморожены при температуре -20°C на неделю. Для получения макроанатомических срезов использовался циркулярный распилочный станок. Соответствие КТ-изображений реальной анатомической структуре было установлено с помощью сравнительного анализа макроанатомических срезов и КТ-картины на аксиальных и сагittalных проекциях данных структур.

Результаты исследования. Описано анатомическое расположение и топографическое отношение жевательных мышц к ассоциированным тканям у трупов собак с помощью компьютерной томографии и макроанатомических срезов. Сопоставление КТ-снимков с макроанатомическими спилами показало высокую степень соответствия между ними: контуры большой жевательной и височной мышц на КТ полностью совпали с их топографией на замороженных спилах. У крыловидных мышц наблюдались незначительные различия по толщине и плотности тканей, что связано с особенностями распила и усадкой мягких тканей при замораживании.

Обсуждение и заключение. Компьютерная томография является предпочтительным методом визуализации жевательных мышц головы животного, так как позволяет точно определить локализацию, количество, размеры и интенсивность морфологических изменений, отражающих состояние и степень вовлеченности мышц в патологический процесс. Тем не менее полученные результаты следует рассматривать с учётом ряда ограничений: исследование проводилось на небольшом количестве животных, использовались трупы без клинически подтверждённых патологий и др. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением выборки животных различных пород и возрастных групп, а также с включением клинических случаев миозитов, опухолей и посттравматических изменений жевательных мышц. Это позволит повысить точность диагностики и эффективность терапии.

Ключевые слова: собака, компьютерная томография, патология, диагностика, жевательные мышцы, анатомическое строение, макроанатомические срезы

Декларация о соблюдении принципов Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей: авторы заявляют, что все проведенные исследования соответствовали принципам конвенции и правилам надлежащей лабораторной практики.

Для цитирования. Николаева Е.А., Николаева Н.А., Карташов С.Н., Крикунова А.А. Компьютерная томография для диагностики патологий жевательных мышц у собак. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):35–42. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-35-42>

Original Empirical Research

Using Computed Tomography Scanning for Diagnosing Masticatory Muscle Pathologies in Dogs

Ekaterina A. Nikolaeva ✉, Nadezhda A. Nikolaeva , Sergey N. Kartashov , Anastasia A. Krikunova

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉katrinnik000@gmail.com

Abstract

Introduction. The problem of diagnosing the masticatory muscle pathologies in dogs remains relevant both for veterinary science and practice, as masticatory muscle diseases can lead to the loss of appetite and, as a result, to deterioration of animal overall health. Modern imaging techniques, such as computed tomography (CT) scanning, are still rarely used in veterinary medicine for diagnosing the pathologies. The aim of the present study is to perform CT scanning of the masticatory muscles in dogs and evaluate the diagnostic capacities of this technique by comparing the CT scans of these muscles to macroscopic anatomy sections thereof.

Materials and Methods. The study was conducted at the premises of VitaVet Veterinary Clinic and in the anatomical theatre of Don State Technical University from November 2023 to March 2024. The objects of the study were dogs (n=3). Three-phase CT scans were taken: arterial, venous, and delayed. After CT scanning and euthanasia, the animal cadavers were frozen at the temperature of -20°C for one week. The muscle sections for macroscopic anatomy analysis were obtained using a circular saw table. Alignment of CT images with the actual anatomical structure was established by comparing the macroscopic anatomy sections against the axial and sagittal CT projections of these structures.

Results. The anatomical site and topographic relationships of the masticatory muscles with the associated tissues in canine cadavers were described using computed tomography scanning and macroscopic anatomy analysis of muscle sections. By comparing CT images to the macroscopic anatomy sections, a high degree of matching between them was revealed: the masseter muscle and temporalis muscle silhouettes on CT scans completely matched with their topography in frozen sections. Minor differences in tissue thickness and density were observed in the pterygoid muscles, which could be explained by the features of soft tissue cutting and shrinkage during freezing.

Discussion and Conclusion. Computed tomography scanning is a preferred imaging technique for the masticatory muscles in the head of an animal, as it enables precise determination of the location, quantity, size, and intensity of morphological changes in the muscles reflecting their condition and degree of involvement in the pathological process. However, several constraints should be borne in mind when considering the obtained results: the study was conducted in a small number of animals; the pathologies were not clinically confirmed in the cadavers used for the study, etc. The prospects of future research lie in expansion of the size of a sample to include the animals of different breeds and ages, as well as in incorporation of the clinical cases of myositis, tumours and post-traumatic changes in the masticatory muscles. This will improve the accuracy of diagnostics and efficacy of therapy.

Keywords: dog, computed tomography scanning, pathology, diagnostics, masticatory muscles, anatomical structure, macroscopic anatomy sections

Declaration of Compliance with the Principles of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes: the authors declare that all research was conducted in compliance with the principles of the Convention and the Rules of good laboratory practice.

For Citation. Nikolaeva EA, Nikolaeva NA, Kartashov SN, Krikunova AA. Using Computed Tomography Scanning for Diagnosing Masticatory Muscle Pathologies in Dogs. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):35–42. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-35-42>

Введение. Жевательные мышцы являются основным участником жевательного аппарата собак, обеспечивая нормальную работу челюстей и измельчение корма. Дисфункция жевательных мышц, вызванная травмами, врожденными патологиями или воспалительными процессами, существенно снижает качество жизни животного. Одной из наиболее часто встречающихся патологий является миозит жевательных мышц (masticatory muscle

myositis) — иммуноопосредованное заболевание, при котором развивается воспаление и последующая атрофия жевательной мускулатуры [1]. Чаще всего оно диагностируется у собак крупных пород, таких как немецкие овчарки, лабрадоры, боксёры и золотистые ретриверы, преимущественно в возрасте от 2 до 5 лет [2]. Согласно исследованиям, распространённость данной патологии со-

ставляет до 0,5 % среди всех обращений по поводу заболеваний головы у собак [3]. Также нередки случаи новообразований, травм, фиброзных изменений и абсцессов, поражающих мышцы головы.

Традиционные методы диагностики, такие как рентгенография и УЗИ, не позволяют детально визуализировать структуру и топографию жевательных мышц, в то время как с помощью компьютерной томографии (КТ) можно в высоком разрешении оценить форму, объём и плотностные характеристики мышц, а также выявить патологические очаги воспаления, некроза, миозитов и новообразований даже на ранних стадиях [4]. Кроме того, анатомические особенности жевательной мускулатуры различаются в зависимости от породы и индивидуальных характеристик животного, и это необходимо учитывать при планировании хирургических вмешательств или таких диагностических процедур, как биопсия, и для этого опять-таки лучше всего подходит КТ, при условии грамотной интерпретации полученных снимков [5]. Тем не менее на сегодняшний день КТ недостаточно широко применяется для диагностики патологий жевательных мышц ветеринарных пациентов.

Цель исследования — провести компьютерную томографию жевательных мышц у собак и осуществить сравнительный анализ топографии и морфологии жевательных мышц по данным КТ и макроанатомических срезов для уточнения соответствия КТ-изображений реальной анатомической структуре и оценки диагностических возможностей метода. Исследование ориентировано на ветеринарных специалистов, желающих усовершенствовать навыки работы с томограммами при диагностике воспалительных, травматических и опухолевых процессов в голове животных.

Материалы и методы. Исследование проведено на базе ветеринарной клиники «ВитаВет», а также в анатомическом театре Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону) в период с ноября 2023 г. по март 2024 г. Объектом исследования послужили собаки средних размеров (2 метиса и 1 корги), возрастом от 2 до 5 лет, массой тела от 15 до 30 кг. Пол животных — 2 самца, 1 самка. У животных, участвующих в исследовании, не было клинически подтвержденных патологий жевательных мышц.

Для проведения компьютерной томографии использовали аппарат GE Revolution ACT (General Electric, Китай). Применяемые показатели:

- мощность — 120 кВ при 100–120 мА,
- расстояние от трубки до центра исследуемого объекта — 75 см,
- шаг сканирования — 0,625 мм,
- количество сканов — 761–1522.

Обработка сканов проводилась в программе *Inobitec DICOM Viewer* (ООО «Инобитек», Россия).

Контрастирование проводилось препаратом Омнипак 350 мг йода/мл — 100 мл с расчетом 3 мл/кг животного, скорость введения 2 мл/с. ROI (англ. region of interest — зона интереса) для определения захвата контрастирующего препарата выставлялась в области диафрагмы. Были проведены 3 фазы сканирования: артериальная, венозная и отсроченная. Задержка сканирования в артериальную фазу составила не более 3 с; в венозную — 15 с сразу после проведения артериальной фазы; в отсроченную — 180 с после окончания венозной фазы.

После КТ животные были подвергнуты эвтаназии и заморожены при температуре -20 °C в течение 7 суток в морозильной камере с постоянным мониторингом температуры (ОАО «Бирюса», Россия). Данный температурный режим выбран на основании методики «ледяной анатомии» Н.И. Пирогова, позволяющей сохранить анатомические структуры в естественном виде и минимизировать деформацию мягких тканей при распиле.

Для получения макроанатомических спилов применяли циркулярный распилочный станок, обеспечивающий строго аксиальные срезы (Festool, Германия). Каждый срез был пронумерован от головы до хвоста. Необходимые срезы были использованы для сравнительного анализа с КТ-изображениями на аксиальных и сагиттальных проекциях данных структур, остальные срезы заморожены для дальнейших исследований.

Результаты исследования. На основании компьютерной томографии и исследования макроанатомических спилов были подробно описаны анатомические и морфологические характеристики следующих мышц у собак:

1. Большая жевательная мышца (*musculus masseter*) (рис. 1а): характеризуется мощной, выраженной моногиперистой структурой и сложной иннервацией (жевательный нерв — *nervus massetericus*), позволяющей поднимать нижнюю челюсть и перемещать её вперёд. КТ выявила чёткое разделение глубоких (*pars profunda*) и поверхностных (*pars superficialis*) частей мышцы, а также их взаимосвязь с окружающими структурами, что особенно важно при оценке травм и опухолевых процессов [6]. При сопоставлении аксиальных КТ-срезов и макроанатомических спилов выявлено хорошее соответствие контуров и общей топографии: очертания и положение отделов совпадают, что подтверждается фотоматериалом. Единственное систематическое расхождение — небольшое уменьшение толщины отдельных участков на спилах, вероятно, связанное с усадкой мягких тканей при замораживании и техническими особенностями распила.

2. Височная мышца (*musculus temporalis*) (рис. 1б): её веерообразная форма обеспечивает точный контроль движений челюсти, включая смыкание и латеральное смещение. КТ-изображения позволяют детально визуализировать направления мышечных воло-

кон (передние волокна идут вертикально вверх, средние — наискось вниз, а задние — горизонтально вниз), что критично для диагностики фиброзов и воспалительных процессов [1, 7, 8]. Иннервация осуществляется нижнечелюстной ветвью тройничного нерва, в частности, мышца снабжается глубокими височными нервами. Сопоставление с макроанатомическими спилами показало, что положение и форма височной мышцы на КТ в целом соответствуют анатомическому материалу, при этом на КТ лучше различимы границы между её частями в глубинных отделах. Замораживание и механика распила в некоторых случаях приводили к локальной деформации краевых участков мышцы на спилах, что объясняет незначительные отличия в локальной толщине.

3. Крыловидные мышцы (*musculus pterygoideus*): размещаются на противоположной стороне от большой жевательной мышцы, включают в себя 2 части:

— медиальная крыловидная мышца (*m. pterygoideus medialis*) (рис. 1 в): прикрепляется вдоль свободного края крыловой ямки нижнечелюстной кости от сосудистой вырезки до угла нижней челюсти. Направление мышечных волокон — каудовентральное. Медиальная часть крыловидной мышцы участвует в подъёме и выдвижении челюсти [9–11]. Макросрез подтвердил анатомическое место прикрепления и направление воло-

кон (каудовентральное). В отличие от более поверхностных мышц, у медиальной крыловидной иногда отмечалась меньшая контрастность на КТ за счёт близости к костным структурам, но пространственные соотношения с соседними тканями (нижнечелюстной костью, сосудисто-нервными пучками) были воспроизведены достоверно. Для клинической практики это означает, что КТ адекватно отражает топографию медиальной крыловидной мышцы и может использоваться при планировании вмешательств в области крыловой ямки;

— латеральная крыловидная мышца (*m. pterygoideus lateralis*) (рис. 2): толстая, прикрепляется вдоль заднего края нижней челюсти. Волокна имеют каудальное направление. Латеральная мышца участвует в движении нижней челюсти вперёд. КТ выявляет высокую вариативность в строении этих мышц у разных пород, что необходимо учитывать при планировании хирургических вмешательств [12–14]. В нашем сравнении КТ-срезов и макроспилов общая топография крыловидных мышц совпадает, однако на КТ наблюдается меньшее контрастирование тонких фасциальных прослоек и более сложная граница между частями, особенно у латеральной мышцы. На спилах эти мышцы выглядят более выраженными по отношению к костным ориентирам, что частично объясняется эффектом сжатия/смещения при распиле.

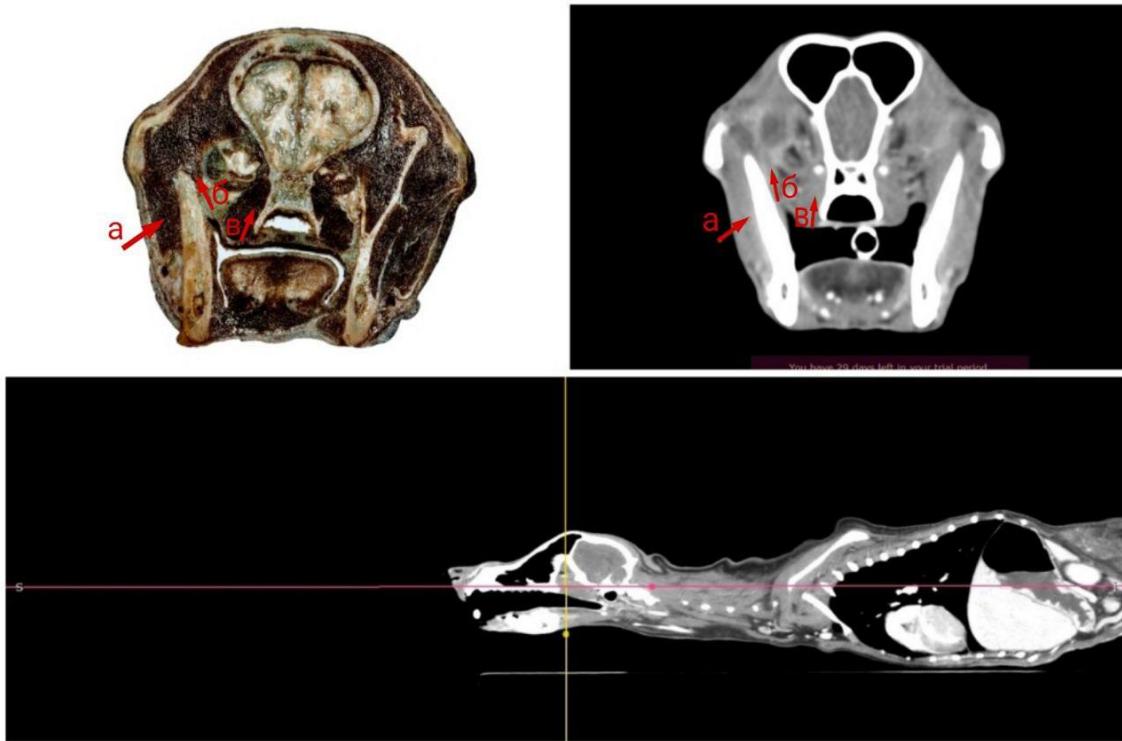


Рис. 1. Жевательные мышцы у собак: а — большая жевательная мышца; б — височная мышца; в — медиальная крыловидная мышца

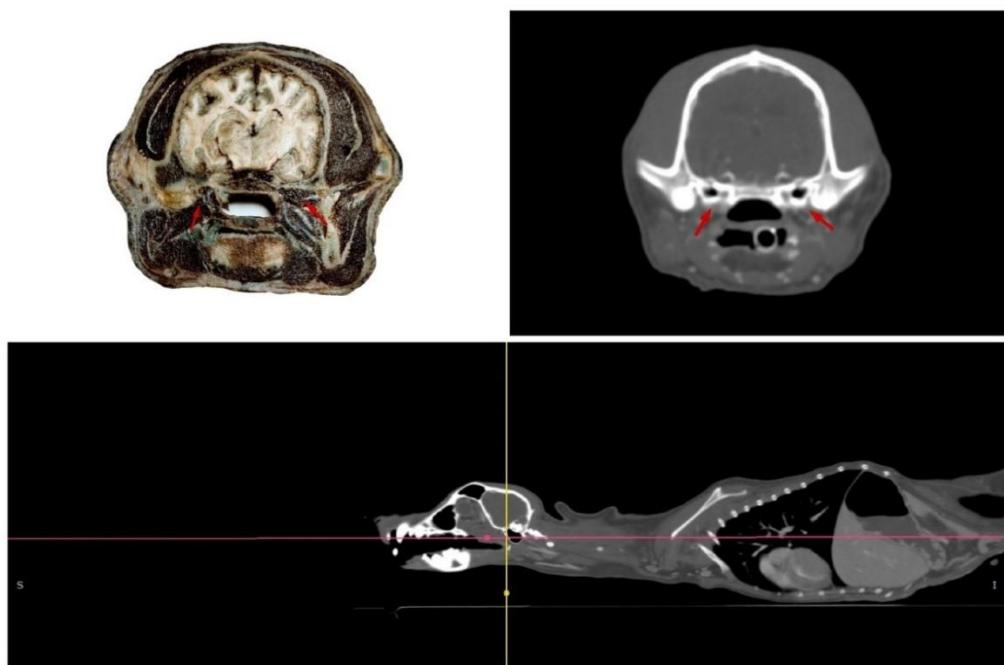


Рис. 2. Латеральная крыловидная мышца у собак

4. Двубрюшная мышца (*musculus digastricus*) (рис. 3): имеет тонкую, веретенообразную форму, состоит из одного брюшка. Иннервация происходит ветвями тройничного (*nervus trigeminus*) и лицевого (*nervus facialis*) нервов. Отвечает за опускание челюсти и её латеральное смещение [6, 9, 10]. Двубрюшная мышца на КТ в наших материалах визуализировалась как тонкая веретенообразная структура; на аксиальных

срезах удавалось отграничить её от прилегающих тканей при достаточном разрешении. Сопоставление с макроанатомическими спилами подтвердило положение и ориентацию мышцы, при этом на КТ легче выявлялись участки повышенной плотности, которые в анатомическом материале коррелировали с зонами фиброза или локальной изменённой консистенции.

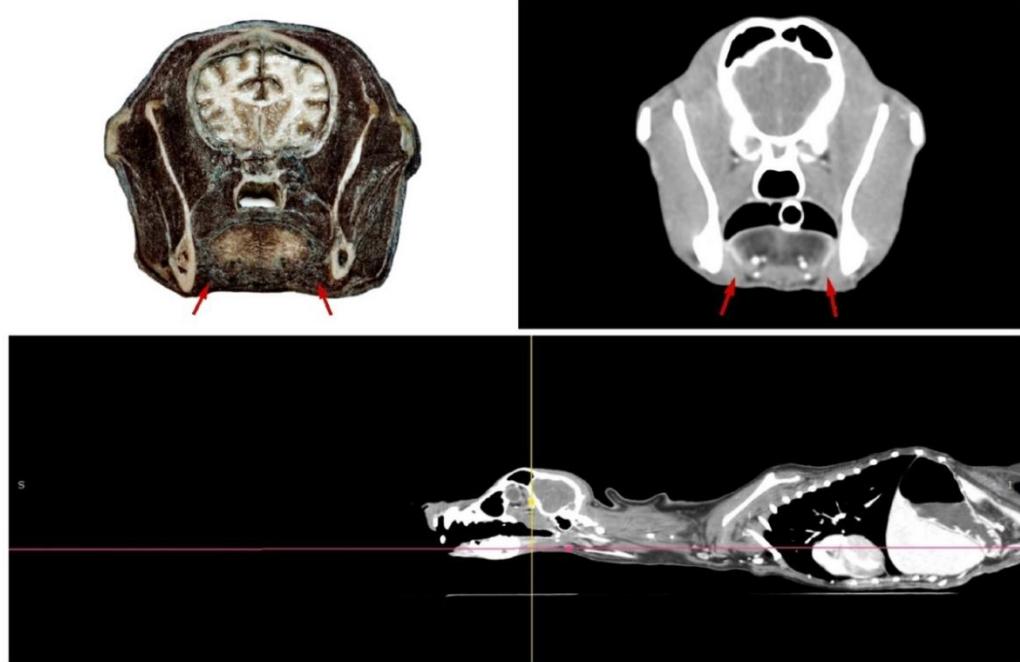


Рис. 3. Двубрюшная мышца у собак

Обсуждение и заключение. Сопоставление аксиальных и сагиттальных КТ-срезов с макроанатомическими спилами в нашем материале выявило высокую степень соответствия топографических ориентиров и контуров большинства жевательных мышц. Основные отличия связаны не с ошибками визуализации КТ, а с техническими факторами (замораживание, усадка тканей, механика распила). Полученные данные подтверждают, что КТ достоверно отражает послойное строение жевательной мускулатуры и является предпочтительным методом визуализации, поскольку традиционные методы диагностики патологий крыловидных и большой жевательной мышц, такие как клинический осмотр (пальпация) и рентгенография, затруднены и не дают полной картины состояния этих мышц [12, 15, 16].

Компьютерная томография — это мощный и перспективный инструмент для диагностики патологий жевательных мышц у собак, который способен:

- визуализировать мелкие изменения в мышечных волокнах, включая микроскопические разрывы, которые не удается обнаружить при рентгенографии; а также кровоизлияния (гематомы), инородные тела, застрявшие в жевательных мышцах, миозиты, абсцессы (скопления гноя в мышечной ткани) и др. [17–19];

- выявить начальные стадии воспалительных процессов и новообразований, дифференцировав их по характеру, благодаря использованию контрастных препаратов: контрастное вещество, которое вводится перед проведением КТ, распределяется из кровеносного русла в мягкие ткани, и визуализация новообразований становится более четкой даже на ранних стадиях. Процент вымывания контраста помогает определить природу опухоли — доброкачественная или злокачественная [17];

- обеспечить лучшее понимание топографического расположения мышц благодаря использованию 3D-моделей, построенных на основе КТ-данных, что особенно важно при планировании хирургических операций [14–16];

- при необходимости отбора гистологического или цитологического материала позволяет с лёгкостью взять пункцию, благодаря пониманию расположения предполагаемого новообразования в жевательных мышцах [20–22].

Список литературы / References

1. Shelton GD, Cardinet GH 3rd, Bandman E. Canine Masticatory Muscle Disorders: A Study of 29 Cases. *Muscle Nerve*. 1987;10(8):753–66. <https://doi.org/10.1002/mus.880100812>
 2. Reiter AM, Schwarz T. Computed Tomographic Appearance of Masticatory Myositis in Dogs: 7 cases (1999–2006). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2007;231(6):924–930. <https://doi.org/10.2460/javma.231.6.924>
 3. Fink L, Lewis JR, Reiter AM. Biopsy of the Temporal and Masseter Muscles in the Dog. *Journal of Veterinary Dentistry*. 2013;30(4):276–280. <https://doi.org/10.1177/089875641303000414>
 4. Меликова Ю.М., Кузнецова Т.Н. *Применение КТ в онкологии мелких домашних животных: руководство для ветеринарных врачей*. Москва: ВетИздат; 2022. 144 с.
- Melikova YuM, Kuznetsova TN. *Use of CT in Oncology in Small Domestic Animals: A Guide for Veterinarians*. Moscow: VetIzdat; 2022. 144 p. (In Russ.)

Таким образом, КТ-диагностика позволяет не только выявлять патологии на ранних стадиях, определять количество, масштабы, месторасположение и интенсивность морфологических изменений, отображающих степень вовлеченности мышц в патологический процесс, но и планировать лечебные мероприятия с высокой степенью эффективности.

Тем не менее полученные результаты следует рассматривать с учётом ряда ограничений. Во-первых, исследование проводилось на небольшом количестве животных ($n=3$), что ограничивает возможность статистической обработки данных и распространения результатов на все породы собак. Во-вторых, объекты исследования представляли собой животных преимущественно среднего возраста и размеров, что не позволяет в полной мере учитывать анатомические различия между миниатюрными и крупными породами. В-третьих, для проведения макроанатомических спилов использовались трупы без клинически подтверждённых патологий, что не даёт возможности оценить спектр изменений при конкретных заболеваниях в живом организме. Следует также отметить и ограничения самого метода: несмотря на высокое пространственное разрешение, КТ имеет ограничения при оценке мягкотканых структур, особенно при отсутствии контрастного усиления. Дифференциация между воспалительными и неопластическими изменениями в некоторых случаях требует дополнительного применения МРТ или гистологического анализа. Существенную роль играет и субъективный фактор — квалификация специалиста, интерпретирующего томограммы.

Таким образом, перспективы дальнейших исследований связаны с расширением выборки животных различных пород и возрастных групп, а также с включением клинических случаев миозитов, опухолей и посттравматических изменений жевательных мышц. В дальнейшем, на наш взгляд, целесообразно проведение сравнительных исследований КТ и МРТ, а также разработка стандартов томографической оценки состояния жевательной мускулатуры у собак с учётом породы и возраста. Это позволит повысить точность диагностики и эффективность лечебных мероприятий.

5. Bishop TM, Glass EN, De Lahunta A, Shelton GD. Imaging Diagnosis—Masticatory Muscle Myositis in a Young Dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2008;49(3):270–272. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2008.00364.x>
6. Акаевский А.И. *Анатомия домашних животных*. Изд. 2-е, испр. и доп. Москва: Колос; 1968. 608 с.
- Akaevsky AI. *Anatomy of Domestic Animals. 2nd Ed., Corrected and Enlarged*. Moscow: Kolos; 1968. 608 p. (In Russ.)
7. Юдичев Ю.Ф., Дегтярев В.В., Хонин Г.А. *Анатомия животных в 2 Т.: Т. 1. Введение в анатомию. Остеология. Артрапология. Миология. Общий покров*. Оренбург: Издательский центр ОГАУ; 2013. 298 с.
- Yudichev YuF, Degtyarev VV, Khonin GA. Animal Anatomy in 2 Volumes: Volume 1. *Introduction to Anatomy. Osteology. Arthrology. Myology. General Cover*. Orenburg: OSAU Publ.; 2013. 298 p. (In Russ.)
8. Done SH, Goody P, Evans SA, Sticklan NC. *Color Atlas of Veterinary Anatomy, Volume 3 – The Dog and Cat. 2nd Edition*. EU:Link Publ; 2009. 540p.
9. Popesko P. *Atlas of Topographical Anatomy of the Domestic Animals: Volume I–III, 6th Edition*. W.B. Saunders; 1990. 610 p.
10. Budras KD, McCarthy PH, Fricke W, Richter R, Horowitz A, Berg R. *Anatomy of the Dog: An Illustrated Text, 5th Revised Edition*. Schluetersche; 2010. 224 p.
11. Fink L, Lewis JR, Reiter AM. Biopsy of the Temporal and Masseter Muscles in the Dog. *Journal of Veterinary Dentistry*. 2013;30(4):276–280. <https://doi.org/10.1177/089875641303000414>
12. Gil F, Arencibia A, García Verónica, Ramírez G, Vázquez JM. Anatomic and Magnetic Resonance Imaging Features of the Salivary Glands in the Dog. *Anatomia, Histología, Embriología*. 2018;47(6):551–559. <https://doi.org/10.1111/ahe.12396>
13. Лепилин А.В., Коннов В.В., Багарян Е.А., Батусов Н.А. Функциональное состояние жевательных мышц у пациентов с переломами нижней челюсти. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2012;(8)1:108–111.
- Lepilin AV, Konnov VV, Bagaryan EA, Batusov NA. Functioning of Masticatory Muscles in Patients with Fractures of Lower Jaw. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2012;(8)1:108–111. (In Russ.)
14. Cray MT, Spector DI, West CL. Acute Masticatory Muscle Compartmental Syndrome in a Dog. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2018;253(5):606–610.
15. Reiter AM, Schwarz T. Computed Tomographic Appearance of Masticatory Myositis in Dogs: 7 Cases (1999–2006). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2007;231(6):924–930. <https://doi.org/10.2460/javma.231.6.924>
16. Dennis R, Kirberger RM, Barr FJ, Wrigley RH. *Handbook of Small Animal Radiology and Ultrasound: Techniques and Differential Diagnoses. 2nd Edition*. Elsevier Ltd. 2010. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-43690-0>
17. Di Tosto M, Callegari C, Matiasek K, Lacava G, Salvatore G, Declara SM, et al. Case Report: Atypical and Chronic Masticatory Muscle Myositis in a 5-Month-Old Cavalier King Charles Spaniel. Clinical and Diagnostic Findings, Treatment and Successful Outcome. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.955758>
18. Czerwinski SL, Plummer CE, Greenberg SM, Craft WF, Conway JA, Perez ML, et al. Dynamic Exophthalmos and Lateral Strabismus in a Dog Caused by Masticatory Muscle Myositis. *Veterinary Ophthalmology*. 2015;18(6):515–520. <https://doi.org/10.1111/vop.12260>
19. Liatis T, Madden M, Marioni-Henry Katia. Bruxism in Awake Dogs as a Clinical Sign of Forebrain Disease: 4 Cases. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2022;36(6):2132–2141. <https://doi.org/10.1111/jvim.16570>
20. Слесаренко Н.А., Бабичев Н.В., Дурткаринов Е.С., Капустин Ф.Р. Анатомия собаки. Соматические системы. Учебник. ЭБС «Лань». 2003. 96 с.
- Slesarenko NA, Babichev NV, Durtkarinov ES, Kapustin FR. *Anatomy of the Dog. Somatic Systems. Textbook*. Electronic Library System “Lan”. 2003. 96 p. (In Russ.)
21. Сидоренко Р.А., Захаркин И.А., Сидоренко А.Н.” Тарасова Т.В., Аванесов А.М. Морфологическая оценка жевательных мышц у экспериментальных животных при ограничении движений нижней челюсти. *Здоровье и образование в XXI веке*. 2017;19(8):177–180.
- Sidorenko RA, Zakharkin IA, Sidorenko AN, Tarasova TV, Avanesov AM. Morphological Assessmen of Masseters with the Experimental Animals when Restricting the Movements of a Mandible. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke (Health and Education in the 21st Century)*. 2017;19(8):177–180. (In Russ.)
22. Сидоренко Р.А., Захаркин И.А., Сидоренко А.Н., Тарасова Т.В., Старченко Т.П., Нечаева С.Е. Оценка морфологических изменений в височно-нижнечелюстных суставах у экспериментальных животных при моделировании фиброзного анкилоза и влиянии на них транскраниальной электростимуляции. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2016;1(156):130–133.
- Sidorenko RA, Zakharkin IA, Sidorenko AN, Tarasova TV, Starchenko TP, Nechaeva SE. Evaluation Morphological Changes in Temporo-Mandibular Joints with Experimental Animals in the Process of Modeling Fibrous Ankylosis and the Impact of Transcranial Electric Stimulation on Them. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2016;1(156):130–133. (In Russ.)

Об авторах:

Екатерина Андреевна Николаева, студент кафедры биологии и общей патологии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), katrinnik000@gmail.com

Надежда Андреевна Николаева, студент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), blatetwo@gmail.com

Сергей Николаевич Карташов, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии и общей патологии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), kartashovsn@gmail.com

Anastasija Anatol'evna Krikunova, преподаватель кафедры биологии и общей патологии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), [SPIN-код](#), [Scopus ID](#), akrikunova@donstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Е.А. Николаева: сбор данных, обработка полученных результатов, подготовка соответствующего фрагмента текста, поиск литературы.

Н.А. Николаева: подготовка обзора современных исследований, поиск литературы, подготовка соответствующего фрагмента текста.

С.Н. Карташов: сбор данных от животных, научное руководство, обработка полученных результатов.

А.А. Крикунова: сбор данных, поиск литературы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Ekaterina A. Nikolaeva, Student of the Biology and General Pathology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), katrinnik000@gmail.com

Nadezhda A. Nikolaeva, Student of the Software for Computer Engineering and Automated Systems Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), blatetwo@gmail.com

Sergey N. Kartashov, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Biology and General Pathology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), kartashovsn@gmail.com

Anastasia A. Krikunova, Lecturer of the Biology and General Pathology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Scopus ID](#), akrikunova@donstu.ru

Claimed Contributorship:

EA Nikolaeva: data collection, processing the obtained results, preparing the respective text fragment, and literature search.

NA Nikolaeva: preparing a review of current research, literature search, and preparing the respective text fragment.

SN Kartashov: collecting data from animals, scientific supervision, and processing the obtained results.

AA Krikunova: data collection, literature search.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 26.08.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 24.09.2025

Принята к публикации / Accepted 28.09.2025

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК: 599.323.5;575.854;615.099

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-43-54>

Оригинальное эмпирическое исследование



EDN: KCVVUX

Исследование морфофункционального состояния легких и центральных органов детоксикации джунгарских хомячков (*Phodopus sungorus*) при длительном воздействии аэрозоля электронных сигарет

А.В. Сахаров¹, В.И. Бырдина¹, П.А. Задубровский^{1,2}, И.В. Задубровская^{1,2}✉, О.Ф. Потапова², Е.Ю. Кондратюк³, С.С. Бондаренко⁴, Е.А. Новиков^{2,5}

¹Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

²Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

³Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал ФГБНУ «ФИЦ ИЦиГ СО РАН», г. Новосибирск, Российская Федерация

⁴Санкт-Петербургский государственный технологический институт, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁵Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ inna_zadubrovskaya@mail.ru

Аннотация

Введение. Многокомпонентный состав жидкостей для электронных систем доставки никотина (ЭСДН) представляет большую опасность для экологии, так как содержит чрезвычайно токсичные вещества. Несмотря на растущую популярность этого вида курения, данных о биологических эффектах длительного влияния состава электронных сигарет и вейпов на организм животных и человека недостаточно. Цель настоящей работы — исследовать морфофункциональное состояние легких и центральных органов детоксикации джунгарских хомячков при длительном воздействии аэрозоля ЭСДН.

Материалы и методы. Работа выполнена в 2021 г. на лабораторной колонии джунгарского хомячка, содержащейся на базе ИСиЭЖ СО РАН. 36 хомячков разделили на две группы. Животных опытной группы (10 самок и 10 самцов) в течение 80 дней подвергали воздействию пара, полученного при нагревании жидкости X-3 Yoghurt Pear. Процедуру проводили каждый день в течение 10 мин, по 2 раза с интервалом в 2 ч. Хомячков контрольной группы (8 самцов и 8 самок) помещали в затравочные камеры, но не подвергали воздействию пара. По завершении 80 дней эксперимента производили декапитацию животных и забор органов для изготовления микросрезов. Обзорные препараты окрашивали гематоксилином Бемера и эозином. Распределение коллагена определяли по методу Маллори. Гистологические препараты органов изучали в проходящем свете с помощью микроскопа.

Результаты исследования. У животных опытной группы в результате экспозиции токсичным паром выявлено наличие гомогенного вещества черного цвета среди клеток эпителия бронхов и в интерстиции альвеолярных мешочек. В паренхиме легкого обнаружены признаки развивающейся интерстициальной пневмонии, ателектаза и эмфиземы, обструктивного бронхита, что свидетельствует о нарушении вентиляционно-перфузионных отношений в легочной ткани и газообмена. В почках локализация гомогенного вещества отмечена в просвете канальцев нефрона. На светооптическом уровне основные признаки летального повреждения характерны для клеток нефротелия. Ярко выраженная дилатация капилляров почечного клубочка в совокупности со снижением площади почечных телец практически в 2 раза, по сравнению с контрольными образцами, указывает на нарушение гемодинамики и реабсорбционно-фильтрационной функции почек. В печени высокий уровень локализации гибнущих апоптозом темных гепатоцитов центролобулярной зоны дольки, эволюционно приспособленных к детоксикации, указывает на причастность к этому процессу токсических веществ, поступающих в печень с кровью.

Обсуждение и заключение. В ходе эксперимента доказано общепатогенное воздействие аэрозоля ЭСДН на легкие и органы детоксикации животных при длительном применении. Подобные исследования необходимы в условиях наблюдающегося роста потребления данных средств доставки никотина на мировом рынке.

Ключевые слова: электронные системы доставки никотина, ЭСДН, аэрозоль электронных сигарет, вейпы, джунгарские хомячки, длительное воздействие, морфофункциональные изменения, лёгкие и органы детоксикации, почечная недостаточность, апоптоз гепатоцитов

Декларация о соблюдении принципов Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей: авторы заявляют, что все проведенные исследования соответствовали принципам конвенции и правилам надлежащей лабораторной практики.

Благодарности. Выражаем благодарность за помощь в подготовке статьи студентам НГПУ Токаревой Дарье, Толстовой Дарье, Зезюлиной Екатерине.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Федеральной программы фундаментальных научных исследований на 2021–2025 гг. FWGS -2021-0003.

Для цитирования. Сахаров А.В., Бырдина В.И., Задубровский П.А., Задубровская И.В., Потапова О.Ф., Кондратюк Е.Ю., Бондаренко С.С., Новиков Е.А. Исследование морфофункционального состояния легких и центральных органов детоксикации джунгарских хомячков (*Phodopus sungorus*) при длительном воздействии аэрозоля электронных сигарет. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):43–54. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-43-54>

Original Empirical Research

A Study on Morphofunctional State of Djungarian Hamster (*Phodopus Sungorus*) Lungs and Main Organs of Detoxification under Long-Term Exposure to E-Cigarette Aerosol

Andrey V. Sakharov¹ , Vitalina I. Byrdina¹ , Pavel A. Zadubrovsky^{1,2} , Inna V. Zadubrovskaya^{1,2} ✉, Olga F. Potapova² , Ekaterina Yu. Kondratyuk³ , Sergey S. Bondarenko⁴, Evgeny A. Novikov^{2,5} 

¹Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation

²Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

³Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

⁴Saint Petersburg State Institute of Technology, Saint Petersburg, Russian Federation

⁵Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation

✉ inna_zadubrovskaya@mail.ru

Abstract

Introduction. The liquids of electronic nicotine delivery systems (ENDS), which have the multi-component composition, represent a major environmental hazard, as they contain extremely toxic substances. Although the popularity of this form of smoking grows, the data on the biological effects of long-term exposure of animals and humans to e-cigarette and vape components are insufficient. The aim of the present study is to investigate the morphofunctional state of the lungs and main organs of detoxification in Djungarian hamsters under long-term exposure to ENDS aerosol.

Materials and Methods. The research was conducted in 2021 in the colony of laboratory Djungarian hamsters kept at the Institute of Systematics and Ecology of Animals SA RAS. Thirty-six hamsters were divided into two groups. During 80 days, animals in the experimental group (10 females and 10 males) were exposed to vapour from heating the X-3 Yoghurt Pear liquid. The procedure was performed twice a day for 10 minutes, with a 2-hour interval. Hamsters in the control group (8 males and 8 females) were placed in exposure chambers but were not exposed to vapour. At the end of the 80-day experiment, the animals were decapitated, and organs were collected for preparing thin histological sections. The specimens were stained with Boehmer's hematoxylin and eosin. Collagen distribution was determined using the Mallory method. Histological specimens of organs were examined under transmission light microscope

Results. In experimental animals exposed to toxic vapour, a homogeneous black substance was detected in bronchial epithelial cells and in the alveolar interstitium. In the lung parenchyma, signs of developing interstitial pneumonia, atelectasis, emphysema, and obstructive bronchitis were detected, indicating impaired ventilation-perfusion relationships in the lung tissue and gas exchange disorder. In the kidneys, the homogeneous substance was localized in the lumen of renal tubules. Light optical microscopy revealed the main signs of lethal damage in renal epithelial cells. Strongly expressed dilation of the renal glomerular capillaries, coupled with a nearly 2-fold reduction in the surface area of renal corpuscles compared to control samples, indicates impaired hemodynamics and disrupted renal reabsorption-filtration function. Regarding the liver, a high level of localization of evolutionarily adapted to detoxification dark hepatocytes dying by apoptosis in the centrilobular region of the lobule, indicates the involvement of toxic substances in this process, which enter the liver with the blood.

Discussion and Conclusion. The experiment demonstrated the general pathogenic effects of ENDS aerosol on the lungs and organs of detoxification in animals after long-term exposure to it. Such studies are necessary in the context of the observed growth of consumption of the nicotine delivery systems at the global market.

Keywords: electronic nicotine delivery systems, ENDS, e-cigarette aerosol, vapes, Djungarian hamsters, long-term exposure, morphofunctional changes, lungs and organs of detoxification, renal failure, hepatocyte apoptosis

Declaration on Compliance with the Principles of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes: the authors declare that all research was conducted in compliance with the principles of Good Laboratory Practice.

Acknowledgements. We would like to express our gratitude to the students of Novosibirsk State Pedagogical University: Daria Tokareva, Daria Tolstova, and Ekaterina Zezulina for their assistance in preparing the article.

Funding. The work was carried out in the frame of the Federal Program for Fundamental Scientific Research for 2021–2025 FWGS-2021-0003.

For Citation. Sakharov AV, Byrdina VI, Zadubrovsky PA, Zadubrovskaya IV, Potapova OF, Kondratyuk EYu, Bondarenko SS, Novikov EA. A Study on Morphofunctional State of Djungarian Hamster (*Phodopus Sungorus*) Lungs and Main Organs of Detoxification under Long-Term Exposure to E-Cigarette Aerosol. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):43–54. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-43-54>

Введение. Электронные системы доставки никотина (ЭСДН) впервые в широком доступе появились в 2006 г. на территории Европы и приобрели статус самой популярной альтернативы обычным сигаретам [1–6], особенно среди молодых людей и подростков от 14 лет [1, 7–10]. Основную опасность для экологии представляет многокомпонентный состав жидкостей для электронных сигарет (ЭС), насчитывающий более 30 токсичных химических веществ, среди которых карбонильные соединения (альдегиды, кетоны), металлы, пропиленгликоль, глицерин [11–16]. При этом карбонильные соединения представлены чрезвычайно токсичными веществами, такими как акролеин (максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе 0,03 мг/м³) и формальдегид (ПДК 0,05 мг/м³), которые, как минимум, являются раздражителями слизистой оболочки внутренних органов [17]. Акролеин также вызывает мутагенез у бактерий и дрожжей, проявляет мутагенные свойства на культурах клеток млекопитающих, снижает активность некоторых компонентов иммунной защиты [18].

Исследования влияния двух обязательных составляющих ЭСДН – пропиленгликоля и глицерина — показывают, что пропиленгликоль, попадая в альвеолы в виде аэрозоля, способствует разрушению сурфактанта, обеспечивающего растяжимость легкого и препятствующего слипанию легочной ткани. Данное воздействие приводит к спаданию ткани (ателектазу), а соседние участки подвергаются компенсаторному перерастяжению, вызывая эмфизему. Также пропиленгликоль рассматривается как стимулирующий фактор при формировании плоскоклеточной метаплазии гортани. При вдыхании же паров глицерина у крыс наблюдали метаплазию эпителия надгортанника [19]. Также известно, что при нагревании глицерина в электронной сигарете

до 500 °C, он трансформируется в акролеин, о котором упомянуто выше.

Кроме основных составляющих в ЭСДН представлены ароматизаторы в ассортименте. Общепризнанный безопасный список (GRAS) включает ароматизаторы для проглатывания, однако исследования по вдыханию аэрозолей, содержащих такие вещества, немногочисленны. Например, доказано, что вдыхание диацетила, содержащегося в жидкости, вызывает облитерирующий бронхиолит — так называемую «попкорновую болезнь легких» (феномен был выявлен в начале 2000-х в связи с массовыми заболеваниями работников фабрик по изготовлению попкорна) [20]. На некоторых предприятиях диацетил заменили на ацетилпропионил, однако и тогда исследователям из Национального института охраны труда США (NIOSH) пришлось отметить существенные отклонения в показателях спирометрии работников таких предприятий [21, 22]. В ЭСДН используют эти вещества для придания сигаретам маслянистого или карамельного вкуса, хотя ацетилпропионил имеет доказанную легочную токсичность для млекопитающих. Так, у крыс, подвергшихся его воздействию, развиваются фиброз и некроз тканей дыхательных путей; у мышей отмечали большее сужение бронхов в ингаляционном teste (привокация метахолином) [23]. В целом, несмотря на более чем 7000 вкусов ЭСДН, обусловленных ассортиментом ароматизаторов на рынке [24], опубликовано только три работы, посвященных воздействию ароматизирующих веществ на организм [15, 25, 26].

В литературных источниках можно найти немало информации о влиянии электронных сигарет и вейпов на организм млекопитающих. Например, доказано, что воздействие пара ЭСДН изменяло легочную функцию крыс [27]; снижало проводимость ионных каналов в

клетках бронхиального эпителия овец, а также приводило к гиперконцентрации слизи [28]. В легких крыс зафиксировано значительное увеличение провоспалительных цитокинов [29], а также развитие липоидной пневмонии [30]. Влияние на жизненно важные органы оказывает и опаривание безникотиновой жидкостью, при этом зарегистрировано утолщение межальвеолярных перегородок в легких крыс, заполнение мелких бронхов слизью, закрывающей просвет, замечена лимфоидная инфильтрация в мелких бронхах. В почках зафиксировано троекратное расширение просвета капсул Шумлянского-Боумена, повреждены почечные тельца и эпителий проксимальных канальцев [31]. Отмечено, что среди собак мегаполисов участились бронхиты, пневмонии и онкологические заболевания легких [32]. В ряде работ отмечена гепатотоксичность жидкостей для электронных сигарет в отношении крыс [33]. Однако информация о биологических эффектах длительного использования электронных сигарет и вейпов в научной литературе освещена недостаточно.

Цель настоящей работы — исследовать морфофункциональные изменения легких и центральных органов детоксикации джунгарских хомячков (*Phodopus sungorus*) при длительном воздействии аэрозоля электронных сигарет и вейпов.

Материалы и методы. Исследование проводили в 2021 г. на базе Института систематики и экологии животных Сибирского отделения Российской академии наук и Научно-образовательного центра «Экспериментальная и прикладная биология» ФГБОУ ВО НГПУ (г. Новосибирск). Работа выполнена на лабораторной колонии джунгарского хомячка (*Ph. sungorus*), содержащейся при весеннем фотопериоде (12L/12D), температуре +22 °C в стандартных клетках (26×36×20 см). Экспериментальные животные (n=36) были случайным образом разделены на опытную и контрольную группы: в опытную группу вошли 10 самцов и 10 самок; в контрольную группу — 8 самцов и 8 самок.

В течение 80 дней эксперимента хомячков опытной группы подвергали экспозиции паром, полученным при нагревании жидкости X-3 Yoghurt Pear (производитель PRIDE VAPE, Россия), содержащей глицерин и пропиленгликоль в соотношении 70/30, никотин в дозе 3 мг/мл и ароматизаторы «Йогурт» и «Груша». Экспозиция паром заключалась в двухкратном засасывании пара сигареты с помощью насоса и полном заполнении камеры с интервалом в 5 мин. Спустя 10 мин животных доставали из контейнеров. Процедуру проводили каждый день, по 2 раза с интервалом в 2 ч. Хомячков контрольной группы переносили в комнату для экспериментов, предварительно удалив из помещения воздух с частицами аэрозоля, затем помещали в затравочные камеры без экспозиции паром ЭСДН.

Экспериментальная установка включает контейнер, где животное подвергают экспозиции паром. Для этого использовали пластиковые пищевые контейнеры 10×17×4 см, V 0,7 л, с плотно закрывающейся крышкой. Для оптимизации процесса единовременно использовали два контейнера, соединенных с помощью шлангов (Boutte, Италия), 4 мм. Для нагнетания газа в камеры использовали насос (Intex, Китай), V ~ 1,594 л.

Для изучения морфофункционального состояния легких и центральных органов детоксикации у животных обеих групп после декапитации забирали легкие, почки, печень и фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина. Кусочки тканей данных органов обезвоживали и просветляли согласно протоколу проводки тканей в изопропиловом спирте. Исследуемые образцы заливали в парафиновые блоки и далее на ротационном полуавтоматическом микротоме Slee Medical CUT 5062 (SLEE Medical GmbH, Германия) изготавливали серийные срезы толщиной 6 мкм, которые монтировали на предметные стекла смесью белка и глицерина в пропорции 1:1. Обзорные препараты окрашивали гематоксилином Бемера и эозином. Распределение коллагена определяли по методу Маллори [34].

Гистологические препараты органов изучали в проходящем свете с помощью микроскопа Axio Imager M2 с возможностью анализа изображений AxioVision Z2 M2 (Carl Zeiss, Германия). Съемка изображений осуществлялась CCD-камерой AxioCam HR с программным обеспечением Zen Lite (Carl Zeiss, Германия). На всех снимках отображена масштабная линейка.

Статистическую обработку данных проводили на основе вычисления средних арифметических (x) и их ошибок (Sx). Различия показателей опытных групп по отношению к аналогичным показателям контрольной группы оценивали методом вариационной статистики по t-критерию Стьюдента и считали достоверными при $p \leq 0,05$. Все расчеты проводили по общепринятым формулам с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010.

Результаты исследования. Морфологическая картина паренхимы легкого животных контрольной группы в целом соответствует структуре данного органа в норме (рис. 1 *a, б, в*). На препаратах, окрашенных гематоксилином Бемера и эозином, отчетливо заметны бронхи различного калибра (рис. 1 *a, в*). В крупных бронхах эпителий многорядный, столбчатый (рис. 1 *в*). В просвете идентифицируется слизистый секрет и слабо выраженная десквамация эпителия преимущественно на участке перехода терминальных бронхиол в респираторные. Внутридольковые кровеносные сосуды заполнены плазмой крови. Морфологическая картина альвеол, в том числе клеток эндотелия капилляров, альвеолоцитов 1-го и 2-го типов, а также макрофагов соответствуют норме (рис. 1 *б, в*) [35, 36].

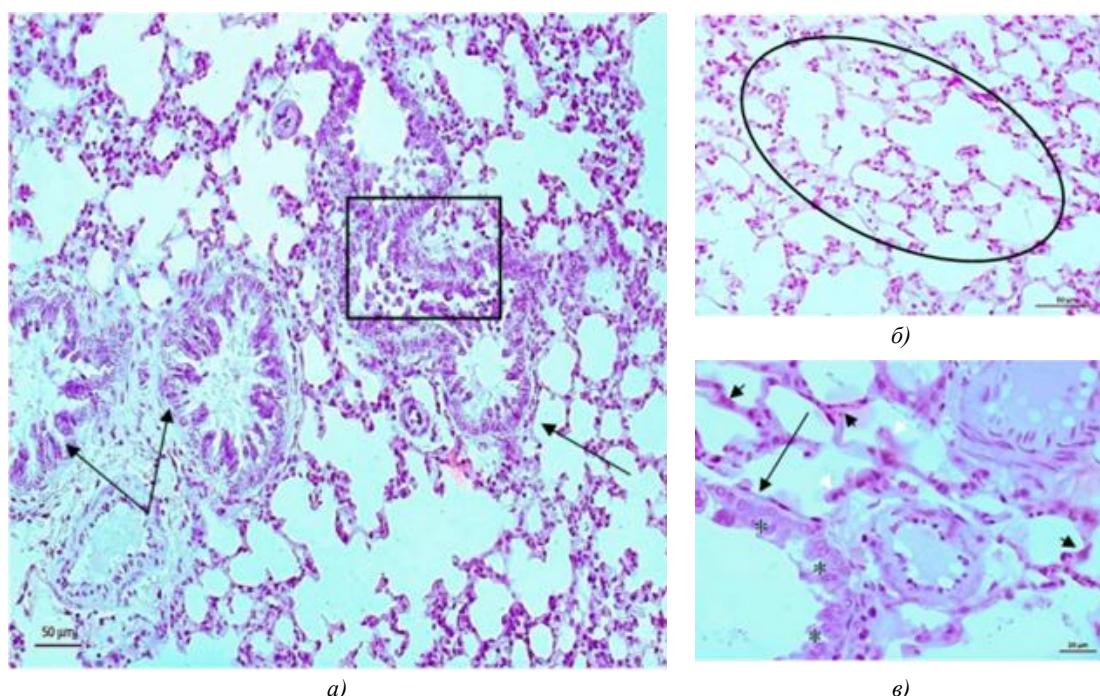


Рис. 1. Образец легкого джунгарского хомячка контрольной группы. Окрашивание гематоксилином Бемера и эозином. Черной стрелкой обозначены бронхи; звездочка — столбчатый эпителий; черная головка стрелки — эпителий альвеол; светлая головка стрелки — макрофаги; овал — альвеолы; квадрат — десквамация эпителия

В исследованных образцах ткани легкого животных опытной группы обнаружены изменения, которые затрагивают паренхиму и интерстиции легкого. На обзорных препаратах заметны очаги ателектаза и эмфиземы (рис. 2 а). В просвете бронхов и бронхиол выявляются комплексы десквамированных эпителиальных клеток (рис. 2 а, б). Эпителий слизистой оболочки теряет многорядное строение. При большом увеличении заметно, что клетки цилиндрического эпителия тянутся реснички. В собственной пластинке слизистой оболочки заметны признаки отека и набухания волокнистых компонентов соединительной ткани. Кровеносные сосуды собственной пластинки чрезмерно расширены, заполнены плазмой и клетками крови. Среди последних идентифицируются лейкоциты (рис. 2 в).

Межальвеолярные перегородки и стенки альвеолярных мешочек утолщены за счет плазматического пропитывания и полнокровия капилляров (рис. 2 а). В просветах альвеол обнаруживаются макрофаги, сегментоядерные нейтрофилы и лимфоциты (рис. 2 в). Типичным признаком образцов легких животных опытной группы является чрезмерное увеличение количества альвеолоцитов 2-го типа (рис. 2 в). Среди эпителиоцитов 1-го типа нередко встречаются клетки с пикнотичными ядрами. Капилляры и венулы полнокровны. Периваскулярная соединительная ткань разрыхлена и отечна. Клетки эндотелия капилляров аль-

веол набухшие. Ядро крупное, как правило, с высоким содержанием гетерохроматина и выбухает в просвет капилляров (рис. 2 г).

Типичным признаком для ткани легкого животных опытной группы является локализация гомогенного вещества черного цвета среди клеток эпителия бронхов и в интерстиции альвеолярных мешочек (рис. 3 а). При проведении гистохимической реакции на коллаген по Маллори обнаруживается интенсивное окрашивание срезов на данный белок в строме на периферии сегментарных, внутрисегментарных и внутридольковых бронхов, артерий и вен легкого. В интерстиции легочной ткани реакция на коллаген умеренная (рис. 3 б, в).

При изучении образцов почек хомячков опытной группы обнаружено статистически значимое снижение всех исследуемых параметров почечных клубочков по сравнению с контролем, что говорит о снижении функциональной активности почки животных, подвергнувшихся экспозиции паром (таблица 1).

Сосуды клубочка чрезмерно расширены, заполнены плазмой и клетками крови. Эндотелиальные и мезангиальные клетки набухшие, эритроциты с признаками сладж-феномена (рис. 4 б, г). Характерным патоморфологическим признаком образцов почек животных опытной группы является высокое содержание клеток нефротелия с признаками их летального повреждения во всех отделах нефrona.

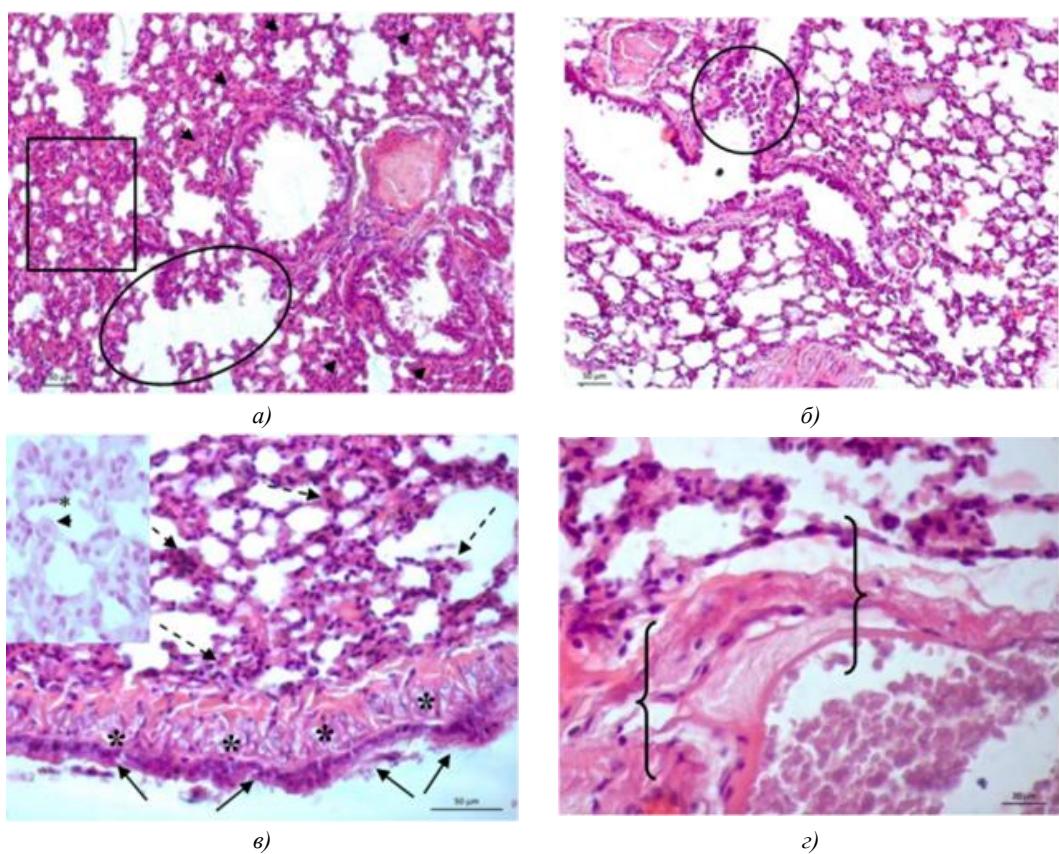


Рис. 2. Образец легкого джунгарского хомячка опытной группы. Окрашивание гематоксилином Бемера и эозином. Овалом обозначен участок эмфиземы; прямоугольник — ателектаза; круг — десквамация эпителия; черная стрелка — эпителий бронха; пунктирная стрелка — лейкоцитарная инфильтрация; головка черной стрелки — плазматическое пропитывание стенок альвеол; звездочка — отек собственной пластинки; фигурная скобка — отек периваскулярной соединительной ткани. 2 в — головкой черной стрелки обозначен альвеолоцит 2-го типа; звездочка — альвеолоцит 1-го типа

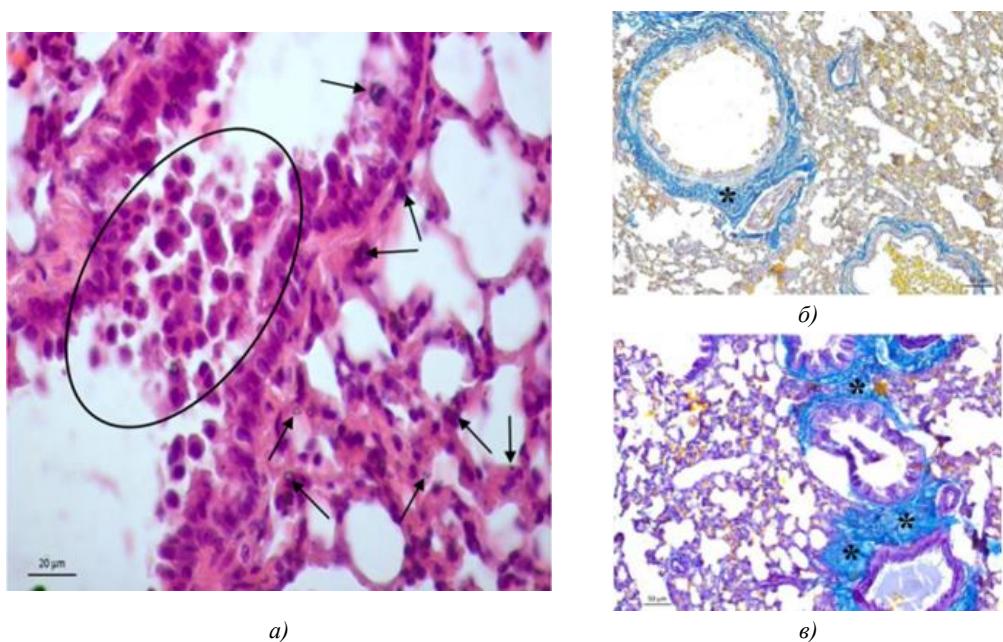


Рис. 3. Образец легкого джунгарского хомячка опытной группы: а — окрашивание гематоксилином Бемера и эозином; б, в — реакция на коллаген по Маллори. Овалом обозначен участок десквамации эпителия; звездочка — положительная реакция на коллаген на периферии сегментарных и внутрисегментарных бронхов; черная стрелка — локализация гомогенного вещества черного цвета

Таблица 1

Морфологическая характеристика структур почечного тельца

Параметры почечных телец	Контрольная группа	Опытная группа
Площадь почечных телец, мкм ²	160,45 ± 1,24	117,95 ± 2,87*
Площадь сосудистого клубочка, мкм ²	131,97 ± 0,12	95,34 ± 0,17*
Площадь мочевого пространства клубочка, мкм ²	45,2 ± 0,21	34,58 ± 0,28*

Примечание: * — значимое различие между показателями контрольной и опытной групп (p ≤ 0,05)

Как правило, цитоплазма гибнущих нефроцитов не окрашивается гематоксилином и эозином, ядро гиперхромное, ядерная мембрана не идентифицируется (рис. 4 а, в). В просвете дистальных и проксимимальных извитых канальцев, а также цитоплазме нефроцитов, заметно мелкогранулярное вещество черного цвета (рис. 4 в). Данный признак особенно ярко проявляется в просвете собирательных трубочек и среди клеток эпителия данного отдела нефрона (рис. 4 в).

На светооптическом уровне гепатоциты центролобуллярной и перипортальной зон дольки печени животных опытной группы различаются по тинкториальным свойствам [37]. Цитоплазма светлых гепатоцитов интенсивно базофильная и заполнена окси菲尔ным материалом (рис. 5 а, б). В образцах препаратов печени хомячков

опытной группы, окрашенных гематоксилином и эозином, отчетливо заметно, что по сравнению с контролем в паренхиме органа преобладают гепатоциты с пикнотичными ядрами (рис. 5 а, в). При детальном изучении препаратов становится очевидным, что такие клетки представляют собой гибнущие апоптозом гепатоциты. Их отличительными характеристиками является пикноз клеток и маргинация хроматина в ядре (рис. 5 б). Преобладание таких клеток в центролобуллярной зоне, ответственной за детоксикацию, позволяет считать, что печень животных опытной группы испытывает функциональную нагрузку, выходящую за рамки физиологического оптимума, и ее адаптивные ресурсы не способны обеспечивать адекватную реакцию на действие токсических веществ (рис. 5 б).

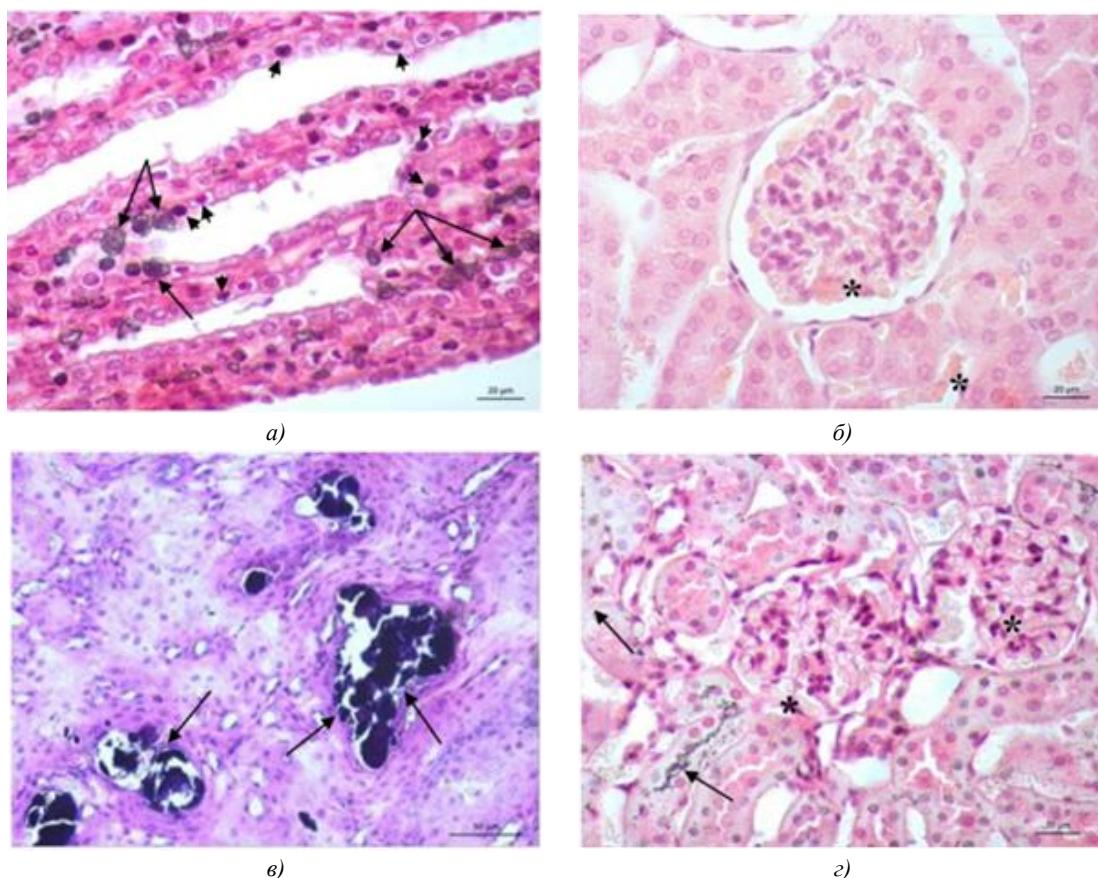


Рис. 4. Образец почки джунгарского хомячка опытной группы. Окрашивание гематоксилином Бемера и эозином. Головкой черной стрелки обозначены нефроциты с признаками смертельного повреждения; черная стрелка — мелкогранулярное вещество черного цвета; звездочка — эритроциты с признаками сладж-феномена

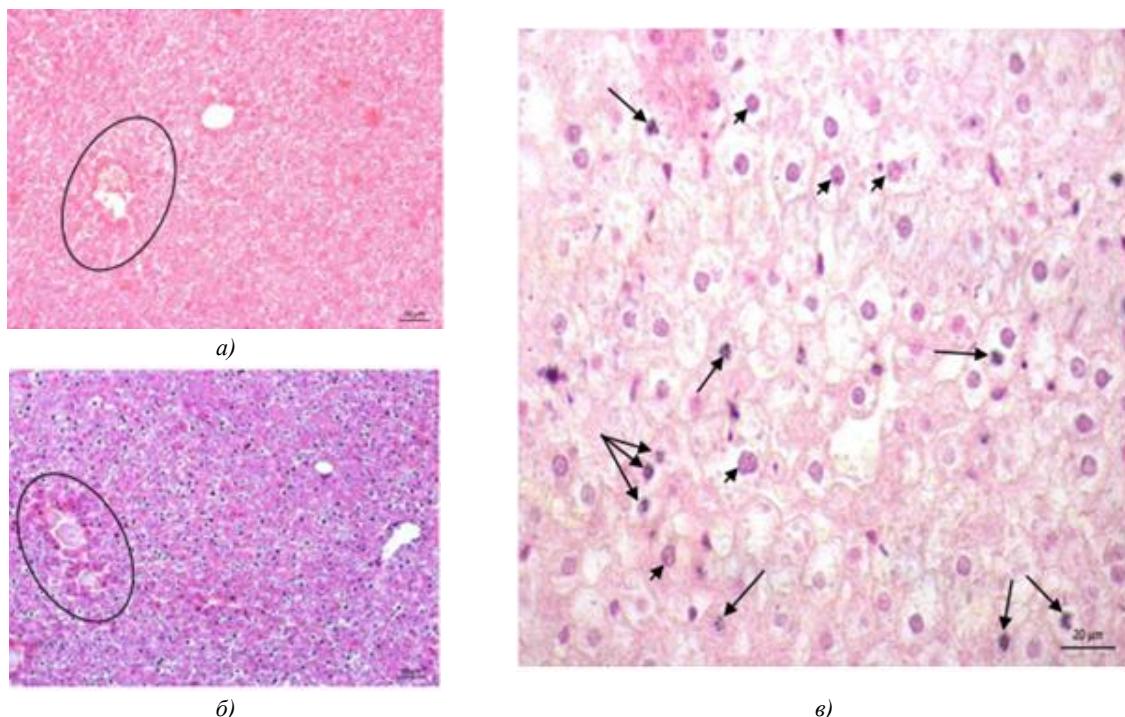


Рис. 5. Образец печени джунгарского хомячка опытной группы. Окрашивание гематоксилином Бемера и эозином. Овалом обозначена центролобулярная зона дольки печени; черная стрелка — гепатоциты с признаками апоптоза; головка черной стрелки — гепатоциты с пикнотичными ядрами

Обсуждение и заключение. Результаты проведенного исследования дают все основания считать, что при выбранном дизайне экспозиции хомячков газовой смесью вейпов в легких, печени и почках происходят структурно-функциональные изменения. В легких обнаруживается повреждение эпителия бронхов, альвеолярного эпителия и эндотелия микроциркуляторного русла. Данные световой микроскопии не дают возможности идентифицировать повреждение структур аэро-гематического барьера, однако обнаруженные грубые морфологические преобразования в данном компартменте указывают на нарушение структурно-функциональной организации базальных мембран капилляров и эпителиоцитов. Как известно, это ведет к нарушению микроциркуляции в легких, повышению проницаемости легочных капилляров, развитию отека легких. Именно этим можно объяснить наличие в паренхиме легкого интерстициального и альвеолярного отека, дистелектаза (спадения альвеол чередуются с их расширением), которые развиваются не без участия лейкоцитов и макрофагов [38, 39].

В соответствии с принципом комплементарности, который постулирует единство структуры и функции, обнаруженные изменения гемодинамики приводят к нарушению вентиляционно-перfusionных отношений в легочной ткани и газообмена. Высокий уровень содержания в ткани альвеолоцитов 2-го типа можно объяснить повышением их пролиферативной активности в ответ на повреждение альвеолярного эпителия веществами, входящими в состав газовой смеси вейпов.

Считается, что, помимо участия альвеолоцитов 2-го типа в синтезе сурфактанта, они обеспечивают процесс детоксикации. По совокупности обнаруженных изменений в легких патоморфологические признаки очень близки к острому респираторному дистресс-синдрому.

Чрезмерное расширение капилляров клубочка почек при отсутствии его гиперклеточности и отека мезангия может быть связано с прямым участием биологически активных молекул непосредственно на стенку капилляров, приводящие к их повреждению и расстройству кровообращения. Наличие неидентифицированного гомогенного вещества в просвете проксимальных и дистальных отделов канальцев нефロна, а также собирательных трубочек позволяет считать, что транспорт этого вещества осуществлялся через базальную гломерулярную мембрану и поступает в почечный клубочек из общего кровотока. Снижение морфометрических характеристик структурных компонентов почечного тельца в исследуемых образцах почек животных опытной группы, по сравнению с контролем, дают все основания говорить о нарушении фильтрационно-реабсорбционного механизма почек и развитии почечной недостаточности.

Несмотря на отсутствие выраженных признаков повреждения печени, обилие гибнущих апоптозом темных гепатоцитов центролобулярной зоны дольки печени, эволюционно приспособленных к детоксикации, указывает на причастность к этому процессу токсических веществ, поступающих в печень с кровью.

Список литературы / References

1. Рудаков Н.А. История создания и продвижения электронных сигарет. *Бизнес-образование в экономике знаний*. 2019;1(12):76–82.
2. Rudakov NA. The History of the Creation and Promotion of Electronic Cigarettes. *Biznes-obrazovanie v ekonomike znanii (Business Education in the Knowledge Economy)*. 2019;1(12):76–82. (In Russ.)
3. Оксузян А.В., Дубинин О.А., Халиуллина К.Р. Травматическое и токсическое действие электронных испарителей на организм человека. *Modern Science*. 2021;21:235–237.
4. Oksuzyan AV, Dubinin OA, Khalilullina KR. Traumatic and Toxic Effects of Electronic Vaporizers on the Human Organism. *Modern Science*. 2021;21:235–237. (In Russ.)
5. Chadi N, Hadland SE, Harris SK. Understanding the Implications of the “Vaping Epidemic” among Adolescents and Young Adults: A Call for Action. *Substance Abuse*. 2019;40(1):7–10. <https://doi.org/10.1080/08897077.2019.1580241>
6. Cecchini MJ, Mukhopadhyay S, Arrossi AV, Beasley MB, Butt YM, Jones KD et al. E-Cigarette or Vaping Product Use-Associated Lung Injury: A Review for Pathologists. *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*. 2020;144(12):1490–1500. <https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0024-RA>
7. Schaffer S, Strang A, Saul D, Krishnan V, Chidekel A. Adolescent E-cigarette or Vaping Use-Associated Lung Injury in the Delaware Valley: A Review of Hospital-Based Presentation, Management, and Outcomes. *Cureus*. 2022;14(2):e21988. <https://doi.org/10.7759/cureus.21988>
8. Li Y, Dai J, Tran LN, Pinkerton KE, Spindel ER, Nguyen TB. Vaping Aerosols from Vitamin E Acetate and Tetrahydrocannabinol Oil: Chemistry and Composition. *Chemical Research in Toxicology*. 2022;35(6):1095–1109. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.2c00064>
9. Melnikova IM, Dorovskaya NL, Sedova AP, Mizernitsky YuL. Structure of Consumption of Tobacco-Containing Products by Adolescents according to the Results of the Questionnaire. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2020;65(4):307. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-congress-2020> (In Russ.)
10. Gentzke AS, Creamer M, Cullen KA, Ambrose BK, Willis GB, Jamal A et al. Vital Signs: Tobacco Product Use Among Middle and High School Students — United States, 2011–2018. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2019;68(6):157–164. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6806e1>
11. Burt B, Li J. The Electronic Cigarette Epidemic in Youth and Young Adults: A Practical Review. *JAAPA: official journal of the American Academy of Physician Assistants*. 2020;33(3):17–23. <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000654384.02068.99>
12. Callahan-Lyon P. Electronic Cigarettes: Human Health Effects. *Tobacco Control*. 2014;23(Suppl. 2):ii36–ii40. <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2013-051470>
13. Cheng T. Chemical Evaluation of Electronic Cigarettes. *Tobacco Control*. 2014;23(Suppl. 2):ii11– ii17. <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2013-051482>
14. Goniewicz M, Hajek P, McRobbie H. Nicotine Content of Electronic Cigarettes, Its Release in Vapour and Its Consistency across Batches: Regulatory Implications. *Addiction*. 2014;109(3):500–507. <https://doi.org/10.1111/add.12410>
15. Hutzler C, Paschke M, Krushinski S, Henkler F, Hahn J, Luch A. Chemical Hazards Present in Liquids and Vapors of Electronic Cigarettes. *Archives of Toxicology*. 2014;88(7):1295–1308. <https://doi.org/10.1007/s00204-014-1294-7>
16. Jensen PR, Luo W, Pankow JF, Strongin RM, Peyton DH. Hidden Formaldehyde in E-Cigarette Aerosols. *The New-England Journal of Medicine*. 2015;372(4):392–394. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1413069>
17. Allen J, Montalto M, Lovejoy J, Weber W. Detoxification in Naturopathic Medicine: A Survey. *Journal of Alternative and Complementary Medicine (New York, N.Y.)*. 2011;17(12):1175–1180. <https://doi.org/10.1089/acm.2010.0572>
18. Lambert C, Li J, Jonscher K, Yang TC, Reigan P, Quintana M, et al. Acrolein Inhibits Cytokine Gene Expression by Alkylating Cysteine and Arginine Residues in the NF-κappaB1 DNA Binding Domain. *Journal of Biological Chemistry*. 2007;282(27):19666–19675. <https://doi.org/10.1074/jbc.M611527200>
19. Mukhopadhyay S, Mehrad M, Dammert P, Arrossi AV, Sarda R, Brenner DS, et al. Lung Biopsy Findings in Severe Pulmonary Illness Associated with E-Cigarette Use (Vaping). *American Journal of Clinical Pathology*. 2020;153(1):30–39. <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqz182>
20. Hilts P. Artificial Butter Suspected in Lung Disease. New York: New York Times. 2001.
21. Boylstein R. Identification of Diacetyl Substitutes at a Microwave Popcorn Production Plant. *Case Study. Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2012;9(2):D33–D34. <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.639234>

22. Gaffney SH, Abelmann A, Pierce JS, Glynn ME, Henshaw JL, McCarthy LA, et al. Naturally Occurring Diacetyl and 2,3-Pentanedione Concentrations Associated with Roasting and Grinding Unflavored Coffee Beans in a Commercial Setting. *Toxicology Report*. 2015;2:1171–1181. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.08.003>
23. Holden VK, Hines SE. Update on Flavoring-Induced Lung Disease. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*. 2016;22(2):158–164. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000250>
24. Zhu SH, Sun JY, Bonnevie E, Cummins SE, Gamst A, Yin L, et al. Four Hundred and Sixty Brands of E-Cigarettes and Counting: Implications for Product Regulation. *Tobacco Control*. 2014;23(Suppl. 3):iii3–iii9. <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2014-051670>
25. Behar RZ, Davis B, Wang Y, Bahl V, Lin S, Talbot P. Identification of Toxicants in Cinnamon-Flavored Electronic Cigarette Refill Fluids. *Toxicology in Vitro*. 2014;28(2):198–208. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2013.10.006>
26. Farsalinos K.E., Voudris V., Poulas K. E-Cigarettes Generate High Levels of Aldehydes Only in 'Dry Puff' Conditions. *Addiction*. 2015;110(8):1352–1356. <https://doi.org/110.1111/add.12942>
27. Phillips B, Titz B, Kogel U, Sharma D, Leroy, P, Xiang Y, et al. Toxicity of the main Electronic Cigarette Components, Propylene Glycol, Glycerin, and Nicotine, in Sprague-Dawley Rats in a 90-day OECD Inhalation Study Complemented by Molecular Endpoints. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;109(Pt1):315–332. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.09.001>
28. Kim MD, Chung S, Baumlin N, Qian J, Montgomery RN, Sabater J, et al. The Combination of Propylene Glycol and Vegetable Glycerin E-Cigarette Aerosols Induces Airway Inflammation and Mucus Hyperconcentration. *Scientific Reports*. 2024;14(1):1942. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52317-8>
29. Wawryk-Gawda E, Zarobkiewicz MK, Wolanin-Stachyra M, Opoka-Winiarska V. Inflammatory Markers Activation Associated with Vapor or Smoke Exposure in Wistar Rats. *Frontiers in Immunology*. 2025;16:1525166. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1525166>
30. Matsumoto S, Traber M, Leonard SW, Choi J, Fang X, Maishan M, et al. Aerosolized Vitamin E Acetate Causes Oxidative Injury in Mice and in Alveolar Macrophages. *American Journal of Physiology*. 2022;322(6):771–783. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00482.2021>
31. Матвеевская Д.А., Кондратьева Е.В., Ослопова А.А., Солоненко М.А., Павличенко Е.В. Влияние безникотинового вейпинга на морфологию некоторых органов в эксперименте. В: *Материалы XVII межрегиональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Медицина завтрашнего дня», посвященной 65-летию Читинской государственной медицинской академии. Чита, 17–20 апреля 2018 года*. Чита: Редакционно-издательский центр Читинской государственной медицинской академии; 2018. С. 268–269.
- Matveevskaya DA, Kondratieva EV, Oslopova AA, Solonenko MA, Pavlichenko EV. The Effect of Nicotine-Free Vaping on the Morphology of Some Organs in the Experiment. In: *Proceedings of the XVII Interregional Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists “Medicine of Tomorrow” Dedicated to the 65th Anniversary of the Chita State Medical Academy. Chita, April 17–20, 2018*. Chita: Editorial and Publishing Center of Chita State Medical Academy; 2018. P. 268–269.
32. Щукин М.В., Содбоев Ц.Ц., Шешенин М.Д. Влияние экологической обстановки мегаполиса на патологии органов дыхания собак. В: *Материалы II национальной научно-практической конференции. «Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития». Москва, 01 июня 2021 года*. Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина»; 2021. С. 327–332.
- Shchukin MV, Sodboev TsTs, Sheshenin MD. The Influence of the Ecological Situation of the Metropolis on the Pathology of the Respiratory Organs in Dogs. In: *Proceedings of the II National Scientific and Practical Conference “Commodity Science, Technology, and Expertise: Innovative Solutions and Development Prospects”. Moscow, June 1, 2021*. Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA Named after K. I. Skryabin; 2021. P. 327–332.
33. Андросова О.Г., Аллазов Д.Р., Зинин М.С. Влияние электронных сигарет на печень (обзор литературы). *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2025;(96):154–163. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2025-96-154-163>
- Androsova OG, Allazov DR, Zinin MS. Effects of Electronic Cigarettes on the Liver (Literature Review). *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2025;(96):154–163. (In Russ.) <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2025-96-154-163>
34. Семченко В.В., Барашкова С.А., Ноздрин В.И., Артемьев В.Н. *Гистологическая техника: учебное пособие*. Омск, Орел: Омская областная типография; 2006. 289 с.
- Semchenko VV, Barashkova SA, Nozdrin VI, Artemev VN. *Histological Technique: A Tutorial*. Omsk, Orel: Omsk Regional Printing House; 2006. 289 p. (In Russ.)
35. Шемяков С.Е., Федосов А.А. *Анатомия и гистология легких, глава I*. В кн.: Респираторная медицина: руководство: в 5 т. Москва: ПульмоМедиа; 2024. 668 с. <https://doi.org/10.18093/987-5-6048754-9-0-2024-1-18-47>
- Shemyakov SE, Fedosov AA. Anatomy and Histology of Lungs, Chapter I. In book: *Respiratory Medicine: Guidebook: In 5 Volumes*. Moscow: PulmoMedia; 2024. 668 p. (In Russ.) <https://doi.org/10.18093/987-5-6048754-9-0-2024-1-18-47>
36. Pawlina W, Ross MH. *Histology: A Text and Atlas: With Correlated Cell and Molecular Biology*. 8th Ed. USA: LWW Publ.; 2018.

37. Аминова Г.Г. Что считать структурно-функциональной единицей печени человека? *Морфологические ведомости*. 2018;26(4):35–38. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.18\(26\).04.35-38](https://doi.org/10.20340/mv-mn.18(26).04.35-38)

Aminova GG. What Need Consider as a Structural and Functional Unit of the Human Liver? *Morphological Newsletter*. 2018;26(4):35–38. (In Russ.)

38. Пальцев М.А., Пауков В.С., Улунбеков Э.Г. (ред.). *Патология: руководство*. Москва: ГЭОТАР-МЕД; 2002. 960 с.
Paltsev MA, Paukov VS, Ulunbekov EG (Eds.). *Pathology: Guidebook*. Moscow: GEOTAR-MED; 2002. 960 p.

39. Манских В.Н. Технические аспекты. Общая и органная патология. Т. 1. В кн.: *Патоморфология лабораторной мыши*: в 3-х т. Москва: ВАКО; 2016. 208 с.

Manskikh VN. Technical Aspects. General and Organ Pathology. Vol. 1. In book: *Pathomorphology of Laboratory Mouse*: in 3 Volumes. Moscow: VAKO; 2016:208 p. (In Russ.)

Об авторах:

Андрей Валентинович Сахаров, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии и экологии Новосибирского государственного педагогического университета (630126, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Вилойская, 28), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#)

Виталина Игоревна Бырдина, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и экологии Института естественных и социально-экономических наук Новосибирского государственного педагогического университета, (630126, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Вилойская, 28), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#)

Павел Александрович Задубровский, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории структуры и динамики популяций позвоночных животных Института систематики и экологии животных (630091, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11), преподаватель кафедры биологии и экологии Института естественных и социально-экономических наук Новосибирского государственного педагогического университета (630126, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Вилойская, 28), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), etolog@mail.com

Инна Валерьевна Задубровская, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории структуры и динамики популяций позвоночных животных Института систематики и экологии животных (630091, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11), доцент кафедры биологии и экологии Института естественных и социально-экономических наук Новосибирского государственного педагогического университета (630126, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Вилойская, 28), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), inna_zadubrovskaya@mail.ru

Ольга Федоровна Потапова, научный сотрудник Лаборатории структуры и динамики популяций позвоночных животных Института систематики и экологии животных (630091, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), opotapova@yandex.ru

Екатерина Юрьевна Кондратюк, кандидат биологических наук, научный сотрудник Научно-исследовательского института клинической и экспериментальной лимфологии – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН (630117, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Арбузова, 6), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#)

Сергей Сергеевич Бондаренко, аспирант Санкт-Петербургского государственного технологического института (технический университет) (190013, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 24–26/49), sergeib@mail.ru

Евгений Анатольевич Новиков, доктор биологических наук, заведующий Лабораторией структуры и динамики популяций позвоночных животных Института систематики и экологии животных (630091, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11), заведующий кафедрой экологии Новосибирского государственного аграрного университета, (630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), eug-nov5@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

А.В. Сахаров: предоставление ресурсов, научное руководство, написание рукописи.

В.И. Бырдина: проведение исследования, визуализация, написание рукописи.

П.А. Задубровский: разработка концепции, курирование данных, формальный анализ, проведение исследования, предоставление ресурсов, валидация результатов.

И.В. Задубровская: проведение исследования, написание черновика рукописи, редактирование рукописи.

О.Ф. Потапова: проведение исследования.

Е.Ю. Кондратюк: проведение исследования.

С.С. Бондаренко: разработка концепции, проведение исследования, разработка методологии.

Е.А. Новиков: получение финансирования, административное руководство исследовательским проектом, предоставление ресурсов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Andrey V. Sakharov, Dr.Sci.(Biology), Associate Professor, Head of the Biology and Ecology, Department, Novosibirsk State Pedagogical University (28, Vilyuyskaya Str., Novosibirsk, 630126, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#)

Vitalina I. Byrdina, Cand.Sci.(Biology), Associate Professor of the Biology and Ecology Department of the Institute of Natural and Socio-Economic Sciences, Novosibirsk State Pedagogical University (28, Vilyuyskaya Str., Novosibirsk, 630126, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#)

Pavel A. Zadubrovsky, Cand.Sci.(Biology), Senior Research Associate at the Laboratory of Structure and Dynamics of Vertebrate Animal Populations, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (11, Frunze Str., Novosibirsk, 630091, Russian Federation); Lecturer of the Biology and Ecology Department of the Institute of Natural and Socio-Economic Sciences, Novosibirsk State Pedagogical University (28, Vilyuyskaya Str., Novosibirsk, 630126, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), etolog@mail.com

Inna V. Zadubrovskaya, Cand.Sci. (Biology), Senior Research Associate at the Laboratory of Structure and Dynamics of Vertebrate Animal Populations, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (11, Frunze Str., Novosibirsk, 630091, Russian Federation); Associate Professor of the Biology and Ecology Department of the Institute of Natural and Socio-Economic Sciences, Novosibirsk State Pedagogical University (28, Vilyuyskaya Str., Novosibirsk, 630126, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), inna_zadubrovskaya@mail.ru

Olga F. Potapova, Research Associate at the Laboratory of Structure and Dynamics of Vertebrate Animal Populations, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (11, Frunze Str., Novosibirsk, 630091, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ofpotapova@yandex.ru

Ekaterina Yu. Kondratyuk, Cand.Sci.(Biology), Research Associate at the Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (6, Arbuzov Str., Novosibirsk, 630117, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#)

Sergey S. Bondarenko, Postgraduate Degree Student, Saint Petersburg State Institute of Technology (24–26/49, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190013, Russian Federation), sergeib@mail.ru

Evgeny A. Novikov, Dr.Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Structure and Dynamics of Vertebrate Animal Populations, Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (11, Frunze Str., Novosibirsk, 630091, Russian Federation); Head of the Ecology Department, Novosibirsk State Agrarian University (160, Dobrolyubova Str., Novosibirsk, 630039, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), eug-nov5@yandex.ru

Claimed Contributorship:

AV Sakharov: provision of resources, scientific supervision, writing the manuscript.

VI Byrdina: conducting research, visualization, writing the manuscript.

PA Zadubrovsky: development of the concept, data monitoring, formalized analysis, conducting research, provision of resources, validating the results.

IV Zadubrovskaya: conducting research, writing a draft manuscript, editing the manuscript.

OF Potapova: conducting research

EYu Kondratyuk: conducting research.

SS Bondarenko: development of the concept, conducting research, development of research methodology.

EA Novikov: obtaining funding, administrative management of the research project, provision of resources.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

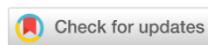
Поступила в редакцию / Received 24.09.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 23.10.2025

Принята к публикации / Accepted 28.10.2025

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК: 636.089.5:616.61-092-073.7

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-55-63>

Оригинальное эмпирическое исследование

Оценка изменений плотности тканей почек у крыс с гиперлипидемией методом микро-КТ

Ю.А. Тихменева , Е.В. Садырин

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

tihmeneva.yulia@yandex.ru



EDN: RVFJKC

Аннотация

Введение. Компьютерная рентгеновская микротомография (микро-КТ) позволяет получать трёхмерные изображения микроскопических структур без их разрушения, благодаря чему метод нашел широкое применение в биомедицине. Что касается применения микро-КТ в ветеринарии, то на сегодняшний день потенциал метода для оценки морфологических изменений внутренних органов животных при патологиях использован не полностью. В частности, недостаточно данных о возможностях микротомографии при изучении патологических процессов в почках животных. Цель исследования — оценить патологические изменения плотности и морфологии тканей почек лабораторных крыс с гиперлипидемией с помощью микро-КТ.

Материалы и методы. В эксперименте, проведенном в ДГТУ в период с 2021 по 2024 гг., использовались самцы крыс линии Wistar ($n=40$), разделенные на 5 групп — 4 опытные и 1 контрольную. Опытные группы в ходе эксперимента были переведены на гиперлипидемическую диету; контрольная группа получала только обычный корм. После декапитации животных на 30-е, 120-е, 150-е и 180-е сутки проводился забор почек и подготовка образцов для сканирования на микротомографе Zeiss Xradia Versa 520 при 80 кВ и размере вокселя 20 мкм. Эффективность микро-КТ оценивали по качеству 3D-реконструкции и выявлению изменений в плотности и морфологии тканей почек на разных стадиях гиперлипидемии.

Результаты исследования. Микротомограммы почек крыс, участвовавших в эксперименте, позволили детально визуализировать морфологию органа, включая корковое и мозговое вещество, а также сосудистую сеть. Получены количественные данные по изменению плотности тканей, выявлены различия в структуре почек при норме (контрольная группа) и патологии (опытные группы с гиперлипидемией разной степени).

Заключение и обсуждение. Метод микро-КТ продемонстрировал высокую точность и информативность при анализе состояния тканей почек крыс, доказав его эффективность для ранней диагностики патологических изменений и динамического мониторинга заболеваний этих внутренних органов у животных. Среди ограничений метода — высокая стоимость оборудования, низкая чувствительность к мягким тканям без контрастирования и необходимость специальных навыков для интерпретации снимков.

Ключевые слова: микротомография, микро-КТ, крысы, почка, плотность тканей, гиперлипидемия, визуализация, диагностика, патологические процессы

Декларация о соблюдении принципов Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей: авторы заявляют, что все проведенные исследования соответствовали принципам конвенции и правилам надлежащей лабораторной практики.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-29-00829, <https://rsrf.ru/project/25-29-00829/>

Для цитирования. Тихменева Ю.А., Садырин Е.В. Оценка изменений плотности тканей почек у крыс с гиперлипидемией методом микро-КТ. Ветеринарная патология. 2025;24(4):55–63. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-55-63>

Assessing Kidney Tissue Density Changes in Rats with Hyperlipidemia Using Micro-CT

Yulia A. Tikhmeneva  , Evgeniy V. Sadyrin 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 tihmeneva.yulia@yandex.ru

Abstract

Introduction. Computed X-ray microtomography (micro-CT) enables getting the three-dimensional images of microscopic structures without damaging them, which makes this method widely implemented in biomedicine. Regarding the application of micro-CT in veterinary medicine, its potential in assessing morphological changes in internal organs of animals with pathologies has not yet been used at full scale. For example, there are no enough data on the capacity of microtomography in studying pathological processes in kidneys of animals. The aim of the present study is to assess the pathological changes in the density and morphology of kidney tissue in laboratory rats with hyperlipidemia using micro-CT.

Materials and Methods. The experiment was conducted at DSTU from 2021 to 2024 and involved 40 male Wistar rats divided into 5 groups: 4 experimental and 1 control. During the experiment, the experimental groups were fed a hyperlipidemic diet; the control group received only standard feed-stuff. Kidneys were taken from decapitated animals on 30th, 120th, 150th, and 180th day, and samples were prepared for scanning with a Zeiss Xradia Versa 520 micro-CT scanner at 80 kV and voxel size of 20 μm . The efficiency of micro-CT was assessed by the quality of 3D reconstruction and detected changes in kidney tissue density and morphology at different stages of hyperlipidemia.

Results. Microtomograms of kidneys of rats in the experiment allowed for detailed visualization of the organ's morphology, including renal cortex and medulla, as well as vasculature. Quantitative data on changes in tissue density were obtained, and differences in kidney structure were distinguished between the normal (in control group) and pathological conditions (in experimental groups with various degrees of hyperlipidemia).

Discussion and Conclusion. Micro-CT method has demonstrated high accuracy and informative value in analysing kidney tissue condition in rats and proved its efficiency in early diagnostics of pathological changes in these internal organs, as well as in dynamic monitoring of disease. Among the constraints of this method, the following aspects can be noted: the high cost of equipment, low sensitivity to soft tissues in the absence of contrast-enhancement, and the need for specialized skills to interpret the images.

Keywords: microtomography, micro-CT, rats, kidney, tissue density, hyperlipidemia, visualization, diagnostics, pathological processes

Declaration on Compliance with the Principles of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes: the authors declare that all research was conducted in compliance with the principles of the Convention and the Rules of good laboratory practice.

For Citation. Tikhmeneva YuA, Sadyrin EV. Assessing Kidney Tissue Density Changes in Rats with Hyperlipidemia Using Micro-CT. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):55–63. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-55-63>

Введение. Компьютерная рентгеновская микротомография (микро-КТ) — это метод, позволяющий получать трёхмерные изображения микроскопических внутренних и внешних структур образцов без их разрушения, что делает возможным исследование объектов, не доступных другим способам анализа [1]. Основой метода является получение набора рентгеновских проекционных изображений при вращении образца, размещенного между рентгеновским источником и детектором (хотя возможны и другие схемы размещения образца [2]). Далее с помощью специализированных алгоритмов реконструкции эти изображения преобразуются в серии поперечных сечений [3].

Микро-КТ отличается от традиционной КТ и пристальной рентгенографии по ряду параметров, включая разрешение, область применения и дозу облучения [3].

Микро-КТ обеспечивает сверхвысокое разрешение (до 1 мкм) и позволяет получать детализированные трёхмерные изображения, что делает её незаменимой в научных исследованиях, изучении тканей *ex vivo* и экспериментальной онкологии [3]. Однако использование метода ограничено длительным временем сканирования и высокой лучевой нагрузкой, что снижает его применимость *in vivo*. Традиционная КТ широко используется в клинической практике для диагностики патологий внутренних органов и костной системы. Она позволяет быстро получать 3D-изображения с разрешением порядка 0,5–1 мм, а также использовать контрастные вещества для улучшенной визуализации мягких тканей [4–5]. Прицельная рентгенография применяется преимущественно в стоматологии (bitewing X-ray — рентгеновский снимок укуса) для выявления кариеса, оценки состояния костной ткани и

пародонта. Это быстрый и малодозовый метод, но он даёт только двухмерное изображение и не подходит для детального изучения сложных структур [4].

Выбор метода визуализации зависит от конкретной задачи. Если необходимо максимально детализированное

изображение тканей, предпочтение отдаётся микро-КТ, но для клинической диагностики и работы с живыми пациентами более подходят традиционная КТ и прицельная рентгенография. Более подробно характеристики методов описаны в Таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики микро-КТ, традиционной КТ и bitewing X-ray

Параметр	Микро-КТ	Традиционная КТ	Bitewing X-ray
Тип изображения	2D, 3D	2D, 3D	2D
Разрешение	до <1 мкм	0,5–1 мм	Не применимо
Область применения	Научные исследования, патоморфология, онкология	Клиническая диагностика внутренних органов и костей	Стоматология, диагностика карисса и пародонтита
Доза облучения	Высокая	Средняя	Низкая
Скорость сканирования	Минуты–часы	Секунды–минуты	Секунды
Использование контраста	Возможно	Часто используется	Нет
Применимость <i>in vivo</i>	Ограничена	Да	Да

Основные преимущества микротомографии:

– высокое разрешение: технология позволяет получать изображения с минимально различимой деталью менее одного мкм до десятков мкм, обеспечивая четкость, детализацию [5, 6] и, при необходимости, исследование достаточно крупных образцов [6];

– широкий спектр применения благодаря возможности получения 2D- и 3D-изображений: 2D-изображения применяются для измерения длины, толщины и углов искривления, а 3D-формат помогает выявлять патологические изменения, такие как остеолиз или гиперплазия костей [4], онкологические образования [3], деминерализация тканей зуба [4] и др.;

– цифровая обработка данных: изображения легко поддаются цифровой обработке и рендерингу [7], что позволяет вращать и анализировать их в трех измерениях для более глубокого понимания состояния объекта [8].

Высококачественные изображения, полученные с использованием микро-КТ, позволяют исследователям детально визуализировать патологические процессы на экспериментальных моделях животных, что способствует более точной диагностике заболеваний, оценке эффективности терапевтических стратегий и лучшему пониманию механизмов их развития. Также возможность детального изучения патологических изменений, таких как жировая инфильтрация тканей при гиперлипидемии, способствует расширению научных знаний и совершенствованию методов лечения [5, 6].

За последние десятилетия микро-КТ стала мощным инструментом в биомедицинских исследованиях,ши-

роко применяемым при изучении морфологии костей [3], фенотипировании животных [1], а также в исследовании патологий внутренних органов [5]. Оптимизация разработки и введения контрастных веществ позволила значительно расширить возможности метода. Визуализация *in vivo* обеспечивает оценку морфологии сосудов и мягких тканей, однако *ex vivo* исследование даёт более высокое разрешение за счёт увеличенного времени сканирования и отсутствия ограничений, связанных с анестезией и облучением [9].

В неврологии микро-КТ используется для анализа сосудистой анатомии головного мозга, выявления атеросклеротических поражений и оценки нарушений гематоэнцефалического барьера [9]. Кроме того, методика позволяет проводить продольные исследования роста опухолей мозга и эффективности противоопухолевой терапии.

В кардиологии микро-КТ с контрастным усилением применяется для визуализации системы проведения сердечного импульса, диагностики врождённых пороков сердца и количественной оценки лёгочной вентиляции при фиброзе лёгких [10].

Микро-КТ также активно используется в онкологических исследованиях. Например, в моделях колоректального рака метод демонстрирует высокую корреляцию между объёмом опухоли и гистологическими данными [9]. Применение контрастных веществ позволяет дифференцировать здоровые ткани печени от неоплазий, что даёт возможность количественно оценивать метастазы и эффективность экспериментальной терапии [9].

Исследования костной ткани с помощью микро-КТ охватывают широкий спектр патологий, включая осте-

опороз, заживление переломов, остеогенез и резорбцию костей при опухолевых процессах [2]. Методика также используется для оценки взаимодействия мягких тканей с имплантатами, изучения ангиогенеза и мышечной дистрофии [9].

В ветеринарной медицине микро-КТ становится все более востребованной благодаря возможности получать высококачественные трёхмерные изображения тканей и структур, а также способности неразрушающим методом исследовать анатомические особенности и патологические изменения с пространственным разрешением до 1 мкм [10]: возможность визуализации без необходимости разрезания биопсийного материала особенно ценно для последующего гистологического анализа [11].

Микро-КТ может применяться как *in vivo*, так и *ex vivo*: в режиме *in vivo* метод позволяет визуализировать изменения тканей у мелких животных с разрешением до 30 мкм, при минимальной дозе облучения [11–13]. Однако его применение ограничено низкой чувствительностью к мягким тканям, что компенсируется использованием контрастных веществ. В режиме *ex vivo* микро-КТ достигает ещё более высокого разрешения благодаря длительным экспозициям, позволяя получать детализированные изображения, превосходящие результаты гистологического анализа.

Благодаря возможностям 3D-реконструкции и цифровой обработки данных, микро-КТ обеспечивает исследователям уникальную возможность анализировать морфологию тканей, разрабатывать виртуальные модели и даже создавать точные физические 3D-прототипы [14, 15]. В дополнение к этому, интеграция микро-КТ с традиционными методами диагностики, такими как гистопатология, расширяет её диагностический потенциал, позволяя комбинировать точные количественные данные с визуальной оценкой структуры тканей [13]. Благодаря методам *in silico* для микро-КТ стало возможным проводить 3D-реконструкцию, сегментацию, морфометрический анализ и вычисление плотности тканей без разрушения образцов [16].

Несмотря на активное развитие современных методов визуализации, возможности применения микро-КТ для комплексного анализа состояния мягких тканей и внутренних органов животных пока недостаточно изучены. Потенциал метода для детальной количественной оценки морфологических изменений внутренних органов, связанных с патологическими процессами, остается относительно новым направлением. В частности, практически отсутствуют работы, посвященные комплексному анализу плотности и трехмерной морфологии почечной ткани у животных экспериментальных моделей с алиментарно индуцированными патологиями, такими как гиперлипидемия. Выбор почек в качестве объекта исследования обусловлен их ключевой ролью в метаболизме и высокой уязвимостью при системных нарушениях, к которым относится и гиперлипидемия. Развивающиеся при этом структурные изменения (жировая инфильтрация,

фиброз) напрямую влияют на плотность тканей почек, что делает микро-КТ идеальным методом для их детекции и количественной оценки.

Цель работы — оценить эффективность применения микро-КТ для изучения патологических изменений плотности и морфологии тканей почек у лабораторных крыс с разной степенью гиперлипидемии.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на базе Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону) в период с 2021 по 2024 гг. 40 самцов крыс линии Wistar были разделены на 5 групп (4 опытные и 1 контрольная), по 8 животных в каждой. Животные содержались в виварии ДГТУ на древесной подстилке, которая менялась каждую неделю.

Все животные в течение первых 30 суток получали стандартный рацион. После этого 1-я группа была выведена из эксперимента путем декапитации; 2-я, 3-я и 4-я группы были переведены на гиперлипидемическую диету с повышенным содержанием холестерина; 5-я (контрольная) группа в течение всего периода получала только стандартный корм. На 120-е, 150-е и 180-е сутки животные 2-й, 3-й и 4-й групп соответственно были эвтаназированы методом декапитации; 5-я группа выведена из эксперимента одновременно с 4-й на 180-е сутки. После этого было проведено вскрытие для забора почек и пробоподготовка материала для микро-КТ с последующим анализом данных.

После первоначальной фиксации в 10-процентном формалине в течение 48 ч все образцы почек крыс были последовательно обезвожены в 50-, 70-, 80-, 90-, 96- и 100-процентном этаноле (выдержаны по 1 ч в каждом растворе). Затем образцы окрашивали 1-процентным раствором йода I_2 в абсолютном этаноле в течение 14 ч. Наконец, образцы промывали в абсолютном этаноле и помещали в пластиковые контейнеры, заполненные абсолютным этанолом, для хранения при температуре +5 °C.

Сканирование проводилось на микротомографе Xradia Versa 520 (Carl Zeiss X-ray Microscopy, США). Образцы фиксировались вертикально в пластиковых пробирках, заполненных абсолютным спиртом, и устанавливались в цанговый держатель, расположенный вне поля зрения детектора. Исследования выполнялись в обычном воздушном пространстве камеры прибора, без применения дополнительных сред.

Для получения качественных данных сканировались три сегмента каждого образца, начиная с нижнего и заканчивая верхним. Общие параметры сканирования:

- увеличение объектива: 0,4×;
- напряжение источника: 80 кВ;
- мощность: 6,5 Вт;
- размер вокселя: 20 мкм;
- вращение: 360°;
- время экспозиции: 1 с;
- количество проекций: 1601 для каждого сегмента.

Сбор проекционных данных завершался реконструкцией микротомограмм с использованием программного обеспечения (Carl Zeiss AG, Германия). Для повышения чёткости контуров вручную настраивались параметры смещения центра. Итоговая обработка реконструированных данных проводилась в программе VGStudio MAX 3.5 (Volume Graphics GmbH, Германия):

- удаление среды вокруг образца выполнялось вручную с использованием гистограммы плотности;
- для визуализации использовался объёмный рендерер по Фонгу [17];
- сегментация структур проводилась с применением ручных, автоматических и полуавтоматических инструментов. Каждая область интереса помечалась псевдоцветом.

Эффективность микро-КТ оценивалась по качеству визуализации и реконструкции, т. е. по способности метода чётко выделять корковое и мозговое вещество, сосуды и другие структуры почек в трёхмерной модели с высокой детализацией и минимальными артефактами. Также учитывался количественный анализ

изменений тканей — измерение плотности через значения серого (MGV, mean gray value).

Результаты исследования. На высококачественных микротомограммах почек удалось чётко выделить структурные компоненты органа: корковое вещество и почечную артерию (рис. 1); мозговое вещество (рис. 2); сосудистую сеть, включая крупные артериальные и венозные сосуды, а также мелкие капилляры (рис. 3). На реконструированных 3D-моделях почек корковое вещество, мозговое вещество и сосуды выделены как ROI на основе средних значений серого (MGV). Для наглядной визуализации изменений плотности использовалась однородная по восприятию цветовая схема «плазма».

Наличие нескольких опытных групп позволило проследить временную динамику нарастания патологических изменений (в частности, увеличение плотности тканей) в ответ на длительность гиперлипидемического воздействия. Показатели плотности через средние значения серого (MGV) для каждой группы представлены в Таблице 2.

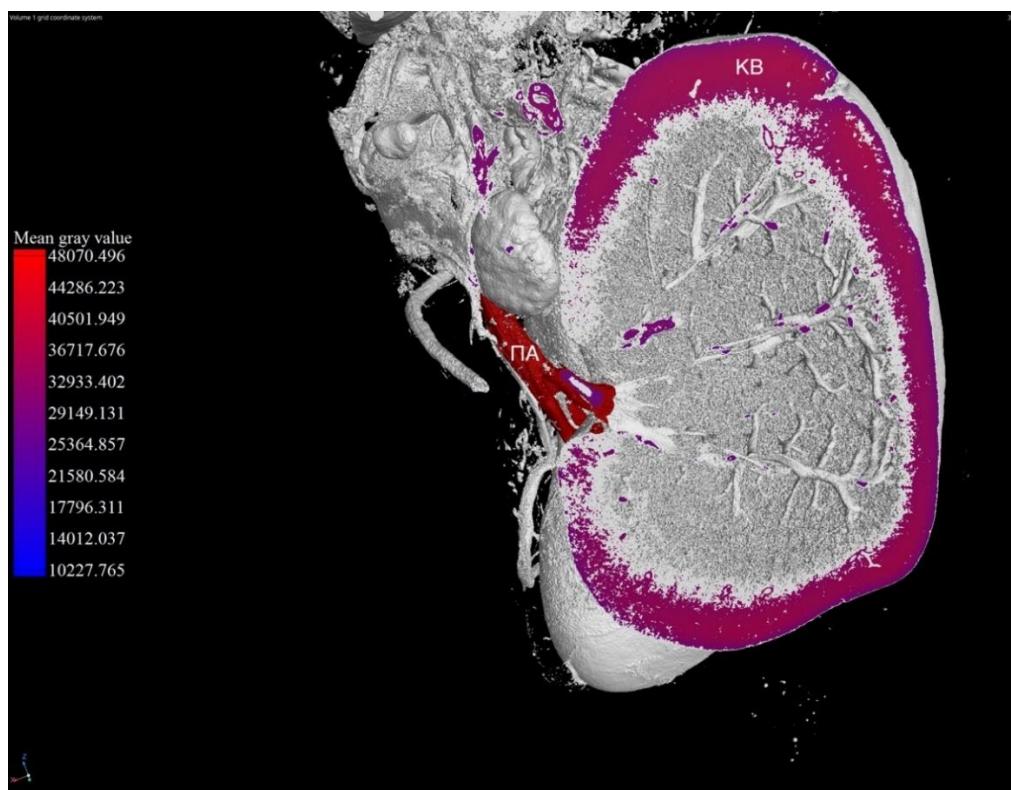


Рис. 1. Визуализация почки в разрезе с шкалой плотности: КВ — корковое вещество почки, ПА — почечная артерия

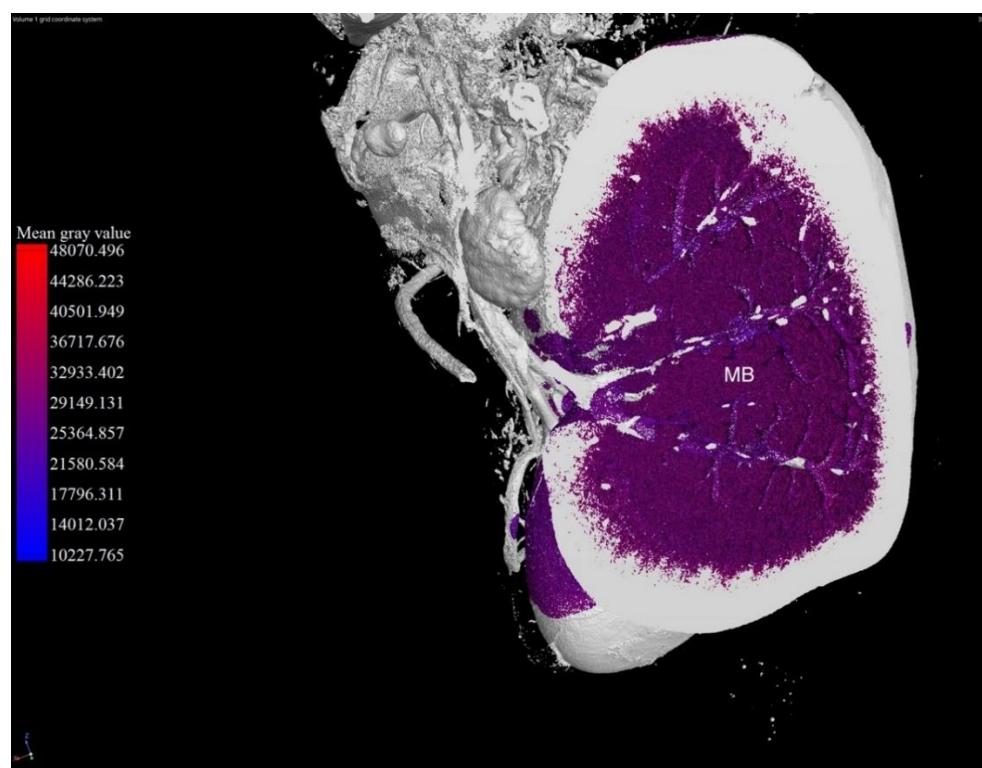


Рис. 2. Визуализация почки в разрезе с шкалой плотности: МВ — мозговое вещество почки



Рис. 3. Артерии почек, выделенные красным цветом

Таблица 2

Плотность различных структур почек у крыс через значения серого (MGV), ($M \pm SD$)

Группа	Срок участия в эксперименте	n	Корковое вещество, MGV	Мозговое вещество, MGV	Сосуды, MGV
1-я	30 суток (стандартный рацион)	8	30943 ± 1905	24515 ± 1435	24967 ± 2162
2-я	120 суток (3 месяца* гиперлипидемической диеты)	8	36642 ± 2269	30267 ± 1021	30792 ± 1848
3-я	150 суток (4 месяца* гиперлипидемической диеты)	8	33865 ± 2380	26290 ± 1750	27409 ± 3680
4-я	180 суток (5 месяцев* гиперлипидемической диеты)	8	29006 ± 2448	23294 ± 1048	25070 ± 2316
5-я (контроль)	180 суток (стандартный рацион)	8	30746 ± 2017	26579 ± 1088	25548 ± 3420

Примечание: * — в течение первых 30 суток эксперимента животные всех групп получали стандартный рацион

Данные таблицы демонстрируют четкую динамику изменения плотности тканей почек в зависимости от длительности гиперлипидемической диеты. Наиболее значительное увеличение плотности во всех структурах наблюдается во 2-й группе (3 месяца диеты), что, вероятно, отражает пик жировой инфильтрации и развития воспалительной реакции. К 5-му месяцу диеты (4-я группа) значения плотности приближаются к контрольным, что может свидетельствовать о развитии фиброза и склерозирования тканей, при которых плотность также повышается, но уже по иному механизму, требующему дальнейшего гистологического подтверждения.

Анализ сосудистой сети показал уплотнение стенок сосудов и потерю их эластичности, что свидетельствует о снижении кровоснабжения и повышенном риске ишемических повреждений ткани. Полученные данные согласуются с предыдущими исследованиями фиброза кавернозных тел на модели кастрированных кроликов, где микро-КТ позволила количественно оценить изменения радиоплотности на различных стадиях заболевания [18].

Обсуждение и заключение. В ходе проведённого микро-КТ-исследования были получены изображения почек с высоким разрешением, что позволило детально визуализировать их структуру. Метод продемонстрировал высокую точность в определении плотностных характеристик почечных тканей при гиперлипидемии, что может быть полезно для оценки структурных изменений при различных патологиях. Анализ плотности

позволяет проводить количественную оценку таких изменений и связывать их с клиническими проявлениями заболевания.

Ограничения исследования включают небольшой размер выборки, использование только одной линии крыс (самцы Wistar), что ограничивает генерализацию результатов, а также возможное влияние сроков эксперимента и диеты на развитие патологий и вариабельность данных. Подготовка образцов (фиксация, обезвоживание, окрашивание) могла вызвать артефакты, влияющие на точность измерений плотности тканей. Также следует учитывать ограничения самого метода микро-КТ — высокую стоимость оборудования и расходных материалов, низкую чувствительность к мягким тканям без контрастных веществ, ограничения при *in vivo* исследованиях (анестезия, дозы облучения, время сканирования), необходимость специального программного обеспечения и навыков для обработки и анализа данных.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на применение контрастных агентов, позволяющих более детально изучить сосудистую сеть почек и процессы, связанные с их перфузией. Также необходимо установить эффективность микро-КТ для выявления и количественной оценки нарушений структуры и фиброза путём прямого сопоставления с гистопатологией. Такой подход позволит более точно определять изменения на клеточном и тканевом уровнях и расширит возможности применения микро-КТ в клинической практике для диагностики и мониторинга заболеваний.

Список литературы / References

- Li H, Zhang H, Tang Z, Hu G. Micro-computed Tomography for Small Animal Imaging: Technological Details. *Progress in Natural Science*. 2008;18(5):513–521. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.01.002>
- Ashton JR, West JL, Badea CT. In Vivo Small Animal Micro-CT Using Nanoparticle Contrast Agents. *Frontiers in Pharmacology*. 2015;6:256. <https://doi.org/10.3389/fphar.2015.00256>

3. Yu Z, Zhang L, Han D. Comparison Between Micro-CT and High-Resolution CT Scan of Temporal Bone. In book: *Micro-CT of Temporal Bone*. Yu Z, Zhang L, Han D (Eds.). Singapore: Springer; 2021. P. 169–183 https://doi.org/10.1007/978-981-16-0807-0_10
4. Бурда А.Н., Рутковская А.С. Диагностика скрытого кариеса с помощью рентген-диагностики BITEWING. *Современная стоматология*. 2020;(3(80)):86–90.
- Burda AN, Rutkovskaya AS. Diagnostics of Hidden Caries by BITEWING X - Ray Diagnostics. *Sovremennaya stomatologiya (Modern Dentistry)*. 2020;(3(80)):86–90. (In Russ.)
5. Keklikoglu K, Arvanitidis C, Chatzigeorgiou G, Chatzinikolaou E, Karagiannidis E, Koletsas T, et al. Micro-CT for Biological and Biomedical Studies: A Comparison of Imaging Techniques. *Journal of Imaging*. 2021;7(9):172. <https://doi.org/10.3390/jimaging7090172>
6. Heath J, Poggel C (Eds.). *An Overview of 3D X-ray Microscopy*. Zeiss. Xradia 520 Versa 3D X-ray Microscope User Manual. UK, Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2020. 41 p. <https://manualzz.com/doc/57135760/zeiss-xradia-520-versa-3d-x-ray-microscope-user-manual> (accessed: 14.11.2025)
7. Sasai H, Iwai H, Fujita D, Seto E, Izumi Y. The Use of Micro-computed Tomography in the Diagnosis of Dental and Oral Disease in Rabbits. *BMC Veterinary Research*. 2014;(10):209. <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0209-4>
8. Мужикян А.А., Макарова М.Н. Применение компьютерной томографии при оценке состояния органов и тканей лабораторных животных. *Международный вестник ветеринарии*. 2015;(4):73–80.
- Muzhikyan AA, Makarova MN. Using the CT Scan for Assessment of Organs and Tissues of Laboratory Animals. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2015;(4):73–80. (In Russ.)
9. Hutchinson JC, Shelmerdine SC, Simcock IC, Sebire NJ, Arthurs OJ. Early Clinical Applications for Imaging at Microscopic Detail: Microfocus Computed Tomography (Micro-CT). *British Journal of Radiology*. 2017;90(1075):20170113. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170113>
10. Fitzpatrick N, Garcia TC, Daryani A, Bertran J, Watari S, Hayashi K. Micro-CT Structural Analysis of the Canine Medial Coronoid Disease. *Veterinary Surgery*. 2016;45(3):336–346. <https://doi.org/10.1111/vsu.12449>
11. Eberspächer-Schweda MC, Schmitt K, Handschuh S, Fuchs-Baumgartinger A, Reiter AM. Diagnostic Yield of Micro-Computed Tomography (micro-CT) Versus Histopathology of a Canine Oral Fibrosarcoma. *Journal of Veterinary Dentistry*. 2020;37(1):14–21. <https://doi.org/10.1177/0898756420926519>
12. Ritman EL. Current Status of Developments and Applications of Micro-CT. *Annual Review of Biomedical Engineering*. 2011;13:531–552. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071910-124717>
13. Jekl V, Brinek A, Zikmund T, Jeklova E, Kaiser J. Use of Micro-CT Imaging to Assess Ventral Mandibular Cortical Thickness and Volume in an Experimental Rodent Model with Chronic High-Phosphorus Intake. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:759093. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.759093>
14. Honkanen MKM, Mohammadi A, Te Moller NCR, Ebrahimi M, Xu W, Plomp S, et al. Dual-Contrast Micro-CT Enables Cartilage Lesion Detection and Tissue Condition Evaluation Ex Vivo. *Equine Veterinary Journal*. 2023;55(2):315–324. <https://doi.org/10.1111/evj.13573>
15. Szalusi-Jordanow O, Barszcz K, Mądry W, Buczyński M, Czopowicz M, Gierulski A, et al. Hydrops Fetalis Caused by a Complex Congenital Heart Defect with Concurrent Hypoplasia of Pulmonary Blood Vessels and Lungs Visualized by Micro-CT in a French Bulldog. *BMC Veterinary Research*. 2024;20(1):189. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04060-5>
16. Zelentsov VB, Sadyrin EV, Mitrin BI, Swain MV. Mathematical Tools for Recovery of the Load on the Fissure According to the Micro-CT Results. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2023;138:105625. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105625>
17. Jeong T, Shin HJ. An Approximation Technique for Real-Time Rendering of Phong Reflection Model with Image-Based Lighting. *Journal of Korea Computer Graphics Society*. 2014;20(1):13–19. <https://doi.org/10.15701/kcgs.2014.20.1.13>
18. Kogan MI, Popov IV, Kirichenko EY, Mitrin BI, Sadyrin EV, Kulaeva ED et al. X-ray Micro-computed Tomography in the Assessment of Penile Cavernous Fibrosis in a Rabbit Castration Model. *Andrology*. 2021;9(5):1467–1480. <https://doi.org/10.1111/andr.13077>

Об авторах:

Юлия Андреевна Тихменева, аспирант факультета биоинженерии и ветеринарной медицины Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), juliya5634@gmail.com

Евгений Валерьевич Садырин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории механики биосовместимых материалов, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), evgeniy.sadyrin@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Ю.А. Тихменева: разработка концепции, разработка методологии, написание черновика рукописи.

Е.В. Садырин: написание рукописи — редактирование.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Yulia A. Tikhmeneva, PhD Student of the Faculty of Bioengineering and Veterinary Medicine, Don State Technical University (1, Gagarin Sq, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), juliya5634@gmail.com

Evgenny V. Sadyrin, Cand.Sci. (Physics and Mathematics), Senior Research Associate at the Laboratory of Biocompatible Materials Mechanics, Associate Professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), evgeniy.sadyrin@gmail.com

Claimed Contributorship:

YuA Tikhmeneva: development of the concept and methodology, writing the draft manuscript.

EV Sadyrin: writing and editing the manuscript.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 11.09.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 09.10.2025

Принята к публикации / Accepted 14.10.2025

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК: 616-092.9:59.085

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-63-73>

Оригинальное эмпирическое исследование

**Эффективность моделирования окислительного стресса у крыс
воздействием шума в сравнении с гипертермией и магнитным полем**
Н.В. Симонова¹ , И.Ю. Саяпина² , М.А. Штарберг² , А.П. Лашин³ ,
Н.М. Мандро³, З.А. Литвинова³

¹ Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, г. Калуга, Российская Федерация

² Амурская государственная медицинская академия, г. Благовещенск, Российская Федерация

³ Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Российская Федерация

✉ simonova.agma@yandex.ru



EDN: TLSDXJ

Аннотация

Введение. Экспериментальная модель создания необходимых патологических процессов в условиях *in vivo* является важным элементом при планировании научных исследований. Многочисленными сериями экспериментов была показана состоятельность моделирования окислительного стресса воздействием гипертермии, магнитного поля, шума на лабораторных крыс. Вопрос о преимуществах моделирования стресс-реакции конкретным прооксидантным фактором стал основанием для проведения настоящего эксперимента ввиду необходимости формирования надежной ответной реакции в различные временные интервалы со статистически значимым изменением параметров прооксидантной/антиоксидантной системы. Цель исследования — сравнительная оценка влияния шума, гипертермии и магнитного поля на интенсивность процессов липопероксидации у крыс.

Материалы и методы. Исследование проведено в научно-исследовательской лаборатории Амурской медакадемии в 2023–2024 гг. В эксперименте участвовало 120 белых крыс, которых разделили на четыре равные по численности группы. В первой группе (интактная) животных не подвергали каким-либо воздействиям; во второй группе (подопытная 1) животных подвергали гипертермии; в третьей группе (подопытная 2) — воздействию магнитного поля; в четвертой группе (подопытная 3) – воздействию шума. На 7, 14, 21-й дни эксперимента крыс декапитировали (по 10 голов из каждой группы) и производили забор крови для анализа. Определение маркеров окислительного стресса проводили по общепринятым методикам, результаты анализировали с применением критерия Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса. Во всех процедурах оценки критический уровень значимости принимался равным 0,05.

Результаты исследования. Статистически значимые преимущества по влиянию на степень накопления диеновых конъюгатов зарегистрированы у модели шумового влияния над магнитным полем ($p=0,000005$, 14-й и 21-й дни) и гипертермией ($p=0,002039$, 14-й день; $p=0,001837$, 21-й день). Что касается малонового диальдегида, шумовое воздействие превзошло гипертермию к концу опыта ($p=0,000561$).

Обозначены преимущества шумовой модели в отношении церулоплазмина над гипертермией ($p=0,0167980$, 7-й день; $p=0,004813$, 21-й день) и магнитным полем ($p=0,000005$ во все контрольные точки); в отношении витамина Е – над магнитным полем ($p=0,000006$, 21-й день).

Обсуждение и заключение. Установлены значимые преимущества модели шумового воздействия над гипертермией и магнитным полем в плане моделирования окислительного стресса и характерных изменений компонентов прооксидантной/антиоксидантной системы. В отличие от температурного воздействия и магнитной нагрузки, под влиянием шума у лабораторных животных формируются статистически значимые отклонения маркеров окислительного стресса к концу первой, второй и третьей недель экспериментального воздействия. В дальнейшем предполагается изучение влияния акустической нагрузки на адаптационный потенциал теплокровного организма с целью апробации потенциальных фармакокорректоров негативного воздействия шума.

Ключевые слова: моделирование, окислительный стресс, шумовое воздействие, гипертермия, магнитное поле, перекисное окисление липидов, антиоксидантный статус, крысы

Декларация о соблюдении принципов Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей: авторы заявляют, что все проведенные исследования соответствовали принципам конвенции и правилам надлежащей лабораторной практики.

Для цитирования. Симонова Н.В., Саяпина И.Ю., Штарберг М.А., Лашин А.П., Мандро Н.М., Литвинова З.А. Эффективность моделирования окислительного стресса у крыс воздействием шума в сравнении с гипертермией и магнитным полем. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):64–73. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-63-73>

Original Empirical Research

The Efficiency of Modeling Oxidative Stress in Rats by Exposure to Noise Compared to Exposure to Hyperthermia or Magnetic Field

Natalya V. Simonova¹  , Irina Yu. Sayapina²  , Mikhail A. Shtarberg²  , Anton P. Lashin³  ,

Nikolay M. Mandro³, Zoya A. Litvinova³

¹ Kaluga State University Named after K.E. Tsiolkovski, Kaluga, Russian Federation

²Amur State Medical Academy, Blagoveshchensk, Russian Federation

³Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russian Federation

 simonova.agma@yandex.ru

Abstract

Introduction. *In vivo* model for experimental creation of the necessary pathological processes is an important element of scientific research planning. Numerous series of experiments have demonstrated the relevance of modeling oxidative stress in laboratory rats by exposure to hyperthermia, magnetic field and noise. The problem of finding the advantages of each particular prooxidant factor in modeling stress response underlies the current experiment, and its expediency is induced by the need to generate a robust response of the prooxidant/antioxidant system, with statistically significant changes of its parameters, at various periods of time. The study aims at conducting a comparative assessment of the effect of noise, hyperthermia, and magnetic field on the intensity of lipid peroxidation processes in rats.

Materials and Methods. The study was conducted at the Research Laboratory of Amur Medical Academy in 2023–2024. The experiment involved 120 white rats divided into four equal in number groups. The animals in the first group (intact) were not subjected to any impacts; the animals in the second group (experimental group 1) were subjected to hyperthermia; the animals in the third group (experimental group 2) were exposed to magnetic field; and the animals in the fourth group (experimental group 3) were exposed to noise. On 7th, 14th, and 21st days of the experiment the rats were decapitated (10 animals from each group) and their blood was sampled for analysis. Oxidative stress markers were determined using the standard techniques; the results were analysed using the Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests. The critical significance level was set to 0.05 for all assessment procedures.

Results. With regard to the influence on the accumulation degree of conjugated dienes, statistically significant advantages of noise model over the magnetic field model were recorded ($p=0.000005$ on 14th and 21st days) and over hyperthermia model ($p=0.002039$ on 14th day; $p=0.001837$ on 21st day). With regard to malondialdehyde, noise exposure surpassed hyperthermia by the end of the experiment ($p=0.000561$). With regard to ceruloplasmin, the advantages of the noise model over hyperthermia model were established ($p=0.0167980$ on 7th day; $p=0.004813$ on 21st day), as well as over the magnetic field model ($p=0.000005$ at all control points). In relation to vitamin E, the noise model advantages over the magnetic field ($p=0.000006$ on 21st day) were revealed.

Discussion and Conclusions. Significant advantages of the noise-exposure model over the hyperthermia- and magnetic-field-exposure ones in modeling the oxidative stress were established, along with the respective changes in prooxidant/antioxidant system components. By the end of the first, second, and third weeks of the experiment, the statistically significant deviation of oxidative stress markers in laboratory animals occurred under exposure to noise, unlike exposure to temperature and magnetic field. In future, studies on the acoustic load influence on the adaptive potential of warm-blooded organisms are planned to probe possible pharmacological medications to negative influence of noise.

Keywords: modeling, oxidative stress, exposure to noise, hyperthermia, magnetic field, lipid peroxidation, antioxidant status, rats

Declaration on Compliance with the Principles of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes: the authors declare that all research was conducted in compliance with the principles of Good Laboratory Practice.

For Citation. Simonova NV, Sayapina IYu, Shtarberg MA, Lashin AP, Mandro NM, Litvinova ZA. The Efficiency of Modeling Oxidative Stress in Rats by Exposure to Noise Compared to Exposure to Hyperthermia or Magnetic Field. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):64–73. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-64-73>

Введение. При проведении фармакологических и патофизиологических доклинических исследований перед начинающим специалистом зачастую встает вопрос, связанный с выбором экспериментальной модели индукции необходимых для изучения процессов [1–7]. Инициирование процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) клеточных мембран и последующее формирование окислительного стресса возможно воздействием гипертермии, магнитного поля, шума: данные модели апробировались и отрабатывались в отношении дозы и длительности экспозиции (суточной, курсовой) на кафедре фармакологии Амурской медакадемии на протяжении многих лет [8–10]. Особую актуальность приобретают исследования, посвященные шумовому воздействию на теплокровный организм ввиду ежегодного увеличения интенсивности акустической нагрузки на человека и животных [11–16]. Безусловно, все вышеперечисленные факторы воздействия способны запускать свободнорадикальные реакции, но хотелось бы выяснить сравнительную эффективность различных моделей в проекции конкретных маркеров окислительного стресса и временного диапазона, в течение которого реагируют параметры прооксидантной/антиоксидантной системы на воздействие стресс-факторов. На наш взгляд, надежность в максимально возможных изменениях показателей системы «перекисное окисление липидов/антиоксидантная защита» и наибольший процент вероятности формирования окислительного стресса укажут на преимущества экспериментальной модели и её востребованность на доклиническом этапе исследований.

Цель работы — проанализировать в сравнительном аспекте влияние шума, гипертермии и магнитного поля на интенсивность процессов перекисного окисления липидов биомембран в эксперименте с лабораторными крысами.

Материалы и методы. Эксперимент проведен в 2023–2024 гг. в научно-исследовательской лаборатории Амурской медакадемии (г. Благовещенск) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к доклиническим исследованиям, и одобрен локальным этическим комитетом (выписка из протокола № 9 от 07 декабря 2022). Для осуществления опыта использовали 120 белых беспородных крыс-самцов 2–3 месячного возраста массой 200–250 г. Крысы были разделены на четыре равные по численности группы: в первой группе (интактная) животных не подвергали каким-либо воздействиям; во второй группе (подопытная 1)

животных подвергали гипертермии ($+40\pm2^{\circ}\text{C}$ 45 мин/день ежедневно в течение 7, 14, 21 дней); в третьей группе (подопытная 2) животных подвергали воздействию магнитного поля (0,4 миллитесла 180 мин/день ежедневно в течение 7, 14, 21 дней); в четвертой группе (подопытная 3) животных подвергали воздействию шума (95–105 дБ 60 мин/день ежедневно в течение 7, 14, 21 дней). В процессе экспериментальных воздействий летальных случаев зарегистрировано не было.

Крыс декапитировали на 7, 14, 21-й дни эксперимента (по 10 голов из каждой группы), кровь животных собирали в охлажденные пробирки с гепарином, центрифугировали при 3000 об/мин в течение 15 мин, полученную сыворотку крови хранили при температуре -20°C до момента исследования. Интенсивность процессов перекисного окисления липидов оценивали, исследуя содержание в крови крыс: диеновых коньюгатов (по методике И.Д. Стальной), малонового диальдегида (по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой) и основных компонентов антиоксидантной системы (АОС) — церулоплазмина (по методике В.Г. Колба), витамина Е (по методике Р.Ж. Киселевич). В работе использовали спектрофотометр КФК-2МП (Загорский оптико-механический завод, Россия), спектрофотометр UNICO (United Products & Instruments, США), фотоэлектроколориметр Solar PV 1251 C (ЗАО «СОЛАР», Беларусь).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Microsoft Excel 2016 (Microsoft) и пакета прикладных программ Statisticav.10.0 (Statsoft Inc., США). Количественные показатели были проанализированы на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (количество животных в группах $n < 50$). На основе выполненного количественного анализа и графического изображения гистограмм частот было установлено, что преобладающая часть количественных данных не соответствовала нормальному типу распределения, поэтому результаты описывались с помощью расчета медианы (Мe), нижнего и верхнего квартиля ($Q_1; Q_3$). Межгрупповое сравнение по количественному показателю проводили с помощью U-критерия Манна-Уитни; статистическую значимость внутригрупповых изменений показателей в динамике — с помощью критерия Вилкоксона; для сравнения значений более чем в двух выборках и с учетом ненормального типа распределения количественных данных использовали не-

параметрическую альтернативу одномерному (межгрупповому) дисперсионному анализу — критерий Краскела-Уоллиса. Во всех процедурах оценки критический уровень значимости принимался равным 0,05.

Результаты исследования. Установлено, что воздействие шума, магнитного поля и гипертермии запускает в организме однонаправленные неспецифические процессы, связанные с повышением интенсивности свободнорадикального (перекисного) окисления липидов биомембран и формированием окислительного стресса, на что указывает накопление продуктов ПОЛ в плазме крови подопытных крыс. В частности, концентрация диеновых конъюгатов (таблица 1) на фоне экспериментальных воздействий статистически значимо выросла относительно интактных животных: к концу первой недели опыта на 23 % (гипертермия, $p < 0,05$) и 39 % (шум, $p < 0,05$) на фоне тенденции к увеличению показателя под влиянием магнитного поля (на 13 %); к концу второй недели уровень первичного продукта пероксидации достоверно увеличился

на 27 % (гипертермия), 16 % (магнитное поле), 49 % (шум, $p < 0,05$); к концу третьей недели — на 31, 17 и 58 % соответственно ($p < 0,05$). В целом, по влиянию на индукцию диеновой конъюгации липидов экспериментальные воздействия можно расположить в следующей убывающей последовательности: шум > гипертермия > магнитное поле.

Вторичный продукт липопероксидации — малоновый диальдегид (МДА) — реагировал на воздействия изучаемых факторов статистически значимым повышением в сравнении с интактной группой во все контрольные временные точки (таблица 2): на 7-й день опыта МДА вырос на 37 % (гипертермия), 45 % (магнитное поле), 53 % (шум) ($p < 0,05$); на 14-й день — на 40, 49 и 47 % соответственно ($p < 0,05$); на 21-й — на 29, 44 и 61 % ($p < 0,05$). Это позволяет расположить экспериментальные воздействия по эффективности модели следующим образом: шум > магнитное поле > гипертермия.

Таблица 1

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию диеновых конъюгатов в плазме крови подопытных и интактных крыс (нмоль/мл, Me [Q₁; Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	36,0 [35,5; 36,2]	35,6 [35,0; 35,9]	36,0 [35,8; 36,2]
Высокие температуры, n = 30	44,2 * [44,0; 44,6]	45,1 * [44,0; 45,5]	47,1 * [46,9; 47,5]
Магнитное поле, n = 30	40,6 * [40,2; 41,0]	41,4 * [40,9; 42,0]	42,1 * [41,8; 42,7]
Шумовое воздействие, n = 30	49,9 * [49,5; 50,3]	53,2 * [53,0; 53,5]	57,0 **/*** [56,6; 57,8]

Примечание: здесь и в таблицах 2, 4, 5:

* $p < 0,05$, по сравнению с интактными животными в аналогичный день опыта (по критерию Манна-Уитни);

** $p < 0,05$, по сравнению с животными на 7-й день опыта (по критерию Вилкоксона)

Таблица 2

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию малонового диальдегида в плазме крови подопытных и интактных крыс (нмоль/мл, Me [Q₁; Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	3,8 [3,7; 4,0]	4,3 [4,2; 4,5]	4,1 [3,9; 4,4]
Высокие температуры, n = 30	5,2 * [5,0; 5,5]	6,0 **/*** [5,9; 6,1]	5,3 * [5,0; 5,5]
Магнитное поле, n = 30	5,5 * [5,3; 5,8]	6,4 **/*** [6,2; 6,6]	5,9 * [5,7; 6,0]
Шумовое воздействие, n = 30	5,8 * [5,7; 6,0]	6,3 **/*** [6,0; 6,5]	6,6 **/*** [6,4; 7,0]

Таким образом, все апробируемые экспериментальные воздействия являются рабочими в плане повышения уровня маркеров окислительного стресса. При этом магнитное поле более выраженно способствует накоплению вторичного продукта ПОЛ, гипертермия — первичного, на фоне стабильной более выраженной эффективности моделирования стресса воздействием шума, что было подтверждено результатами рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса (таблица 3): во все контрольные точки

получены статистически значимые изменения дисеновых коньюгатов и малонового диальдегида у крыс, подвергнутых шумовой нагрузке, в сравнении с интактными животными. При этом зарегистрированы статистически значимые преимущества модели шумового влияния над магнитным полем ($p=0,000005$, 14-й и 21-й дни) и гипертермией ($p=0,002039$, 14-й день; $p=0,001837$, 21-й день) по уровню дисеновых коньюгатов; по МДА шумовое воздействие превзошло гипертермию к концу опыта ($p=0,000561$).

Таблица 3

Результаты рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса и двусторонние значения p для множественных сравнений концентрации продуктов липопероксидации в плазме крови крыс при воздействии гипертермии, магнитного поля, шума

Дни опыта	Группы	Ранг (среднее)	Интактная	Гипертермия	Магнитное поле	Шум
			р (двусторонние)			
Дисеновые коньюгаты						
<u>7-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,156675	1,000000	0,000645
	<u>Гипертермия</u>	25,500	0,156675		1,000000	1,000000
	<u>Магнитное поле</u>	15,500	1,000000	1,000000		0,074218
	<u>Шум</u>	37,450	0,000645	1,000000	0,074218	
<u>14-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,156675	1,000000	0,000000
	<u>Гипертермия</u>	25,500	0,156675		1,000000	0,002039
	<u>Магнитное поле</u>	15,500	1,000000	1,000000		0,000005
	<u>Шум</u>	55,300	0,000000	0,002039	0,000005	
<u>21-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,156675	1,000000	0,000000
	<u>Гипертермия</u>	25,500	0,156675		1,000000	0,001837
	<u>Магнитное поле</u>	15,500	1,000000	1,000000		0,000005
	<u>Шум</u>	55,500	0,000000	0,001837	0,000005	
Малоновый диальдегид						
<u>7-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		1,000000	0,054836	0,000531
	<u>Гипертермия</u>	18,350	1,000000		1,000000	0,191444
	<u>Магнитное поле</u>	28,200	0,054836	1,000000		1,000000
	<u>Шум</u>	37,800	0,000531	0,191444	1,000000	
<u>14-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,598197	0,004150	0,016423
	<u>Гипертермия</u>	21,550	0,598197		1,000000	1,000000
	<u>Магнитное поле</u>	33,900	0,004150	1,000000		1,000000
	<u>Шум</u>	31,000	0,016423	1,000000	1,000000	
<u>21-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		1,000000	0,009442	0,000000
	<u>Гипертермия</u>	18,100	1,000000		1,000000	0,000561
	<u>Магнитное поле</u>	32,200	0,009442	1,000000		0,307174
	<u>Шум</u>	50,300	0,000000	0,000561	0,307174	

Антиоксидантная система снизила свою активность в ответ на воздействие прооксидантных факторов, в частности, уровень церулоплазмина в плазме крови подопытных крыс (таблица 4) достоверно уменьшился на 31 % (гипертермия), 16 % (магнитное поле), 39 % (шум) к концу первой недели экспериментальных воздействий ($p < 0,05$); на 33, 15 и 42 % соответственно — к концу второй недели ($p < 0,05$); на 27, 16 и 50 % — к концу третьей ($p < 0,05$).

На этом фоне концентрация витамина Е (таблица 5) под влиянием магнитного поля была статистически значимо ниже лишь к концу эксперимента; шума — на 14-й (17 %, $p < 0,05$) и 21-й день (31 %, $p < 0,05$);

гипертермии — на 7-й (28 %, $p < 0,05$), 14-й (30 %, $p < 0,05$) и 21-й день (29 %, $p < 0,05$).

Таким образом, церулоплазмин более выраженно реагирует при моделировании окислительного стресса акустической нагрузкой (шум > гипертермия > магнитное поле), витамин Е — температурной (гипертермия > шум > магнитное поле). Это отразилось в целом на результатах рангового дисперсионного анализа (таблица 6), которые подтвердили преимущества в отношении церулоплазмина шумовой модели над гипертермией ($p=0,0167980$, 7-й день; $p=0,004813$, 21-й день) и магнитным полем ($p=0,000005$ во все контрольные точки), в отношении витамина Е — над магнитным полем ($p=0,000006$, 21-й день).

Таблица 4

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию церулоплазмина в плазме крови подопытных и интактных крыс (мкг/мл, Мe [Q₁;Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	25,9 [25,8; 26,2]	26,0 [25,8; 26,5]	26,0 [25,6; 26,4]
Высокие температуры, n = 30	18,0 * [17,8; 18,2]	17,3 * [16,9; 18,0]	19,0 * [18,8; 19,1]
Магнитное поле, n = 30	21,8 * [21,5; 22,1]	22,1 * [21,5; 22,4]	21,9 * [21,4; 22,0]
Шумовое воздействие, n = 30	15,7 * [15,5; 16,0]	15,0 * [14,6; 15,3]	13,0 * [12,9; 13,4]

Таблица 5

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию витамина Е в плазме крови подопытных и интактных крыс (мкг/мл, Мe [Q₁;Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	45,9 [45,5; 46,2]	45,8 [45,3; 46,2]	45,8 [45,4; 46,3]
Высокие температуры, n = 30	33,2 * [32,8; 33,9]	32,2 * [31,8; 32,6]	32,9 * [32,8; 33,8]
Магнитное поле, n = 30	42,1 [42,0; 42,6]	43,4 [43,1; 43,8]	41,1 * [40,8; 41,3]
Шумовое воздействие, n = 30	41,2 * [40,8; 41,5]	38,0 * [37,5; 38,2]	31,6 ** [31,2; 32,0]

Таблица 6

Результаты рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса и двусторонние значения р для множественных сравнений концентрации компонентов антиоксидантной системы в плазме крови крыс при воздействии гипертермии, магнитного поля, шума

Дни опыта	Группы	Ранг (среднее)	Интактная	Гипертермия	Магнитное поле	Шум
			р (двусторонние)			
Церулоплазмин						
<u>7-й</u>	Интактная	55,500		0,025058	1,000000	0,000000
	Гипертермия	30,950	0,025058		0,937068	0,016798
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,937068		0,000005
	Шум	5,5000	0,000000	0,016798	0,000005	
<u>14-й</u>	Интактная	55,500		0,007813	1,000000	0,000000
	Гипертермия	28,400	0,007813		0,428483	0,050511
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,428483		0,000005
	Шум	5,5000	0,000000	0,050511	0,000005	
<u>21-й</u>	Интактная	55,500		0,075708	1,000000	0,000000
	Гипертермия	33,600	0,075708		1,000000	0,004813
	Магнитное поле	45,500	1,000000	1,000000		0,000005
	Шум	5,5000	0,000000	0,004813	0,000005	
Витамин Е						
<u>7-й</u>	Интактная	55,500		0,000005	1,000000	0,162544
	Гипертермия	15,500	0,000005		0,001935	0,150995
	Магнитное поле	45,400	1,000000	0,001935		1,000000
	Шум	35,600	0,162544	0,150995	1,000000	
<u>14-й</u>	Интактная	55,500		0,000000	1,000000	0,103517
	Гипертермия	11,800	0,000000		0,000240	0,057122
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,000240		1,000000
	Шум	34,400	0,103517	0,057122	1,000000	
<u>21-й</u>	Интактная	55,500		0,000379	1,000000	0,000000
	Гипертермия	22,600	0,000379		0,050511	0,503283
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,050511		0,000006
	Шум	6,0000	0,000000	0,503283	0,000006	

Обсуждение и заключение. Учитывая совокупность фактов, включающих изменения компонентов прооксидантной/антиоксидантной системы при воздействии различных стресс-факторов, значимые преимущества в плане моделирования окислительного стресса установлены в модели шумового воздействия, превосходящие по степени индукции процессов ПОЛ модели гипертермии и магнитной нагрузки. Важно, что во все контрольные временные точки модель акустической нагрузки запускала в теплокровном организме каскад реакций, направленных на повышение интенсивности процессов пероксидации. Объяснением данному факту может служить определение мишенией для шумового воздействия: в единичных публикациях указано, что на

биологические мембранны, и в частности на белки клеточных мембран, нацелено действие звуковых волн [17]. В результате воздействия шума меняются конформационно-функциональные свойства интегральных и поверхностных белков, что прежде всего сказывается на клеточной проницаемости и катионно-анионном дисбалансе со всеми вытекающими последствиями [18]. Важно учитывать в данных условиях развитие мембранный энзимопатии, сопутствующей увеличению интенсивности процессов свободнорадикального (перекисного) окисления липидов, являющихся ключевой структурой белково-липидного кластера биомембран. Как камень, падающий с вершины горы, повышение интенсивности вышеперечисленных реакций тянет за собой це-

лый каскад процессов, связанных с перегрузкой эндогенных антиоксидантов. Именно поэтому истощается резерв эндогенной антиоксидантной системы, снижение активности основных компонентов которой было подтверждено настоящим исследованием.

Таким образом, моделирование окислительного стресса в организме лабораторных животных влиянием шума подтвердило свою эффективность, базиру-

ющуюся на выраженных изменениях параметров антиоксидантного статуса к концу первой, второй и третьей недель экспериментального воздействия. Проведенное исследование предполагает дальнейшее изучение влияния акустической нагрузки на адаптационный потенциал теплокровного организма с целью апробации потенциальных фармакокорректоров негативного воздействия шума.

Список литературы/References

1. Косолапов В.А., Трегубова И.А. Моделирование стресса в эксперименте. *Лекарственный вестник*. 2022;23(2(86)):17–19.
Kosolapov VA, Tregubova IA. Modeling Stress in an Experiment. *Lekarstvennyi vestnik (Medicinal Bulletin)*. 2022;23(2(86)):17–19. (In Russ.)
2. Ганапольский В.П., Агафонов П.В., Матыцын В.О. Моделирование холода-стрессовой дезадаптации у крыс с целью разработки методов ее фармакологической коррекции. *Российские биомедицинские исследования*. 2022;7(1):3–15. <https://doi.org/10.56871/2489.2022.64.64.001>
Ganapolsky VP, Agafonov PV, Matytsyn VO. Modeling of Cold-Stress Disadaptation in Rats to Develop Methods for Its Pharmacological Correction. *Russian Biomedical Research*. 2022;7(1):3–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.56871/2489.2022.64.64.001>
3. Pirotta E, Thomas L, Costa DP, Hall AJ, Harris CM, Harwood J. Understanding the Combined Effects of Multiple Stressors: A New Perspective on a Longstanding Challenge. *Science of the Total Environment*. 2022;821:153322. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153322>
4. Деев Р.В., Билялов А.И., Жампесов Т.М. Современные представления о клеточной гибели. *Гены и клетки*. 2018;1(13):6–19. <https://doi.org/10.23868/201805001>
Deev RV, Bilyalov AI, Zhampesov T.M. Modern ideas about cell death. *Genes and Cells*. 2018;1(13):6–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.23868/201805001>
5. Semenza GL. Pharmacologic Targeting of Hypoxia-Inducible Factors. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 2019;1(59):379–403. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010818-021637>
6. Foster J, Hodder SG, Lloyd AB, Havenith G. Individual Responses to Heat Stress: Implications for Hyperthermia and Physical Work Capacity. *Frontiers in Physiology*. 2020;11:541483. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.541483>
7. Рапиев Р.А., Маннапова Р.Т. Биохимический статус организма животных как компенсаторно-регуляторная реакция на фоне действия стресса. *Фундаментальные исследования*. 2013;(10–12):2663–2666.
Rapiev R.A., Mannanova R.T. Biochemical status of the animal body as a compensatory-regulatory reaction against the background of stress. *Basic research*. 2013;10–12:2663–2666. (In Russ.)
8. Симонова Н.В., Доровских В.А., Ли О.Н. и др. Коррекция окислительного стресса природными антиоксидантами. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2014;(53):84–88.
Simonova NV, Dorovskikh VA, Lee ON, Anokhina RA, Shtarberg MA., Simonova NP. Correction of Oxidative Stress by Natural Antioxidants. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2014;53:84–88. (In Russ.)
9. Лашин А.П., Симонова Н.В. Фитопрепараты в коррекции окислительного стресса у телят. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017;(4(44)):131–135.
Lashin AP, Simonova NV. Phytopreparations in Correction of Oxidative Stress in Calves. *Far Eastern Agrarian Journal*. 2017;4(44):131–135. (In Russ.)
10. Затворницкий В.А., Симонова Н.В., Штарберг М.А., Терещенко Т.А., Гуляева А.С. Защитные эффекты реамберина при шумовом воздействии в эксперименте. *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2024;87(1):25–30. <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2024-87-01-25-30>
Zatvornitsky VA., Simonova NV, Shtarberg MA, Tereshchenko TA, Gulyaeva AS. Protective Effects of Reamberin under Noise Exposure in the Experiment. *Ehksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya (Experimental and Clinical Pharmacology)*. 2024;87(1):25–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2024-87-01-25-30>
11. Зайнуллина А.З., Нестерова О.В., Бирюкова Н.В. Факторы риска и профилактика шумового воздействия на организм человека. *Тенденции развития науки и образования*. 2021;(74–1):69–74. <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-14>
Zainullina AZ, Nesterova OV, Biryukova NV. Risk Factors and Prevention of Noise Exposure on the Human Body. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya (Trends in the development of science and education)*. 2021;(74–1):69–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-14>

12. Рахимгулова Р.И. Воздействие шума на организм человека. В: *Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование»*; 2022. С. 221–225.
- Rakhimgulova RI. The Impact of Noise on the Human Body. In: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "Ecology and Nature Management". 2022; P. 221–225. (In Russ.)
13. Lim J, Kweon K, Kim HW, Cho SW, Park J, Sim CS. Negative Impact of Noise and Noise Sensitivity on Mental Health in Childhood. *Noise Health*. 2018;20(96):199–211. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_9_18
14. Liu Y, Yan Sh, Zou L, Wen J, Fu W. Noise Exposure and Risk of Myocardial Infarction Incidence and Mortality: A Dose-Response Meta-Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(31):46458–46470. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20377-w>
15. Radosz J. Effects of Tonal Noise on Workers' Annoyance and Performance. *Noise and Health*. 2021;23(111):117–127. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_28_20
16. Zaman M, Muslim M, Jehangir A. Environmental Noise-Induced Cardiovascular, Metabolic and Mental Health Disorders: A Brief Review. *Environmental Science and Pollution Research Int.* 2022;29:76485–76500. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22351-y>
17. Адибаев Б.М., Алмабаева Н.М., Ахсанова О. Влияние звуковых волн на организм. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2018;(1):262–263.
- Adibaev BM, Almabayeva NM, Akhsanova O. Influence of Sound-Waves on an Organism. *Vestnik KAZNMU (Bulletin of the Kazakh National Medical University)*. 2018;(1):262–263. (In Russ.)
18. Торкунова О.В. Холинергическая регуляция нарушений функций центральной нервной системы вследствие воздействия низкочастотных акустических колебаний. Диссертация кандидата биологических наук. Санкт-Петербург; 2019.
- Torkunova OV. Cholinergic Regulation of Central Nervous System Dysfunctions due to Exposure to Low-Frequency Acoustic Vibrations. Cand.Sci. (Biology) Dissertation. St. Petersburg; 2019. (In Russ.)

Об авторах:

Наталья Владимировна Симонова, доктор биологических наук, профессор кафедры медико-биологических дисциплин Калужского государственного университета им. К.Э. Циолковского (248023, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Степана Разина, д. 26), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), simonova.agma@yandex.ru

Ирина Юрьевна Саяпина, доктор биологических наук, зав. кафедрой гистологии и биологии Амурской государственной медицинской академии (675006, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Горького, д. 95), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), sayapina_agma@mail.ru

Михаил Анатольевич Штарберг, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории Амурской государственной медицинской академии (675006, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Горького, д. 95), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), shtarberg@mail.ru

Антон Павлович Лашин, доктор биологических наук, профессор кафедры патологии, морфологии и физиологии Дальневосточного государственного аграрного университета (675005, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Кузнецкая, д. 91), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ant.lashin@yandex.ru

Николай Михайлович Мандро, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и микробиологии Дальневосточного государственного аграрного университета (675005, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Кузнецкая, д. 91), [SPIN-код](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Зоя Александровна Литвинова, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и микробиологии Дальневосточного государственного аграрного университета (675005, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Кузнецкая, д. 91), [SPIN-код](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Заявленный вклад авторов:

Н.В. Симонова: научное руководство, формирование основной концепции, цели исследования, анализ результатов исследований, формирование выводов, подготовка и доработка текста.

И.Ю. Саяпина: помочь в доработке текста.

М.А. Штарберг: сбор и обработка материала.

А.П. Лашин: анализ результатов исследований, подготовка текста.

Н.М. Мандро: помочь в доработке текста.

З.А. Литвинова: помочь в доработке текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Natalya V. Simonova, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Medical and Biological Disciplines Department, Kaluga State University Named after K.E. Tsiolkovski (26, Stepana Razina Str. 248023, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), simonova.agma@yandex.ru

Irina Yu. Sayapina, Dr.Sci. (Biology), Head of the Histology and Biology Department, Amur State Medical Academy (95, Gorky Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675006, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), sayapina_agma@mail.ru

Mikhail A. Shtarberg, Cand.Sci. (Medicine), Senior Research Associate at the Central Research Laboratory, Amur State Medical Academy (95, Gorky Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675006, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), shtarberg@mail.ru

Anton P. Lashin, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Pathology, Morphology and Physiology Department, Far Eastern State Agrarian University (91, Kuznechnaya Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ant.lashin@yandex.ru

Nikolay M. Mandro, Dr.Sci. (Veterinary), Professor of the Veterinary and Sanitary Expertise, Epizootiology and Microbiology Department, Far Eastern State Agrarian University (91, Kuznechnaya Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Zoya A. Litvinova, Dr.Sci. (Veterinary), Professor of the Veterinary and Sanitary Expertise, Epizootiology and Microbiology Department, Far Eastern State Agrarian University (91, Kuznechnaya Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Claimed Contributorship:

NV Simonova: scientific supervision, formulating the main concept, aim and objectives of the research, analysis of research results, formulating the conclusions, preparing and refining the text

IYu Sayapina: assistance in text refining.

MA Shtarberg: collecting and processing the materials.

AP Lashin: analysis of research results, preparing the text

NM Mandro: assistance in text refining.

ZA Litvinova: assistance in text refining.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 21.10.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 20.11.2025

Принята к публикации / Accepted 24.11.2025

ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИЯ, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

PRIVATE ANIMAL HUSBANDRY, FEEDING, TECHNOLOGIES OF FEED PREPARATION AND PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTS



УДК: 636.084

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-74-89>

Original Empirical Research

Basic Principles and Practical Instructions for Proper Feeding of Donkeys

Nenad Matejević¹✉, Milivoje Urošević²✉

¹ University of Belgrade, Belgrade, Serbia

² Center for Preservation of Indigenous Breeds, Belgrade-Zemun, Serbia

✉ nenad.matejevic@gmail.com



EDN: YWVNAM

Abstract

This paper presents the nutritional requirements of donkeys, with a special focus on the needs for water, energy, proteins, minerals and vitamins. Donkeys, as working animals originating from arid regions, have specific physiological adaptations that affect their nutritional needs. The aim of this paper is to review and present scientifically based information on nutritional requirements, nutrients and recommendations for feeding donkeys based on current research in the world. The paper shows the needs for water, energy, proteins, minerals and vitamins, as well as methods of assessing food digestibility and availability. Special attention is paid to the variations in needs depending on the physiological state (growth, pregnancy, lactation), the intensity of work and the quality of available food. The importance of food digestibility and correctness of meal that meets all nutritional needs are also presented. The need for an adequate balance between rough and concentrated feed, as well as the potential danger of inadequate supplementation, are emphasized. Based on the available literature and field observations, practical instructions are given for proper feeding of donkeys in different breeding conditions, with the aim of preserving their working capacity, health and longevity.

Keywords: donkey, non-ruminant diet, condition, nutritional requirements

For Citation. Matejević N, Urošević M. Basic Principles and Practical Instructions for Proper Feeding of Donkeys. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):74–89. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-74-89>

Оригинальное эмпирическое исследование

Основные принципы и практические рекомендации по правильному кормлению ослов

Ненад Матеевич¹✉, Миливоје Урошевић²✉

¹ Белградский университет, Белград, Сербия

² Центр сохранения аборигенных пород, Белград-Земун, Сербия

✉ nenad.matejevic@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются пищевые потребности ослов, особое внимание уделяется их потребностям в воде, энергии, белках, минералах и витаминах. Организм ослов, которые являются рабочими животными родом из засушливых регионов, прошел ряд физиологических адаптаций, влияющих на их пищевые потребности. Цель статьи — провести обзор и представить научно обоснованную информацию о пищевых потребностях, питательных веществах и рекомендациях по кормлению ослов, основываясь на современных мировых исследованиях. В статье показаны потребности в воде, энергии, белках, минералах и витаминах, а также методы оценки усвоения и наличия корма. Особое внимание уделяется изменениям потребностей в зависимости от физиологического состояния (взросление, беременность, лактация), интенсивности работы и качества имеющегося корма. Также обоснована важность усвоения корма и правильного питания, отвечающего всем пищевым потребностям. Подчеркнута необходимость оптимального баланса между грубым и концентрированным кормом, а также потенциальная опасность недостаточного или избыточного содержания питательных веществ в корме.

© Matejević N, Urošević M., 2025

ность неоптимально подобранных добавок. На основе имеющейся литературы и полевых наблюдений даны практические указания по правильному кормлению ослов в различных условиях разведения с целью сохранения их работоспособности, здоровья и долголетия.

Ключевые слова: осел, нежвачный рацион, состояние, пищевые потребности

Для цитирования. Матеевич Н., Урошевич М. Основные принципы и практические рекомендации по правильному кормлению ослов. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):74–89. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-74-89>

Introduction. A donkey is a herbivore, and there are many assumptions that working donkeys can do their work successfully on grazing alone and that they do not need any additional feeding. However, nutritional requirements of donkeys can vary throughout the year, depending on whether they are working hard or are pregnant or nursing their foals. Grazing quality varies throughout the year, as grasses develop from young easily digestible plants to mature plants after flowering, when plants contain more fiber and are less digestible [1]. In order to conclude whether a donkey is well fed, it is necessary to know its nutritional requirements, and then determine the best way to meet these requirements from the available feed.

Many scientific papers focus on measuring and discovering the nutritional needs of horses in the context of their participation in various competitions. In the scientific literature the requirements of horses for energy, protein, minerals and vitamins have been determined [2]. The average nutritional composition of food that is usually given to horses is available in food composition tables. However, there is significantly less information in the literature about the needs of donkeys.

Donkeys and horses are non-ruminant herbivores, and digest the fibrous part of food in the cecum and colon unlike cattle, which are herbivorous ruminants and digest the fibrous part of food in the rumen [3]. Fiber digestion products are less available to non-ruminant herbivores than to ruminant herbivores. To circumvent this and ensure better resorption, the nutritional strategy for non-ruminant herbivores has to imply more frequent intake of food to ensure daily needs [1]. Because of their size, donkeys eat more roughage per unit of body mass than cattle, but less dry matter is digested [4].

Cattle consume dry matter equivalent to 2% of their body weight per day, donkeys consume roughage equivalent to 2–2.5% of their body weight, while horses consume in the range of 2.5–3% of their body weight [1]. Compared to a horse, a donkey is better at digesting rough, bulky feed and can digest a greater proportion of dry matter than a horse, if they eat the same feed. This difference is hardly noticeable with highly digestible coarse forages (alfalfa), but, digestibility can be as much as 3–4% better with less digestible forages (barley straw, corn cob).

The reasons why donkeys are better than horses and ponies at digesting poor-quality rough feed are not yet known. According to some researches, the main reason is the different relationships of microorganisms in the cecum and

colon, where cellulose is better digested [1]. According to other research, the reason is that the digestive tract of a donkey is longer in relation to the total body mass than that of a horse. Donkeys have a lower food requirement per unit of body mass compared to a horse, some reports state that it is up to 25% lower than that in horses [5].

Comparative studies on the energy and protein requirements of donkeys and horses have shown no differences [5]. Therefore, in the absence of other evidence, it is possible to say that at least part of the reason why donkeys do better than horses on the same feed is their greater ability to digest roughage.

The aim of this paper is to review and present scientifically based information on nutritional requirements, nutrients and recommendations for feeding donkeys based on current research in the world. The paper shows the needs for water, energy, proteins, minerals and vitamins, as well as methods of assessing food digestibility and availability.

Materials and Methods. This study applied a literature review to find existing scientifically based information on nutritional requirements, nutrients and recommendations for feeding donkeys. For the purposes of the work, the Serbian scientific literature database, Google Scholar, CABI, RG (Research Gate) platform and RISC (РИНЦ) – Russian Index of Science Citation database were reviewed. In the available literature, any significant amount of research on the nutritional needs of donkeys as well as on nutrients suitable for feeding donkeys has not been found. The researched literature goes back to 1948, when the book by the Russian author I.S. Popov "Feeding domestic animals" [6] was translated into Serbian and used as a university textbook. Serbian scientific literature about nutrition of domestic animals refers to a donkey as a horse, without detailed explanations. The same is true for literary sources in other languages. By reviewing the RG platform database, it was determined that there was no research dealing with the nutrition of donkeys. The large international organization CABI (nonprofit intergovernmental development and information organisation), which has a base with thousands of units, does not have studies on the nutrition of donkeys. A search in the RISC database did not yield with any adequate text on donkey nutrition. Just few research papers dealing with donkey nutrition from the aspect of physiological features and energy requirements were published.

Nutritional requirements of donkeys. The nutrients that all animals, including donkeys, need are: water, energy, proteins, minerals and vitamins.

Water. Many working equines suffer from various degree dehydration, because they do not get enough water during the working day. Donkeys evolved in a desert environment, which means that they typically require less water per unit of body mass than most other large mammals, except for the camel [1]. The amount of water a donkey needs depends on the food it eats, the work it does, its physiological state and the temperature of the environment in which it lives and works. The more dry matter an animal eats, the more water it needs.

For every kilogram of dry matter it eats, in cold conditions and without work, a donkey needs 1.1 liters of water [5]. When working, a donkey spends a lot of energy on muscle contractions. The by-product of this process is heat. A donkey loses extra heat to maintain its body temperature during work, sweating and, in extreme conditions, panting to cool itself. These processes use up water in the body. Therefore, a working donkey needs 5–6 times more water than a non-working donkey [1].

During lactation, a donkey needs almost double the amount of water compared to a non-lactating donkey. If the air temperature rises above 30°C, and at the same time the relative humidity increases, there is no significant increase in the need for water. In the event that at such air temperature the relative humidity is low, the need for water increases 3-4 times [5].

In the case of low air temperatures and high relative air humidity, the need for water does not increase, but if at the same low air temperatures, relative air humidity decreases, there appears thirst and need for increased consumption of drinking water.

A wild donkey, in its homeland (Nubia, Somalia), does not drink water every day [7]. Only donkeys with foals and pregnant donkeys go to the watering holes every day, and the other categories usually go every second day. In that case, they can drink up to 25 liters of water.

It is considered, in general, that donkeys need, daily, an amount of water that corresponds to 10% of their body weight.

Energy. Energy requirements are usually described as the amount of digestible energy a donkey needs. This means the amount of energy it needs in a digestible form. All food contains energy, but the amount a donkey can digest depends on the nature of the food. For example, it can digest about 85% of the energy present in the corn kernel, but only 35% of the energy present in the corn husk [1]. This is because corn husks have much more fiber than corn kernels, so less energy is available for digestion and more is excreted in the feces. This solves the problem of different forages having different digestibility. Donkey that weighs 150 kg needs around 20 MJ of the digestible energy per day for maintenance [5]. In their research, Smith and Wood [14] showed the daily food requirements in dry matter for a daily food consumption of 1.5% of body weight. According to them, a 150 kg donkey has a daily digestible energy

requirement of 12–14 MJ per day, based on a daily consumption of 2.3 kg of dry matter. The required energy density of food is 5.5–6.5 MJ/kg of dry food matter. A 200 kg donkey needs digestible energy of 16–19 MJ per day, where the daily consumption is 3 kg of dry matter. The required energy density of food is also 5.5–6.5 MJ/kg of dry matter of food. Donkeys with a body weight of 250 kg have daily digestible energy needs of 20–24 MJ per day, based on the consumption of 3.8 kg of dry matter. The required energy density of food for this body weight of a donkey is identical to the previous two, 5.5–6.5 MJ/kg. This does not mean much unless it can be related to the actual amounts of food needed to meet the requirements. All animals use energy to contract muscles, therefore, when a donkey is working, its need for energy will increase [1]:

Energy requirements for work = energy expenditure for walking + energy expenditure for carrying loads + energy expenditure for pulling loads + energy expenditure for moving uphill, against the force of gravity.

The greatest energy used in work is that used in walking. The additional energy used for carrying or pulling a load or moving uphill, in addition to that used for walking, is relatively small. A donkey uses more energy per meter when traveled on rough ground than on firm flat ground, and it will travel at a slower speed and travel less during the day. If it is pulling or carrying heavy loads that require more additional energy, it will move at a slower speed than if it is lightly loaded and again will travel less during the workday. This means that the additional energy required for work can be accurately estimated by determining the distance traveled during work, rather than worrying about the type of work, workload or terrain. An average-sized donkey (150 kg) will need about 60% extra energy when walking 10 km, 100% extra energy when walking 20 km and about 140% extra energy walking 30 km working, either pulling a cart over a road with a hard surface or carrying a load on its back [1].

If distances are difficult to estimate, hours spent working can be used to estimate energy needs. A donkey that works 4 hours a day will usually need about 50% more energy than if it doesn't work. Working for 6 hours a day can mean doubling the energy needs, and working for 8 hours a day, means an increase in energy needs of up to 2.5 times compared to what is needed for maintenance on a non-working day [1]. This also takes into account some short periods of rest during the working day, i.e. it is assumed that the donkey does not spend the whole time in motion during the working day.

Donkeys in the last three months of pregnancy need about 10% more energy every day than when they are not pregnant, while during lactation in the first three months they need about 120% more energy than when they are not lactating and working [5]. The amount required will decrease by about 50% of energy relative to resting require-

ments in later periods of lactation as milk production decreases. Many growing donkeys have energy needs similar to that of adult donkeys, but because they are small they have a lower food intake. Therefore, their energy needs should be provided in a more concentrated form than that available in roughage.

Energy is available to a donkey in several different forms. Energy is obtained through food from carbohydrates, fats and proteins. It is also available from glycogen stored in the body, in the muscles and liver or fat in adipose tissue throughout the body. Getting energy from protein is unprofitable and expensive. Many working donkeys are lean and therefore have little body reserves. The main source of energy from food for working animals is carbohydrates and fats [8]. Carbohydrates are available in two forms: (a) *simple carbohydrates*, that are broken down to glucose which is absorbed from the small intestine into the bloodstream and (b) *complex carbohydrates* found in fibrous plant material, which are fermented by microorganisms in the large intestine to produce volatile fatty acids which are absorbed through the intestinal wall into the bloodstream [8].

Concentrated food contains carbohydrates, mostly in simple form, while rough food is rich in fiber, complex carbohydrates. Concentrated feed provides a donkey with a more readily available form of energy, which can be easily digested and absorbed in the small intestine. A donkey that eats mainly complex carbohydrates in roughage relies mainly on microorganisms in the large intestine to produce energy-yielding substrates in a usable form. Donkeys cannot be fed only concentrates. They must have enough fiber in the food to stimulate muscle contractions in the digestive tract and to dilute simple carbohydrates that are more easily fermented. This reduces the chance of colic or other digestive problems, which can occur when ungulates are fed high levels of concentrate. If the daily energy requirement of a working donkey is doubled then in theory on a working day the donkey will have to eat at least twice as much as it needs for maintenance, or lose weight. A working donkey on roughage of poor to moderate quality does not increase its voluntary food intake in response to work. In some cases, feed intake may even be reduced because a working donkey has less time to feed.

Therefore, in order to meet additional energy needs during the working day, a donkey should be given a higher quality meal. This is one with more digestible energy than that found in most roughages, such as crop residues and hay, which are commonly available for working donkeys. Failure to improve the energy concentration of a working donkey's ration will result in the donkey losing body mass during work [5]. Some weight loss may be acceptable in a working donkey that only does seasonal work. It is possible to gain weight in the off-season, but weight loss is not acceptable in a donkey that works every day of the year, or one that starts working in a lean state.

Proteins. Protein requirements for adult donkeys are relatively low [9]. They are, for the most part, necessary to meet the protein needs of the microorganisms in the large intestine, and they are vital for the breakdown of dietary fiber. Work does not significantly increase donkeys' protein needs. Any increase in protein requirements in work, usually due to tissue recovery after injury, is likely to be met by the protein contained in the supplementary feed provided to meet the additional energy needs of the working donkey.

Growing animals, as well as pregnant and lactating donkeys, require more protein in their feed than other categories of donkeys [10]. The needs of pregnant donkeys for proteins increase in the last 3 months of pregnancy, which is the period when the growth and development of the fetus is the greatest. This is the time when the developing fetus takes up more space in the abdominal cavity, reducing the donkey's capacity to eat bulky food. In order to meet the additional energy and protein needs during this period, it is necessary to increase the amount of concentrate in the meal and reduce bulky food.

Proteins are made up of long chains of amino acids. There are 25 important amino acids, 10 of which are essential in nutrition [2]. Essential amino acids are necessary because the donkey or the microorganisms in the cecum and colon cannot synthesize them in sufficient quantities to meet daily needs. There is no system for digesting microbial proteins in the large intestine, therefore the donkey really depends on the protein it eats to provide amino acids.

Plants can synthesize all the amino acids that donkey needs. A young growing donkey has high lysine requirements. This is the amino acid most likely to be deficient and inhibit growth if a young donkey is fed only roughage. Amino acids that are ingested in excess cannot be stored, but are instead metabolized to provide energy or converted into the body fat and glycogen reserves. Based on this, it is very expensive and unprofitable to feed donkeys with large amounts of protein. This situation rarely occurs with the working donkey living in tropics, because good sources of dietary protein are generally expensive and therefore used sparingly by most owners who can afford them.

The amount of protein in feed is usually expressed as the amount or percentage of protein in the dry matter of the feed. This is actually the nitrogen in the dry matter of food multiplied by 6.25 [8]. This is based on the fact that most proteins contain 16% nitrogen, i.e. $100/16 = 6.25$ units of protein for each unit of nitrogen. It is easy to measure the nitrogen content in food, it is much more difficult to measure the amino acid content as well as the amount of protein in it. Foods with similar nitrogen content may have the same crude protein content, but the proportion of essential amino acids and thus the quality of the food may be different. The higher the proportion of essential amino acids, the better the quality of the protein. In ruminants, a large part of the protein in the diet is broken down in the rumen into

simple nitrogenous compounds and is used by microorganisms for growth and production of microbial proteins. Therefore, part of the additional nitrogen that promotes the growth of microbes and thus helps the fermentation of complex carbohydrates can be provided in the diet as urea. In donkeys, this can have fatal consequences, as the urea would be absorbed directly into the bloodstream through the stomach wall, before reaching the microorganisms in the large intestine, where it could be of use. This means that providing urea can cause toxicity, which can lead to a fatal outcome. Therefore, all the protein needs of a donkey and the nitrogen needs of the microorganisms in its large intestine must be provided from the protein in the food. Donkey feed should never be supplemented with urea or ruminant concentrate which containing urea.

The highest quality proteins, those that contain the highest proportion of essential amino acids in the protein, are proteins of animal origin such as fish meal. The greatest of plant proteins is soy. Legumes are roughage that contain the highest amount of protein. As grasses and cereal plants mature, the protein content of the stems and leaves decreases, and so does the protein content in roughage made of them.

Hay protein quality declines as the crop is harvested later in the growing season. Ripe straw and corn husks contain very small amounts of protein. The same as with energy in food, it is important to know how much protein in food is available to the donkey, i.e. how much can be digested in the intestines and how much is excreted in the feces.

Minerals, vitamins. Minerals are inorganic elements, which have a number of functions in metabolic processes and activities in the body. The most abundant minerals are calcium, phosphorus and magnesium (important for the structure of the body and skeleton), sodium, potassium and chlorine (important for acid-base balance and fluid regulation), sulfur (necessary in metabolic processes). Trace minerals (required in small amounts in the donkey's body) are iron, manganese, zinc, copper, iodine, selenium and cobalt. All of them can be obtained from food. Calcium, phosphorus and magnesium requirements are greatest in growing animals. A working animal needs to maintain fluid balance by replacing sodium lost through sweat. It is therefore important to ensure that the working donkey is given a handful of salt in its food every day, or that it is given rock salt or lick blocks while it is resting.



Fig. 1. After the return of the herd and the donkey from grazing, in Anatolia (TR) the donkey licks the salt rock to take in minerals and vitamins

Vitamins are organic substances necessary for the proper functioning of physiological processes. They are needed in very small quantities. There are two types of vitamins. Fat-soluble vitamins are A, D3, E and K, and water-soluble vitamins are vitamin C and B vitamins. Vitamins B and K2 are synthesized by microorganisms in the large intestine, so it is less important to get them through the diet, and vitamin C can be produced by the donkey in sufficient quantities to meet the needs. Fresh green leafy vegetables and grass are good sources of vitamins, therefore they should be regularly included in small amounts in the diet. When donkeys do not have access to fresh green plant material, mineral and vitamin supplements that are widely available can be added to rations.

Measurement of food digestibility. Food digestibility is assessed by measuring the degree to which dry matter, organic matter, proteins or fiber components of food are digested [8]. Dry matter digestibility can be determined by measuring the amount of dry matter eaten during a certain period (usually not less than 7 days) and the amount of dry matter excreted in the feces at the same time [1]. This means confining donkeys to individual stalls for a period and weighing the food they eat and the feces they excrete. Samples of daily feed intake and collected feces are dried to constant weight (until all water is gone) to determine the dry matter content of each. From these values, the total dry matter that is eaten and the total excreted are calculated. The digestibility of dry matter in food expressed as a percentage could be calculated with the following formula [1]:

$$\text{Digestibility of feed (\%)} = \frac{\text{Weight of dry matter in the food} - \text{weight of dry matter in the feces} \times 100}{\text{Weight of dry matter in the food}}$$

This method does not require any sophisticated laboratory, just food and excrement drying agents and a precision scale. Drying is usually started in the sun and finished in an oven at around 60°C for one day. The digestibility of any of the other nutrients such as organic matter (dry matter content — ash), protein or fiber (neutral detergent fiber and acid detergent fiber) can be determined by measuring the total dry matter present in the food and feces and substituting the value in the above formula. A feed laboratory with protein, fiber and ash determination facilities is required to determine these feed components. There are feed composition tables that can be studied to see average values for the digestibility of many nutrients. However, less information is available for ungulates than for ruminants.

Availability of food. Most donkeys are fed roughage throughout their lives, with grazing on natural grasslands, roadsides, bushes and undergrowth if kept in rural areas. Many working donkeys are found in urban and suburban areas of the world where there are few opportunities for grazing and people feed their animals exclusively on purchased feed. In these situations, the amount of daily earning often dictates the quality of feed given to the donkey. However, unless the roughage is of the highest quality (fresh legumes or legume hay), a working, pregnant, lactating or growing animal must receive supplemental nutrition in addition to roughage to maintain condition and health and be productive.

Roughage. Quality roughage varies from good (fresh and canned legumes) to bad (husk and straw from sorghum, millet and rice production). It is important to be able to distinguish good roughage from bad food. The condition of the roughage is very significant. It should be free of dust and

mold, bad odor and any garbage (unsightly and poisonous weeds, plastic, wire and other garbage). The next step is to evaluate the type of roughage in terms of nutritional value. In terms of digestible protein, it's relatively easy: legume roughage is usually high in protein, grasses and hay are medium to low in protein, and crop residue and straw are low in protein. The younger the grass, the higher the protein content. As all plants mature, digestible protein content declines as plants become more fibrous. Similarly, as the amount of fiber (complex carbohydrates) increases, the content of digestible energy in roughage increases as well. Tropical grasses grow and reach maturity (seed) faster than temperate grasses. They are more cellulosic than temperate grasses and can be very low in protein when mature. Temperate grasses have a higher protein content than tropical grasses.

Pearson [1] presents a simple scoring system for determining the energy value of roughage for ruminants based on appearance, which provides a guidelines for analysing grass and pasture, legumes, hay and crop residues. The higher the number of points, the better the nutritional value of the roughage (Table 1). It is a useful system for evaluating roughage when feeding a donkey. It is based on:

- a) General appearance — is the roughage free of mold, dust, garbage? Does it smell nice and sweet?
- b) Leaf to stem ratio — is it very fibrous with lots of stems or is it young and leafy?
- c) Color — is it young, green and freshly cut or old, yellow dry and late cut?

Each of the three characteristics should be rated from 1 to 5 according to the descriptions in Table 1, and then added up. These results should be used to interpret the data in Table 3 and Table 4.

Table 1

Scoring system for evaluation of the quality of roughage in relation to digestible energy content

Characteristics	Score				
	1	2	3	4	5
General Appearance	Very poor	Poor	Moderate	Good	Very Good
Leaf to Stem Ratio (age of plant)	Mainly stems	Stems > Leaf	Leaf = Stem	Leaf > Stems	Very leafy
Colour	Yellow	Yellow > Green	Green > Yellow	Green	Very Green

Source: [1]

According to Pearson [1], roughage with a score below 6 has low energy value, while that with a score over 12 has a high level of digestible energy and thus is good for feeding working, lactating or growing donkeys. Freshly cut green grass with lots of leaves would get a score of 12 – 13, while chopped barley straw with few leaves left might get less than 6, and stalks with few leaves might get 3.

Energy-rich concentrates. Cereal grains are a good source of energy, but they need to be crushed, rolled or ground so that the carbohydrates and proteins in the grain can be best digested [8]. Oats can be given raw, but crushing improves digestion. The barley grain is in a hard shell, so grinding is required to break the shell. Sorghum and

wheat grain are small, so it is best to grind or roll them before feeding, otherwise they can pass through the digestive tract undigested. Corn kernels can be given in any form, but as it is hard, it is best to grind it, especially for animals with weak teeth.

Concentrates with a mixture of at least two types of cereals are always of better quality than concentrates with one type. Molasses is a source of easily digestible carbohydrates that can increase the flavor of dry food while providing energy. The main problem with molasses is storage in hot weather as it can ferment and spoil, especially low quality molasses, which has the highest water content. Oil is a good source of energy and is used more and more in

feeding donkeys. Vegetable oils (soybean, rapeseed, corn, palm, sunflower) and fish oil can be used in small quantities. A cup a day in food as an additional source of energy is good for working donkeys, but it should be gradually introduced into the diet over 10–14 days. Oil is added immediately before feeding.

Protein-rich concentrates. When grains are used in conjunction with poor-quality roughage, they can provide a low-protein meal. Pregnant animals, lactating animals and growing young require protein-rich mixtures to supplement particularly poor bulk feed. Oilseed cakes, soybean cakes and cottonseed cakes are some of the best sources of protein for donkeys. Sunflower cake can also be used in food. Peanuts may contain mold derivatives — mycotoxins, to which ungulates are sensitive.

Dolichos biflorus, sometimes called “field” or “horse” vetch is another good source of protein, which is available in many tropical countries for donkeys and can be fed without cooking or processing. Beans (*Vicia fabia*) are legumes that contain approximately 25% crude protein. It can be used in its raw state, without any prior processing. Other legumes, such as those from the *Phaseolus* species (mung, navy, kidney, lima pea) need to be cooked to remove toxins before being fed to equines, and are therefore less useful. Forage legumes, such as alfalfa and Alexandrian clover, contain more protein than grasses, whether fresh or canned, and are good nutrients in donkey diets.

Other concentrated raw materials in donkey nutrition. Wheat bran provides some energy, more protein and cellulose in the diet of donkeys. It contains less calcium but has high phosphorus content. When using wheat bran in the diet, it is necessary to balance the meal well to avoid bone abnormalities due to the unbalanced ratio of calcium and phosphorus. In

the case of using alfalfa together with wheat bran, this imbalance is smaller, provided the alfalfa is rich in calcium.

Food storage. Some nutrients in bulk foods, grains and protein supplements deteriorate during storage. Food should be stored in a cool place where the temperature does not fluctuate much, ideally where there is good air flow, ventilation and low humidity. Food should not be stored in direct sunlight or in humid conditions and should be stored away from rain, water, rodents, insects and birds [2].

The amount of water in food varies, a kg of fresh grass can have 80% of its weight as water, while 1 kg of grain contains only 15% of water. This means that an animal that eats 1 kg of grass will only get 200g of the other nutrients it needs, however, if it eats 1 kg of cereal grains, it will get 850g of the other nutrients it needs. When defining the amount of food in donkey’s meal, it is preferable to estimate the dry matter content of the food and to know the amount of dry matter the donkey can consume to be able to calculate how much “fresh food” to offer.

Food intake. When planning how to feed a donkey, it must be estimated how much a donkey is able to eat every day, when it receives roughage, the amount of dry matter corresponding to 2% of its body weight per day. It is assumed here that the mostly used roughage is of moderate quality. The actual amount of dry matter a donkey eats a day depends on many factors. Some of the important ones are given in Table 2 [1].

Type of food. Young plants can be eaten faster than mature ones, but they contain less dry matter per kilogram. It takes less time to consume 1 kg of ground or pelleted food than to consume 1 kg of raw food, even if it is chopped. It takes less time to eat 1 kg of legume concentrate or hay than 1 kg of crop residues.



Fig. 2. Hay brought to the farm must be dry and stored in a dry place (Photo by: Nemecek, M.)



Fig. 3. Such bad hay must not be included in the diet (Photo by: M.Urošević)

Table 2

Factors affecting the amount of food a donkey eats a day

Food Type:
Nature of feed
Quality of feed
Management:
Time allocated for eating
Amount of food at one time
Water available
Health
Internal parasite burden
State of the teeth
Reproductive state
Environment:
Ambient temperature and humidity

Source: [1]

Time allocated for eating. In natural conditions, a donkey spends 14 – 16 hours a day feeding. It is important that donkeys kept on pasture have time to eat. Work especially shortens the feeding time of a donkey. The more work it does, the less time it has to feed, but more food is needed to meet the increased energy needs. Therefore, a working donkey needs a more concentrated feed than a non-working one. Donkeys are more susceptible to the influence of the time available for eating than cattle. Cattle increase consumption if they have worked, donkeys do not, because initial chewing is more important in food processing in donkeys than in ruminants.

Guidelines for feeding donkeys for different activities. The present guidelines define the effect of the exact amounts and proportions of available feed on the expected productivity of a donkey, its body condition. A thin donkey has little body energy reserves, while a donkey in good condition has some in reserve for a short time. Table 1 shows how to assess the nutritional value of roughage in terms of poor, moderate and good.

Maintenance Requirements. A donkey can eat enough to meet its maintenance energy requirements from a moderate-quality roughage of hay or a 3:1 mixture of straw and

green forage (such as alfalfa) or from moderate-quality pasture, if the animal is allowed ad libitum access to the food source during the day. Then it will eat about 2.5 kg of dry matter per 100 kg of live weight per day. A donkey that is allowed grazing at wild will spend about 60% of the day feeding.

Work shortens the time available for eating, so it can be assumed that a donkey will be able to eat only about 2 kg of dry matter per 100 kg of body weight per day. Therefore, a donkey needs energy in a more concentrated form than when it is not working. If fed roughage of moderate quality, a donkey needs about half of feed dry matter as energy-rich concentrates if it works 4 hours a day and 60% if it works 8 hours a day. Poor quality roughage will require more concentrate. If it works 4 hours a day, it needs about 60% of its dry matter intake as energy-rich concentrates, and if it works 8 hours a day, it needs about 70% of its dry matter intake as energy-rich concentrates [8].

Growth. The energy needs of young donkeys, after weaning in the first year of life, can be met by feeding them a 2:1 ratio mixture of concentrate and roughage. This assumes a dry matter intake of 1.5 kg per 100 kg body weight

when a donkey is small, increasing to 2 kg per day when it reaches around 100 kg live weight [1].

Pregnancy and Lactation. Pregnant donkeys consuming a 1:1 ratio mixture of moderate-quality roughage and protein-rich concentrate will eat about 2 kg of dry matter per 100 kg of body weight, which can meet their protein needs at late pregnancy.

Donkey milk is not as rich in protein as cow milk, however, protein needs increase especially in early lactation. After the foal is born, the amount of protein and easily digestible energy in the donkey's meal should be increased. A ratio of 40% of moderate quality roughage to 60% of energy- and protein-rich concentrate would provide enough nutrients for the first three months of lactation [5]. This allows the donkey to meet the lactation needs for energy and protein and gives the foal a good start in life. After 3 months, the donkey's protein and energy requirements decrease, and a 1:1 ratio mixture of moderate quality roughage and concentrate will meet the requirements [1].

After the foal is weaned, if the donkey is not working, the concentrate can be removed from the donkey's ration. When only poor roughage is available, such as leftover grain, the proportion of concentrate in the ration should be increased.

The final check of whether the amount of food is sufficient for the donkey is to monitor its body condition (table 5) and adjust the ration accordingly. If a working donkey is losing mass, it needs more energy in its meal or less work or both. It is necessary to increase the concentration of energy by improving the quality of roughage (Table 1) or to increase the proportion of concentrates in roughage [1]. If a pregnant or lactating donkey becomes thin (Table 5), a female donkey needs more energy and protein in its feed. Then the offered dry roughage is reduced and the proportion of concentrate in the roughage is increased. Lactating donkeys should be offered more green roughage, if available.

Duncan et al. [11] provided recommendations for meal composition during different physiological states.



Fig. 4. Special attention to nutrition is required during breastfeeding

Table 3

Daily rations for adult donkeys (if roughage is of poor quality)

State	Live Weight (kg)	Total Dry Matter Intake (kg)	Amount of Roughage (kg)	Amount of Concentrates (kg)	Remarks
Mature idle	100	2.5	2.25	0.25	Need to supplement poor roughage with some concentrate
	200	5	4.5	0.5	
Work 4 hr/day	100	2	0.8	1.2	Need to supplement with energy rich concentrate Much less time for feeding in the day
	200	4	1.6	2.4	
Work 8 hr/day	100	2	0.6	1.4	Much less time for feeding in the day
	200	4	1.2	2.8	
Last 3 months of pregnancy	100	1.5	0.5	1	Need for protein rich concentrates rather than energy rich. Less space in abdomen for roughage
	200	3	1	2	
First 3 months of lactation	100	2	0.6	1.4	Need for a mixture of protein and energy rich concentrates, and increased water requirement
	200	4	1.2	2.8	
> 3 months of lactation	100	2	0.8	1.2	
	200	4	1.6	2.4	

Source: [1]

Table 4

Daily rations for adult donkeys (if roughage is of moderate quality)

State	Live Weight (kg)	Total Dry Matter Intake (kg)	Amount of Roughage (kg)	Amount of Concentrates (kg)	Remarks
Mature idle	100	2.5	2.5	0	No need to supplement
	200	5	5	0	
Work 4 hr/day	100	2	1	1	Need to supplement with energy rich concentrate Much less time for feeding in the day
	200	4	2	2	
Work 8 hr/day	100	2	0.8	1.2	Need for protein rich concentrates. Less space in abdomen for roughage
	200	4	1.6	2.4	
Last 3 months of pregnancy	100	1.5	0.75	0.75	Need for protein rich concentrates. Less space in abdomen for roughage
	200	3	1.5	1.5	
First 3 months of lactation	100	2	0.8	1.2	Need for a mixture of protein and energy rich concentrates, and increased water requirement
	200	4	1.6	2.4	
> 3 months of lactation	100	2	1	1	Need for a mixture of protein and energy rich concentrates, and increased water requirement
	200	4	2	2	

Source: [1]

Table 5

Recommendations for the composition of meals during different physiological states

Adult donkey fed on fibrous forages				
Period of year	Body weight	MJ, DE/day	Daily DMI needs	Recommended diet
summer	goal weight 180 kg	14.4	2.4 kg	2.1 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + limited grazing or + 0.5 kg moderate hay (8 MJ DE/kg DM)
	goal weight 180 kg	13	2.4 kg	2.2 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + very limited grazing or + 0.2 kg moderate hay (8 MJ DE/kg DM) + forage balancer
	180 kg donkey with dental disease	14.4–15	2.4 kg	2.4 kg short chop hay replacer (7.3 MJ DE/kg DM assuming 85% DM) e.g. forage balancer
winter	donkey goal weight 180 kg	17.1	3.1 kg	3 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + 0.4 kg moderate hay (8 MJ DE/kg DM)
	donkey goal weight 180 kg	15.5	3.1 kg	3.1 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + very limited grazing or + forage balancer
	180 kg donkey with dental disease	17.1–18	3.1 kg	2.9 kg short chop hay replacer (7.3 MJ DE/kg DM assuming 85% DM) e.g. forage balancer
Female donkey in last 3 months of pregnancy				
	Body weight	MJ, DE/day	Daily DMI needs	Recommended diet
summer	180 kg – 9 months of pregnancy	16.7	2–2.4 kg	1.1 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or + 1.3 kg moderate hay (8.5 MJ DE/kg DM) and high protein balancer
	180 kg – 10 months of pregnancy	17.4	2–2.4 kg	0.4 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + 1.8 kg moderate hay (8.5 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg – 11 months of pregnancy	18.6	2–2.4 kg	2.2 kg moderate hay (8.5 MJ DE/kg DM) + high protein balancer + grazing if hay is not managed supplement with high fibre cubes, alfalfa chop or unmolassed sugar beet
winter	180 kg – 9 months of pregnancy	19.8	2.5–3.1 kg	1 kg barley straw (5 MJ DE/kg DM) + 1.7 kg moderate hay (8.5 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg – 10 months of pregnancy	20.7	2.5–3.1 kg	2.2 kg moderate hay (5 MJ DE/kg DM) + 0.4 kg barley straw (8.5 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg – 11 months of pregnancy	22.1	2.5–3 kg	2.5 kg moderate hay (5 MJ DE/kg DM) + 200 g alfalfa chop (9 MJ DE/kg DM) + high protein balancer

Source: [11]

Table 6
Recommendations for the composition of meals during lactation

	Body weight	MJ, DE/day	Daily DMI needs	Recommended diet
summer	180 kg, 1st month	27.5	2.4–3 kg	2.4 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.3 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 2nd month	27.3	2.4–3 kg	2.6 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.2 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 3rd month	26.5	2.4–3 kg	2.6 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.15 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 4th month	25.5	2.4–3 kg	2.6 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.1 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 5th month	24.5	2.4–3 kg	2.5 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.1 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 6th month	23.6	2.4–3 kg	2.4 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer
winter	180 kg, 1st month	30.2	2.7–3.1 kg	3 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.3 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 2nd month	30	2.7–3.1 kg	3 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.2 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 3rd month	29.2	2.7–3.1 kg	3 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.15 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 4th month	28.2	2.7–3.1 kg	3 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.1 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 5th month	27.2	2.7–3.1 kg	2.8 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) + grazing and high protein balancer or 0.1 kg alfalfa oil chop (11.2 MJ DE/kg DM) + high protein balancer
	180 kg, 6th month	26.3	2.4–3 kg	2.6 kg good hay (9 MJ DE/kg DM) grazing + high protein balancer

Source: [11]

Estimation of donkey body mass. The body mass of an adult donkey can be approximately determined by measuring the height of the withers. It is calculated based on the assumption that every 1 cm of withers height corresponds to 1.34 kg of mass (1.12–1.44) [12]. In addition, Hafner [13] states that donkeys whose height at the withers is up to 110 cm can weigh a maximum of 205 kg. This gives a reasonable prediction of animal mass, but it is not always so easy to detect the relative changes in mass that occur from week to week in an animal.

Stimulation of the body condition of the donkey. The easiest method to assess whether a donkey is getting enough food is to evaluate its condition based on various scoring systems. Different donkey scoring systems are used in temperate and tropical countries to assess the animal's weight changes over time [10]. The scoring system shown in Table 7 provides guidelines for assessing the donkey's condition as objectively as possible. After assessing which condition category the donkey fits into, i.e.

whether the donkey is thin (1 – 3), moderately fat (4 – 6) or fat (7 – 9), using the guidelines from the table, it can be further classified into more specific categories under L, M and F.

Practical guidance. Donkeys need to have their teeth checked regularly. Regular antiparasitic treatment is necessary to enable a donkey to chew the food as well as possible. It is preferable to feed donkeys after watering, not before. If dehydrated, the donkey will not eat well or stop eating. It must have enough time to eat. Food should be given in the shade, after a short break from work. The daily meal should be divided into 3-4 meals during the day.

A donkey cannot eat the required daily amount of food at once, in one big meal. A portion of roughage is given along with green food, when available. Since it has little dry matter (it can be 80% water) it is best to feed it in addition to dry roughage and let the donkey choose. One kg per day (about 200 g of dry matter) is sufficient. If the roughage is of poor quality, more should be offered.

Table 7
Body condition evalution for working donkeys

Score	Condition	Features
1	L -	Markedly emaciated; bone structure easily seen over body, little muscle present, nimal weak, lethargic
2	L .	Animal emaciated; individual spinous processes, ribs, tuber covae, tuber ischii and scapular spine all prominent; some muscle development; neck thin, prominent withers, shoulders sharply angular
3	L +	Vertebral column prominent and individual vertebral spines are pointed to the touch; little fat, but superspinous musculature over spinous processes apperent. Ribs, tuber ischii and tuber coxae prominent; loin area and rump concave; little muscle or fat covering over withers and shoulders.
4	M -	Vertebral column visible; tuber ischii palpable but not visible, tuber coxae rounded but visible; rump flat rather than concave; ribs palpable but not obvious, withers, shoulders, neck with some muscle and fat cover; scapular are less clearly defined.
5	M .	Superspinous muscles developed and readily apparent; can palpate vertebral column; tuber coxae rounded; rump rounded, convex; tuber ischii not visible; some fat palpable in pectoral region and at the base of neck; can palpate ribs, but not visible.
6	M +	Can not palpate spinous processes easily; back becoming flat, well covered; rump convex and well muscled; some fat palpable on neck, base of neck and pectoral region; neck filled into shoulder; tuber coxae just visible. Animal smooth and well covered.
7	F -	Animal smooth and well covered; back flat cannot palpate spinous processes; tuber coxae just visible; fat on neck and pectoral region beginning to expand over ribs; flank filling, neck thickening.
8	F .	Animal body rounded, appears well covered with fat and bones not discernible; flanks broad, broad flat back.
9	F +	Bones buried in fat; back broad or flat, in some cases cease down back; large accumulations of fat on neck, over pectoral area and ribs; flank filled with fat.

Source: [1]



Fig. 5. Hay can be placed in mangers that are mounted on the wall. In that case, whatever a donkey pulls out, which is not a small amount, falls on the floor (Photo by: S. Fasching)



Fig. 6. Donkeys are happy to eat from the floor, but then there is much more pollution and scattering of food (Photo by: M.Nemecek)



Fig. 7. It is much better to chop corn, grind it, rather than give it in grains

It is recommended to give a mixture of two to three types of concentrated food instead of just one type. It is mandatory to give a handful of salt a day, mixed in the food, to the working donkey. They should be allowed to graze as often as possible, but should not rely on grazing only, unless it is a good pasture. Good pastures are rare where working donkeys are found. Roughage must be chopped, and grains, barley, wheat, corn, peas should be mashed/broken to improve digestion. If crushing is not possible, soaking is an alternative before feeding barley and wheat. They should be soaked, no more than 12 hours before feeding. If a donkey is working, it is fed with concentrates during the day and roughage at night, since then it has more time to eat.

According to Đorđević et al. [8] in case a donkey performs medium or heavy work, it is recommended to add 1.0–1.25 kg of concentrate for every 100 kg of body weight. At the same time, the same amount of hay is given. In case the hay is leguminous, the concentrates can be different grains. If the hay is made from grass, an additional source of protein must be provided, at a level of about 10%.

When it comes to easier work, the quality of the hay can be somewhat lower. Individuals who are not working, as well as yearlings, can meet all their nutritional needs in the pasture. When the mating season comes, the level of protein and energy in the meal must be increased. The simplest way to achieve this is to add alfalfa hay in the amount of 1 kg/100 kg of body weight. Along with such hay, it is necessary to give an appropriate amount of concentrated feed.

As a monogastric animal, a donkey uses feeds with increased levels of cellulose [1]. Such food must be well chewed to enable the digestive enzymes and intestinal microflora to work more successfully. Food preparation begins in the oral cavity. For every kilogram of hay, a donkey makes 2000 chewing movements. The hay is practically ground, the length of individual parts of the hay is 1.6 mm [14].

Some farm owners give donkeys silage. That is absolutely unacceptable. The moisture content of this food is high, and the pH value is low, extremely acidic. The crude fibre content is low and the protein level is high



Fig. 8. Silage in a feeding trough. Donkeys try to find parts that fit them



Fig. 9. A gnawed part of a wooden wall

Sugar beet is a good complementary food. It is recommended to give it in small quantities to sick donkeys. The sugar beet must be cut into rings and fed to the donkey within the next 24 hours [15]. Food must be low in sugar and high in cellulose fiber.

The basic food for donkeys is good hay [13]. Obtaining quality hay depends on many factors. First of all, it depends on the quality of the grass mixture in the meadows where the hay is obtained, and in addition, it depends much on the suitability of weather conditions. Sufficient moisture and heat (sun) are needed to obtain a good grass mass, and after mowing it is necessary to have dry weather, without rain, for the grass mass to dry well. If grass that is insufficiently dry is collected, quality hay cannot be obtained from it. Such hay will become moldy rather quickly, and then it is unusable. As approximate daily needs, it can be taken that 100 kg of body weight requires 1–1.5 kg of hay, 0.5–0.8 kg of straw and 5–10 liters of water [1]. Donkeys that do not work, and there are more and more of them in Europe, do

not need concentrated feed [10]. With a daily portion of hay, the presence of straw, and the possibility of grazing, from spring to autumn, they are quite fine for a normal life, even if they are fat.

Donkeys like to eat dry bread. However, bread must not be given every day. It is possible to give a small piece from time to time. The same is the case with carrots. They are very happy to eat it, but the amount of sugar must be taken into account. Daily consumption of carrots and apples in large quantities leads to health problems. Half an apple a day can be given without fear of harmful consequences. Fresh green foods contain much more water than other foods. If this is the only source of food the donkey gets, quantity of feed should be increased. In the absence of cellulose, donkeys will bite and eat available wooden structures in buildings

Conclusion. The nutritional needs of donkeys require a careful approach that takes into account their physiological characteristics, work requirements and the quality of

available feed. Water, as an often neglected component, is crucial for thermoregulation and general health, especially in working and lactating animals. Energy needs vary significantly depending on the intensity of work, so it is necessary to provide easily digestible sources of energy, especially when the intake of bulky food is limited. Proteins are of particular importance for growth, pregnancy and lactation, so great attention is paid to their proportion in the diet.

Minerals and vitamins, although needed in smaller quantities, are essential for the proper functioning of the body, especially in conditions of increased physical effort. Improperly balanced meals, poor in nutrients, lead to reduced productivity, weight loss and health problems. Therefore, a rational and adapted diet, based on an understanding of the digestive physiology and nutritional needs of donkeys, is the basis of successful and sustainable breeding of these animals.

References

1. Pearson RA. *Nutrition and Feeding of Donkeys*. In book: Matthews N, Taylor T (Eds). *Veterinary Care of Donkeys*. 2005. URL: <https://www.ivis.org/library/veterinary-care-of-donkeys/nutrition-and-feeding-of-donkeys-0> (accessed: 01.07.2025)
2. Stanaćev V, Kovčin S. *Hraniva i Tehnologija Stočne Hrane i Osnovi Ishrane Domačih Životinja*. Novi Sad: Poljoprivredni fakultet; 2003.
3. Urošević M, Ćupić Miladinović D, Štastna D, Dameski P, Cukić N, Đorđević M. Basic Characteristics of the Digestive Tract of Donkeys. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*. 2025;5(3):90–99. <https://doi.org/10.62225/2583049X.2025.5.3.4206>
4. Cuddeford D. *Equine Nutrition*. UK: The Crowood Press; 1997.
5. Martin-Rosset W. Donkey Nutrition and Feeding: Nutrient Requirements and Recommended Allowances – A Review and Prospect. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2018;65:75–85. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.01.014>
6. Popov IS. *Ishrana Domačih Životinja*. Beograd: Naučna Knjiga. 1949.
7. Urošević M, Mandić R, Trajlović R, Trajlović D, Namsraijav T, Stanišić G. *Divilji Magarci*. Beograd-Zemun: COAR; 2022.
8. Đorđević N, Grubić G, Makević M, Jokić Ž. *Ishrana Domačih i Gajenih Životinja*. Beograd-Zemun: Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni Fakultet; 2009.
9. Wood SJ. *Some Factors Affecting the Digestible Energy Requirements and Dry Matter Intake of Mature Donkeys and a Comparison with Normal Husbandry Practices*. PhD Thesis. Edinburgh: Edinburgh University; 2010.
10. Burden F. Practical Feeding and Condition Scoring for Donkeys and Mules. *Equine Veterinary Education*. 2011;24(11):589–596. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3292.2011.00314.x>
11. Duncan J. *The Clinical Companion of the Donkey*. 1st Edition. The Donkey Sanctuary; 2018.
12. Urošević M, Štastna D, Drobnjak D, Mandić R, Ograk YuZ. Correlation between Morphometric Parameters and the Body Weight of Donkeys. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*. 2024;4(6):692–696. <https://doi.org/10.62225/2583049X.2024.4.6.3497>
13. Hafner M. *Esel Halten*. Stuttgart: Ulmer Verlag, 2013.
14. Smith D, Wood SJ. Donkey Nutrition. In book: Svendsen ED, Duncan J, Hadill D (Eds.). *The Professional Handbook of the Donkey (4th Edition)*. Whittet Books Limited; 2008. P. 10–27.
15. Svendsen E. *Eselbuch*. Stuttgart: Ulmer Verlag; 2011. 224 p.

About the Authors:

Nenad Matejević, MSc, PhD Student Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade (1, Student Driveway, Belgrade, 11000, Serbia), nenad.matejevic@gmail.com

Milivoje Urošević, Dr.Sci. (Agriculture), Full Research Professor, Member of the Veterinary Medicine Academy – Serbian Veterinary Society, Research Director, Center for Preservation of Indigenous Breeds (9, Vera Dimitrijević Str., Zemun, Belgrade, 11186, Serbia), [ORCID](#), [Scopus ID](#)

Claimed Contributorship:

N Matejević: search and analysis of scientific articles, text preparation, formulating the conclusions.

Milivoje Urošević: scientific supervision, correcting the text and conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Об авторах:

Ненад Матеевич, магистр, аспирант факультета ветеринарии Белградского университета (Студенческий проезд, 1, Белград, 11000 Белград, Сербия), nenad.matejevic@gmail.com

Миливойе Урошевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член Академии ветеринарной медицины — Сербского ветеринарного общества, директор по научной работе, Центр сохранения аборигенных пород (ул. Веры Димитриевич, 9, Земун, Белград, 11186, Сербия), [ORCID](#), [Scopus ID](#)

Заявленный вклад авторов:

Н. Матеевич: поиск и анализ научных статей, подготовка текста, формирование выводов.

М. Урошевич: научное руководство, корректировка текста и выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию / Received 08.08.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 02.09.2025

Принята к публикации / Accepted 09.09.2025

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО ANNIVERSARY OF THE SCIENTIST

О времени и о себе

В 2025 году заслуженному деятелю науки РФ, заслуженному ветеринарному врачу РСФСР, члену-корреспонденту РАН, доктору ветеринарных наук, профессору, почетному работнику ВПО РФ, почетному работнику АПК РФ, известному российскому ученому в области заразной патологии животных, члену Союза писателей России – Сочневу Василию Васильевичу исполнилось 90 лет, из них 67 посвящены служению ветеринарии.

Василий Васильевич Сочнев родился 26 июля 1935 года в селе Крюковка Лукояновского района Горьковской области в крестьянской семье.

Отец, Сочнев Василий Дмитриевич, был крестьянином-животноводом, а позже — руководителем животноводческой фермы, которая уже в 1939 г. стала участником ВДНХ СССР. В 1940 г. и в первый год войны отец был назначен председателем Крюковского сельского совета. Мать, Сочнева Анна Васильевна, также трудилась в колхозе.

Отец пользовался уважением у односельчан, много работал, чтобы прокормить большую семью. Из двенадцати родившихся детей к послевоенному времени в живых осталось шестеро — три брата и три сестры, причем Василий был самым младшим. Когда отца и старших братьев призвали в армию, маленький Вася вместе с сестрой помогал взрослым на полях и в огороде. В восемь лет ему уже доверили ухаживать за лошадьми — ночью пасти животных, которых привозили с фронта на поправку. Целыми ночами мальчик не спал с лошади.

После войны отец не вернулся в родное село: как политработник, он был направлен на восстановление Тульского угольного бассейна. Там, обучая молодых ребят плотницкому делу в шахтах, он получил травму и в 50 лет ушел из жизни.

Окончив сельскую школу в 14 лет, Василий поступил в Лукояновский зооветеринарный техникум, став самым молодым студентом. После окончания техникума с отличием он вошел в число 5 % лучших выпускников и получил направление в Московскую ветеринарную академию. В 1953 г. он приехал в столицу с небольшим узелком, поселился в общежитии и попал под опеку старших студентов, вернувшихся с войны. Вместе с ними он разгружал баржи с овощами и картофелем, получая за это небольшие деньги.

Юноша увлекся фотографией и в свободное время подрабатывал в печатном и ретушерском отделах Серпуховской фотографии. Подрабатывал также, распространяя театральные билеты среди студентов. Все годы учебы Василий получал повышенную стипендию, а благодаря подработкам помогал матери, отправляя посылки с продуктами в родную Крюковку.



Начиная с третьего курса, способный студент летом выезжал на ликвидацию эпизоотий по приглашению Министерства сельского хозяйства — работал в Калмыкии, Ставропольском крае и Волгоградской области. Ему посчастливилось учиться у выдающихся специалистов: генералов М.С. Ганнушкина, Я.Е. Колякова, Н.М. Шпайера, главного хирурга Советской армии И.Д. Медведева, академиков И.Е. Мозгова, К.И. Скрябина, С.Н. Вышеслесского, профессоров С.В. Иванова, И.Ф. Иванова, Б.К. Боля, В.М. Коропова, С.И. Афонского и многих других.

К окончанию академии Василий Васильевич уже обладал серьезным багажом знаний и практики. Получив диплом с отличием и право выбора места работы, он без раздумий отправился на Дальний Восток — в Хабаровский край. Там он работал старшим ветврачом в целинном совхозе, а затем стал главным ветврачом одного из крупнейших хозяйств региона — совхоза «Биробиджанский», где содержались тысячи голов скота и свиней, а также миллионное поголовье уток.

Совхоз занимал половину Октябрьского района и находился на границе с Китаем. Центральная усадьба располагалась в селе Благословенное, которое ежегодно затапливалось при разливе Амура. За пять лет работы Сочневу удалось значительно улучшить состо-

яние животноводства в хозяйстве. Успехи предприятия даже попали в центральную прессу — в газете «Правда» вышла статья «Белое золото Дальнего Востока» о разведении пекинских уток.

Главный ветврач и одновременно главный зоотехник в таком животноводческом хозяйстве был не только центральной фигурой производства, но и во многом отвечал за благополучие, технологическую дисциплину и биологическую безопасность приграничной территории. Нареканий и поощрений не перечесть за этот небольшой промежуток времени! Как сказал однажды Василий Васильевич: «Самая большая награда того времени — именные часы от первого секретаря крайкома КПСС и доверие работающих в совхозе людей и руководства района и области». В те годы будущий ученый познакомился с видными руководителями: Н.Д. Халфиным, А.П. Шитиковым (первым секретарем Хабаровского крайкома партии), А.К. Черным (первым секретарем обкома ЕАО), А.И. Оковитовым (председателем облисполкома ЕАО).

В 1964 г. 28-летнему специалисту предложили возглавить ветеринарную службу области. Территория от Волочаевки до Облучья, от Кульдуря до Амурзета стала зоной его ответственности. Это было непростое время: осложнение отношений с Китаем, инцидент на острове Даманский, угроза конфликта у Нагибово.

В 1967 г. по согласованию с министром сельского хозяйства РСФСР Л.Я. Флорентьевым Василий Васильевич был переведен в Ростовскую область — сначала госветинспектором, а с 1972 г. — директором областной ветеринарной лаборатории, где проработал до 1982 г., занимаясь строительством лабораторного комплекса и научной работой. В 1979 г., заочно окончив аспирантуру в Донском сельхозинституте, защитил кандидатскую диссертацию под руководством профессоров В.Х. Пракана, Ф.П. Локтевой, А.К. Голоснитского, В.П. Урбана, А.Х. Саркисова, Р.А. Циона и других.

В 1982 г. по предложению ВАСХНИЛ, Минсельхоза СССР и ЦК КПСС Василий Васильевич возглавил Научно-исследовательский ветеринарный институт Нечерноземной зоны РСФСР и проработал на этой должности до 1993 г. В течение этого времени под его руководством реконструирован лабораторный корпус, построена экспериментальная база и организованы научные отделы в Свердловске, Республике Коми, Ярославле, Смоленске, Калининграде, Марийской, Чувашской и Мордовской республиках.

В 1989 г. Василий Васильевич защитил докторскую диссертацию, в 1990 г. получил звание профессора, а затем был избран членом-корреспондентом РАСХН и вошел в ее президиум. Долгие годы он был заместителем председателя научно-технического совета Минсельхоза РФ, консультантом неправительственной

организации «Сибирское согласие», членом фармсовета России, экспертом Высшей аттестационной комиссии, заместителем председателя докторской комиссии в Санкт-Петербурге, членом диссоветов в Новосибирске и Иваново. С 2001 г. — председатель докторской комиссии при ФГБОУ ВПО НГСХА (ныне — ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева»). Под его руководством защитились 18 докторов и 84 кандидата наук, которые работают как в России, так и за рубежом.

Научные интересы Василия Васильевича включают в себя инфекционные и инвазионные болезни животных, а также вопросы биологической и продовольственной безопасности страны. лично и в соавторстве он опубликовал более 700 научных работ, является автором и соавтором 65 авторских свидетельств и патентов СССР и РФ, 45 нормативно-правовых документов по животноводству, ветеринарии и биологии. Важнейшие работы профессора Сочнева: научно-обоснованная система противобруцеллезных мероприятий в Нечерноземной зоне РФ, претерпевшая несколько изданий (1987, 1991, 1995 гг.); дифференциальная диагностика бруцеллеза и иерсиниоза и меры по профилактике (1991); научно-обоснованная система борьбы с рабицкой инфекцией; научно-обоснованная система борьбы с лейкозом КРС; научно-обоснованная система противоиерсиниозных мероприятий в животноводческих хозяйствах; эпизоотологический мониторинг при гельминтозах животных (в соавторстве с В.А. Душкиным); формирование иммунитета против ньюкаслской болезни у птиц на фоне энзоотического гетеракидоза (в соавторстве с А.В. Аринкиным); интегрированная система противолептоспирозных мероприятий в условиях Севера Европейской части России (в соавторстве с Н.А. Рыбаковой); нетрадиционные методы исследований дифференциальной диагностики бруцеллеза (в соавторстве с Н.Г. Горчаковой). В соавторстве разработаны 7 новых лекарственных средств: глюкогемовит, фуразол, биозин, фурацилин, сульфатетрин, новосульгин и неосульфазол — и организован их выпуск на экспериментальном предприятии. Лечебно-профилактические препараты, разработанные с участием Василия Васильевича, неоднократно экспонировались на ВДНХ (ВВЦ) РФ, в Бразилии и в Республике Кипр.

С 1993 г. Сочнев является профессором кафедры «Эпизоотология, паразитология и ветеринарно-санитарная экспертиза» ФГБОУ ВО НГАТУ им. Л.Я. Флорентьева. Организовал филиалы кафедры в Москве, Санкт-Петербурге, Волгограде, Нижнем Новгороде, а также научно-внедренческий центр по экспертной оценке противоэпизоотического состояния и биологической безопасности в агропромышленном комплексе России.



В 1985 г. удостоен почетного звания «Заслуженный ветеринар РСФСР»; в 1995 г. — «Заслуженный деятель науки РФ»; в 2005 г. — лауреат Большого креста Европейской академии естественных наук. Является лауреатом трех премий Правительства РФ, награжден почетными грамотами и дипломами губернатора и Законодательного собрания Нижегородской области, Минобрнауки России, Министерства сельского хозяйства РФ, ВАСХНИЛ, РАСХН, РАН. В 1995 г. избран академиком Петровской академии наук и искусств, в 2014 г. — почетным профессором ФГБОУ ВПО МГАВМиБ им. К.А. Скрябина.

Более 20 лет Василий Васильевич руководит научной школой «Инфектология и биологическая безопасность» в НГСХА. Результаты научных исследований коллектива школы ежегодно представляются на конференциях и выставках («Золотая осень» и др.), завоевывают золотые и серебряные медали.

Что касается литературного творчества Василия Васильевича, то, по его собственному выражению, «не профессионал, но стихи пишу почти всю жизнь». Герои его стихов — это замечательные люди, жители нашей нижегородчины, а также сельские мотивы, природа, общественные и научные свершения, повседневные заботы переживания и страсти. С благословения Юлии Друниной печатается периодически в различных профессиональных и непрофессиональных изданиях. В 1995 г. в Санкт-Петербурге в издательстве «Рассвет» вышла книга его стихов «За чертой прозрения». В 2007 и 2014 гг. нежегородское издательство «Диалог Культур» выпустило поэтический сборник «Раздуй запепеленный уголок». Стихи Сочнева опубликованы в альманахах «Возрождение» (2007 г., № 1–4), «Нижегородцы» (2014 г., № 13), а также в приложении к альманаху «Нижегородцы» (издательство «БИКАР», Н. Новгород, 2014). В 2015 г. Василий Васильевич был принят в Союз писателей России.

ГИМН ВЕТЕРИНАРНОЙ ПРОФЕССИИ

Среди гордых профессий и древних наук
Есть одна под покровом божественной рати —
Укротитель страданий, болезней и мук
У людей и у наших безмолвных собратьев.

Ветеринария, ветеринария,
Ты облегчаешь безмолвным страдания,
Тебе благодарен за всё человек.
Так было, так стало, так будет вовек.

Царь российский, что звался Великим Петром,
Удостоил ей статус военной науки.
С той поры на Руси начертали пером:
«Золотые у этой профессии руки».

Ветеринария, ветеринария,
Ты облегчаешь безмолвным страдания,
Тебе благодарен за всё человек.
Так было, так стало, так будет вовек.

И стоит с той поры бастионом страны
От незримых врагов и любых потрясений,
А солдаты профессии долгучести верны,
Неподкупно стойки в потоке свершений.

Ветеринария, ветеринария,
Ты облегчаешь безмолвным страдания,
Тебе благодарен за все человек.
Так было, так стало, так будет вовек.

Василий Сочнев, август, 2014 год