



ISSN 2413-4201

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

Издаются с 1883 г.

ТОМ 266 (2)



ISSN 2413-4201
DOI 10.31588/2413_4201_1883_2_266

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ
ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ
ИМ. Н.Э. БАУМАНА**

**JOURNAL OF
RESEARCH AND
PRACTICE**

**SCIENTIFIC NOTES
KAZAN BAUMAN ACADEMY OF
VETERINARY MEDICINE**

**Издаются
с 1883 г.**

**ТОМ 266
(2)**



Казань 2026



УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ТОМ 266 (2) 2026 г.

Учредитель –
Казанский государственный аграрный
университет

Адрес издателя и редакции:
420015, Республика Татарстан,
г. Казань, ул. К. Маркса, 65
тел. (843) 598-40-49 (доб. 814)
сайт: www.vetzapiski.ru
e-mail: uch.zap1883@mail.ru

Подписной индекс в РФ «Объединенный
каталог.
Пресса России.
Газеты и журналы» – 35487

Зарегистрирован
Федеральной службой по надзору в
сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор) -
свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС 77 - 89643
от 03 июня 2025 г.

Журнал включен
в Российский индекс научного
цитирования (РИНЦ).
Включен в Перечень ведущих
рецензируемых научных изданий ВАК
РФ, в которых должны быть
опубликованы основные результаты
диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук и
доктора наук по специальностям:
1.5.5. Физиология человека и
животных (биологические 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
(биологические науки,
ветеринарные науки),
4.2.4. Частная зоотехния, кормление,
технологии приготовления кормов
и производства продукции
животноводств (сельскохозяйственные
науки)
4.2.5. Разведение, селекция, генетика
и биотехнология животных
(сельскохозяйственные науки,
биологические науки).

Публикуется 4 раза в год
За достоверность информации в опублико-
ванных материалах ответственность несут
авторы публикаций

16+

Главный редактор:

Равилов Р.Х., доктор ветеринарных наук, профессор, член-корр. АН РТ,
Казанский государственный аграрный университет.

Заместители главного редактора:

Калимуллин М.Н., доктор технических наук, доцент, профессор АН РТ,
Казанский государственный аграрный университет.

Шайдуллин Р.Р., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Казанский
государственный аграрный университет.

Члены редакционной коллегии:

Ахметзянова Ф.К., доктор биологических наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет (Казань).

Балакирев Н.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик
РАН, Московская государственная академия ветеринарной медицины и био-
технологии – МВА им. К.И. Скрябина (Москва).

Барамова Ш.А., доктор биологических наук, профессор, главный научный
сотрудник, Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт
(Казахстан).

Василевич Ф.И., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН,
Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехно-
логии – МВА им. К.И. Скрябина (Москва).

Ежова А.М., доктор биологических наук, профессор, Казанский госу-
дарственный аграрный университет (Казань).

Клименко А.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик
РАН, директор, Федеральный Ростовский аграрный научный центр
(Ростовская область).

Кошаев А.Г., доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Кубан-
ский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
(Краснодар).

Кульмакова Н.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Россий-
ский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязе-
ва (Москва).

Мингалеев Д.Н., доктор ветеринарных наук, доцент, профессор АН РТ,
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической
безопасности (Казань).

Мурадян А.М., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Национальный
аграрный университет Армении (Армения).

Мустафин И.Г., доктор медицинских наук, профессор, Казанский
государственный медицинский университет (Казань).

Стекольников А.А., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН,
Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медици-
ны (Санкт-Петербург).

Тайлан Аксу, доктор наук, профессор, Университет Ван (Турция).
Тенлибаева А.С., доктор биологических наук, доцент, Университет им.
Жумабека Ташенова, г. Шымкент (Казахстан).

Тюлькин С.В., доктор биологических наук, Федеральный центр охраны
здоровья животных (Казань).

Файзрахманов Р.Н., доктор биологических наук, профессор, профессор АН
РТ, Казанский государственный аграрный университет (Казань).

Юлдашбаев Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик
РАН, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А. Тимирязева (Москва).

Члены редакционного совета:

Ахметов Т.М., доктор биологических наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.

Вахитов И.Х., доктор биологических наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.

Волков А.Х., доктор ветеринарных наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.

Галиуллин А.К., доктор ветеринарных наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.

Лутфуллин М.Х., доктор ветеринарных наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.

Медетханов Ф.А., доктор биологических наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.

Муллакаев О.Т., доктор ветеринарных наук, профессор, Казанский
государственный аграрный университет.



SCIENTIFIC NOTES KAZAN BAUMAN ACADEMY OF VETERINARY MEDICINE

JOURNAL OF RESEARCH AND PRACTICE
VOLUME 266 (2) 2026

Founder -

Kazan State Agrarian University

Publisher and editorial address:

420015, Republic of Tatarstan,

Kazan, K. Marks st., 65

tel. (843)598-40-49 (additional 814)

website: www.vetzapiski.ru

e-mail: uch.zap1883@mail.ru

Subscription index in the Russian Federation "Unified Catalogue. Press of Russia. Newspapers and Magazines" – 35487

Registered by

Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media

registration certificate:

PI No. FS77 - 89643

June 3, 2025

The journal is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation (VAK RF), in which the main results of dissertations for the degree of Candidate of Sciences and Doctor of Sciences in the following specialties must be published:

1.5.5. Human and animal physiology (biological sciences)

4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology, and toxicology (biological sciences, veterinary sciences)

4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary examination, and biosafety (biological sciences, veterinary sciences)

4.2.3. Infectious diseases and immunology of animals (biological sciences, veterinary sciences)

4.2.4. Special animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products (agricultural sciences)

4.2.5. Breeding, selection, genetics, and biotechnology of animals (agricultural sciences, biological sciences).

Published

4 times a year

Authors of publications are responsible for the accuracy of information in published materials

Chief Editor:

Ravilov R.Kh., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan State Agrarian University.

Deputies of Chief Editor:

Kalimullin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan State Agrarian University.

Shaidullin R.R., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kazan State Agrarian University.

Members of the Editorial Committee:

Akhmetzyanova F.K., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University (Kazan).

Balakirev N.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Skryabin Moscow Veterinary Academy (Moscow).

Baramova Sh.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Kazakh Research Institute of Veterinary Science (Kazakhstan).

Vasilevich F.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Skryabin Moscow Veterinary Academy (Moscow).

Ezhkova A. M., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University (Kazan).

Klimenko A.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director, Federal Rostov Agrarian Scientific Center (Rostov Region).

Koshaev A.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (Krasnodar).

Kulmakova N.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy (Moscow).

Mingaleev D.N., Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (Kazan).

Muradyan A.M., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National Agrarian University of Armenia (Armenia).

Mustafin I.G., Doctor of Medical Sciences, Professor, Kazan State Medical University (Kazan).

Stekolnikov A.A., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine (Saint Petersburg).

Taylan Aksu, Doctor of Sciences, Professor, Van University (Turkey).

Tenlibaeva A.S., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Zhumbek Tashenov University, Shymkent (Kazakhstan).

Tyulkin S.V., Doctor of Biological Sciences, Federal Center for Animal Health (Kazan).

Faizrakhmanov R.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan State Agrarian University (Kazan).

Yuldashbaev Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy (Moscow).

Члены редакционного совета:

Akhmetov T.M., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

Vakhitov I.Kh., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

Volkov A.Kh., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

Galiullin A.K., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

Lutfullin M.Kh., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

Medetkhanov F.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

Mullakaev O.T., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ

	стр.
Бурлаков А. Б., Бондарчук Е. В., Галкина Е. А., Кузьмина И. В., Болоцкова П. Н. Электромагнитная биостимуляция эмбрионов рыбок и яиц кур	6
Воронин А. Ю., Ларина Ю. В., Новикова О. В. Кумулятивные свойства кормовой добавки Vulpes Optima ZS с гистологической оценкой внутренних органов	14
Гирфанов А. И. Морфофункциональное состояние гемато-альвеолярного барьера и качественные показатели молока коров при использовании комплексного наноструктурного препарата на основе цеолита	20
Гирфанова А. И., Исакова А. Т., Бозова Г. Б. Электрическая активность миокарда крыс линии Wistar при курсовом введении метионина	25
Дубенцов К. К., Тищенко А. С. Биологические свойства возбудителей бактериальных острых кишечных инфекций у телят и их антибиотикорезистентность	30
Иванов А.И., Юсупов С.Ю. Эпизоотологический мониторинг инфекционных болезней сельскохозяйственных птиц по Республике Башкортостан	37
Клетикова Л. В., Вирзум Л. В., Шашурина Ю. Н., Горин М. А., Горбунов П. А. Динамика белкового обмена у цыплят кросса Браун Ник	43
Кононович Н. А., Дерингер А. Д., Черепанов О. С., Шастов А. Л., Шаров А. В. Рентгенограмметрическое исследование диафиза большеберцовых костей овец в норме для разработки и тестирования новых ортопедических конструкций	48
Кузьмина И. В., Толпыго С. М., Тарабрина Н. В. Влияние соевого ингибитора трипсина на гематологические показатели в условиях водной и пищевой депривации у крыс	55
Кутлин Ю. Н., Маннапов А. Г. Морфофункциональная динамика гипофарингеальных желёз рабочих пчёл при переходе к активному сезону	62
Лопатина В. В. Экзокринная функция поджелудочной железы при добавлении синтетических аминокислот в рацион кур-несушек	69
Петров М. С., Асрутдинова Р. А. Зоогигиенические и ветеринарно-санитарные аспекты применения соли фосфония при выращивании цыплят-бройлеров	76
Плотникова Э. М., Шакуров М. М., Хаммадов Н. И., Усольцев К. В., Мухаметшин И. Р. Выявление ротавируса свиней методом полимеразной цепной реакции	81
Спиридонов Г. Н., Махмутов А. Ф., Евстифеев В. В., Саматова А. А., Дуплева Л. Ш. Нарботка биомассы производственных штаммов бактерий для изготовления лечебно-профилактических препаратов	90
Уранова В. В., Ломтева Н. А. Изменения нейropsychofизиологического статуса в условиях социального стресса и их коррекция экстрактом <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	96
Хамадишин А. И., Файзрахманов Р. Н., Данилова Н. И., Порфирьев А. С. Изучение токсикологических свойств новой многокомпонентной кормовой добавки	106
Цыганков Е. М., Менькова А. А. Аминокислотный состав крови откармливаемых бычков при применении кормовой добавки NCG-N-карбомил глутамат	111

ЗООТЕХНИЯ

Ахметзянова Ф. К., Кашаева А. Р., Шарипов Д. Р., Шагеева, А. Р., Миникаев Д. Т. Продуктивность коров и микробиологические параметры рубцовой жидкости при скармливании сенажа из сорго-суданкового гибрида	118
--	-----

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

	Pages
Burlakov A. B., Bondarchuk E. V., Galkina E. A., Kuzmina I. V., Bolotskova P. N. Electromagnetic biostimulation of fish and chicken embryos	6
Voronin A. Yu., Larina Yu. V., Novikova O. V. Cumulative properties of Vulpes Optima ZS feed additive with histological assessment of internal organs	14
Girfanov A. I. Morphofunctional state of blood-alveolar barrier and milk quality indicators in cows using a complex nanostructured product based on zeolite	20
Girfanova A. I., Iskhakova A. T., Bozova G. B. Myocardial electrical activity of Wistar rats after a course of methionine	25
Dubentsov K.K., Tishchenko A.S. Biological properties of acute intestinal bacterial infection agents in calves and their antibiotic resistance.....	30
Ivanov A. I., Yusupov S. Yu. Epizootic monitoring of infectious diseases of poultry in the Republic of Bashkortostan	37
Kletikova L. V., Virzum L. V., Shashurina Yu. N., Gorin M. A., Gorbunov P. A. Protein metabolism dynamics in Brown Nick cross chick.....	43
Kononovich N. A., Deringer A. D., Cherepanov O. S., Shastov A. L., Sharov A. V. Radiographic study of normal sheep tibial diaphysis for development and testing of new orthopedic design	48
Kuzmina I. V., Tolpygo S. M., Tarabrina N. V. Effects of soybean trypsin inhibitor on hematological parameters under water and food deprivation in rats	55
Kutlin Yu. N., Mannapov A. G. Morphofunctional dynamics of hypopharyngeal glands of bees during the transition to the active season.....	62
Lopatina V. V. Exocrine function of the pancreas in laying hens fed diets supplemented with synthetic amino acids	69
Petrov M. S., Asrutdinova R. A. Zoohygienic and veterinary-sanitary aspects of phosphonium salt application in broiler chicken rearing	76
Plotnikova E. M., Shakurov M. M., Khammadox N. I., Usoltsev K. V., Mukhametshin I. R. Detection of porcine rotavirus by polymerase chain reaction	81
Spiridonov G. N., Makhmutov A. F., Evstifeev V. V., Samatova A. A., Dupleva L. Sh. Development of biomass of industrial bacterial strains for the production of therapeutic and prophylactic drugs	90
Uranova V. V., Lomteva N. A. Changes in neuropsychophysiological status under conditions of social stress and their correction with <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi extract	96
Khamadishin A. I., Fayzrakhmanov R. N., Danilova N. I., Porfirev A. S. Study of toxicological properties of a new multi-component feed additive.....	106
Tsygankov E. M., Menkova A. A. Amino acid composition of blood in fattening bull calves using NCG - N - carbamil glutamate feed additive.....	111

ZOOTECHNICS

Akhmetzyanova F. K., Kashaeva A. R., Sharipov D. R., Shageeva A. R., Minikaev D. T. Cow productivity and microbiological parameters of rumen fluid when feeding sorghum-sudangrass hybrid of haylage	118
---	-----

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БИОСТИМУЛЯЦИЯ ЭМБРИОНОВ РЫБОК И КУР
А. Б. Бурлаков, Е. В. Бондарчук, Е. А. Галкина, И. В. Кузьмина, П. Н. Болоцкова

Реферат. В настоящем исследовании изучалось воздействие слабых широкополосных импульсных электромагнитных полей (ЭМИ) на эмбриогенез позвоночных для определения биостимулирующего эффекта. Для проведения эксперимента использовали икру рыбок *Danio rerio* (стадии 7–33) и инкубационные яйца кур кросса «Росс-308». Воздействие - неинвазивная дистанционная обработка икры и яиц аппаратом «ТОР». Режимы облучения икры: 5 и 1260 минут на разных стадиях. Режимы для яиц: три опытные группы с различной экспозицией, контроль - без обработки. Исследования проводили в соответствии с положениями Европейской конвенции о защите позвоночных животных (ETS № 123, 1986). Результаты исследований показали, что у икры *Danio rerio*: на стадиях 7-9 (бластула) 5-минутная экспозиция снизила частоту аномалий ($p \leq 0,05$); на стадиях 13-17 отмечено снижение смертности эмбрионов; на стадиях 31-33 смертность зафиксирована только в контроле через 1260 мин. В опытных группах к 6-му дню отсутствовали грибы Saprolegniales, вызывающие дерматомикоз. У кур: выводимость здорового молодняка в опытной группе №1 выше контроля на 9,2%, в группах №2 и №3 - на 3,6%. Некондиционных цыплят (слабые, калеки) в группах №1 и №3 не выявлено (в контроле - 9 шт.). Доля здоровых цыплят во всех опытах выше на 7,6%, 3,0% и 3,0% соответственно. Средний вес суточных цыплят в опытных группах превысил контроль на 11,1%, 10,6% и 9,2%. Задохлики зафиксированы только в контроле. ЭМИ-обработка снижает эмбриональную смертность и частоту аномалий у рыб, а в птицеводстве повышает выводимость на 3,6–9,2%, увеличивает жизнеспособность и массу молодняка при полном исключении задохликов и калек в отдельных группах. Эффект носит стадийно-зависимый характер и воспроизводим на разных биологических объектах.

Ключевые слова: ЭМИ, дистанционное воздействие ЭМИ, смертность, икра, яйца, эмбрионы, инкубация, выведение, биостимуляция

Для цитирования: Бурлаков А.Б., Бондарчук Е.В., Галкина Е.А., Кузьмина И.В., Болоцкова П.Н. Электромагнитная биостимуляция эмбрионов рыбок и яиц кур // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 6-13. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_6

Введение. Метод электромагнитной терапии имеет глубокие исторические корни в медицине, восходящие к древним практикам, где электрический скат использовался в качестве анестезирующего средства в ходе хирургических операций и родов.

Электромагнитная терапия, являясь неинвазивной процедурой, или, точнее, воздействием электромагнитного поля (ЭМП), нашла широкое применение в медицинской практике, особенно в форме импульсной электромагнитной терапии (ИЭМТ), начиная с XIX века, после фундаментальных открытий Майкла Фарадея и Джеймса Клерка Максвелла [1]. В начале XX века Александр Попов и Никола Тесла применяли устройства, генерирующие ЭМП в радиочастотном диапазоне, в терапевтических целях.

На сегодняшний день ИЭМТ активно используется в различных областях медицины, включая репродуктивные технологии [2]. Исследования [3] показывают, что ИЭМП инициируют движение ионов через клеточную мембрану и восстанавливают уровни Ca^{2+} -АТФазы плазматической мембраны, что способствует восстановлению внутриклеточной активности. В контексте репродуктивных технологий импульсные электромагнитные поля (ИЭМП) индуцируют митохондриальный гормезис в миогенезе, обеспечивая адаптацию к условиям выживания; ключевым механизмом при этом выступает активация секретомов (сигнальных и защитных белков), модулирующих реакции дифференцированных тканей [4]. Согласно литературным данным, воздействие ЭМИ стимулирует иммунный ответ у магниточувстви-

тельных видов, включая карпов и кур [5]. В отношении ихтиофауны установлено, что ЭМИ 50 Гц мощностью 1 мТл вызывают генотоксические и цитотоксические эффекты у радужной форели [6], тогда как статические поля не влияют на раннее развитие эмбрионов *Danio rerio* [7], а импульсные воздействия изменяют липидный профиль икры новозеландского макрорунуса [8]. Дополнительно показано, что ЭМИ модулируют окислительные процессы в мышцах белого амура [9], стимулируют регенерацию костной ткани на модели рыбьей чешуи [10], однако у эмбрионов пикши вызывают побочные эффекты в виде тахикардии и снижения массы желточного мешка [11].

Для птичьих эмбрионов экспериментально подтверждено, что ЭМИ повышают выживаемость гипоксичных эмбрионов кур [12], но не оказывают значимого влияния на общее развитие при воздействии полей от Wi-Fi и телефони [13]. Российские исследования выявили морфологические изменения во внутренних органах бройлеров под действием ЭМИ [14], а также зафиксировали рост продуктивных показателей и коррекцию метаболизма [15]. В то же время кратковременное еженедельное облучение усиливает развитие окислительного мышечного фенотипа у куриных эмбрионов [16]. Таким образом, совокупность данных свидетельствует о разнонаправленности эффектов ЭМИ в зависимости от вида, режима экспозиции и оцениваемого параметра.

Целью данного исследования являлось изучение воздействия слабых широкополосных импульсных электромагнитных полей (ЭМИ)

на эмбриогенез позвоночных для определения биостимулирующего эффекта.

Условия, материалы и методы. Исследование по влиянию дистанционного неионизирующего нетеплового слабого электромагнитного излучения (ЭМИ) на процессы эмбрионального развития проводили на модельном объекте *Danio rerio* (рыбки Данио Рерио). Облучение производили аппаратом неинвазивной электромагнитной терапии «ТОР» по ВЕМП.632624.001ТУР, зарегистрирован как медицинское изделие за номером № РЗН 2021/00396 в Росздравнадзоре Минздрава РФ 23 сентября 2021 года [17]. Частота импульсов составляла 100-150 Гц. Каждый волновой пакет с крутыми прямоугольными фронтами содержал частотные моды, кратные 25 кГц. Рабочая мощность прибора не превышала 80 Ватт. Эмбрионы Данио Рерио отбирали из стандартного 200-литрового аквариума после естественного размножения и помещали в чашки Петри диаметром 10 см при температуре 25 °С. Каждая экспериментальная группа содержала 50 зародышей одной стадии развития. Контролем служила аналогичная группа, не подвергавшаяся никакому воздействию. Стадии развития определяли по таблицам нормального эмбрионального развития Данио Рерио [18]. Для облучения использовали стадии эмбрионального развития: средней и поздней бластулы (стадии 7-9), стадии обрастания (стадии 13-17), стадии накануне вылупления (стадии 31-33). Чашки Петри с экспериментальными эмбрионами располагали горизонтально в той же плоскости что и облучатель на расстоянии 1 метра. После ЭМИ-обработки визуальный контроль функционального состояния эмбрионов в каждой группе проводили ежедневно в течение 6 дней. Анализировали темпы развития, выживаемость и количество аномальных зародышей. Все эксперименты были проведены с 10-кратным повторением на 13240 эмбрионах. Время облучения в разных экспериментальных группах эмбрионов составляло: 5 мин, 7 мин, 10 мин, 30

мин, 120 мин и 1260 минут. После облучения эмбрионы экспериментальных и контрольной группы содержали в одних и тех же условиях при световом режиме 12 часов день + 12 часов ночь и температуре 25 °С.

В рамках исследований, проведенных на инкубационном яйце кур кросса Росс-308, были сформированы четыре группы по 88 яиц (контроль и три опытных). Биологический контроль для всех групп яиц проводили в три этапа: до начала инкубации, в процессе инкубации и после окончания инкубации.

Изначально перед закладкой яиц в инкубатор проводили визуальную оценку яиц по внешнему виду для определения непригодных к инкубации яиц. При оценке яиц по внешнему виду (вся партия) и при просвечивании на овоскопе учитывали: состояние скорлупы, размеры и положение воздушной камеры, наличие трещин (насечка, бой) в скорлупе и различного рода включений в яйцах. Перед началом процесса инкубации яйца были прогреты до температуры 24-26 °С и заложены в инкубатор.

В ходе эксперимента воздействие на инкубационные яйца кур опытных групп осуществляли с использованием аппарата «ТОР». Перед загрузкой в инкубатор яйца экспериментальных групп подвергали воздействию ЭМИ в течение 12 минут (табл. 1). На 6-е сутки инкубации обработку проводили в течение 3 минут в экспериментальных группах 2 и 3. На 9-е сутки инкубации обработку проводили в течение 1,5 минут в экспериментальной группе 2. На 11-е сутки инкубации обрабатывали яйца 3 экспериментальной группы в течение 3 минут. Заключительный этап обработки был на 18-е сутки, в течение которого яйца экспериментальных групп 2 и 3 обрабатывали в течение 1,5 минут. Среднее расстояние от устройства «ТОР» до лотков с яйцами составляло 5 метров. Чтобы свести к минимуму «перекрестные помехи ЭМП», яйца контрольной группы (группа №4) инкубировали на значительном расстоянии от экспериментальных групп.

Таблица 1 Схема опыта обработки яиц кур кросса «Росс 308» в опытных группах

Инкубация	Группа		
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3
Перед закладкой в инкубатор	+	+	+
	(12 минут)	(12 минут)	(12 минут)
6-е сутки	-	+	+
		(3 минуты)	(3 минуты)
9-е сутки	-	+	-
		(1,5 минуты)	
11-е сутки	-	-	+
			(3 минуты)
18-е сутки	-	+	+
		(1,5 минуты)	(1,5 минуты)

В конце инкубационного периода анализировали следующие параметры: выводимость, количество здоровых цыплят, средний вес суточных цыплят и летальность.

Для статистической обработки результатов использовали компьютерную программу Microsoft Excel. Достоверность результатов опре-

деляли с помощью t-критерия Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1А, Б, В, Г показаны результаты развития рыбок *Danio rerio* при воздействии ЭМИ. Из полученных данных (рис.1А), видно, что в тече-

ние периода средней и поздней бластулы (стадии 7-9) при продолжительности воздействия 5 минут наблюдается статистически значимое ($p \leq 0,05$) снижение частоты аномалий.

На стадии эпибиоза (стадии 13-17) наблюдали значительное снижение смертности эмбрионов (рис. 1Б) в различные периоды времени воздействия ЭМИ.

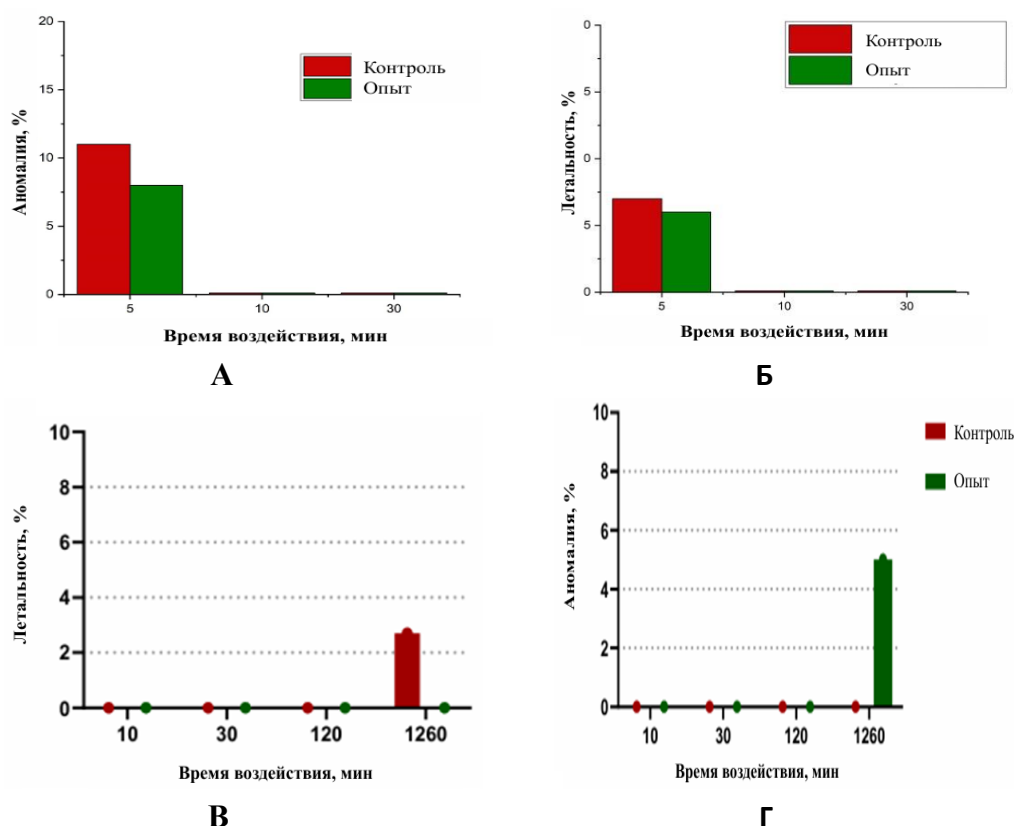


Рисунок 1 — (А) количество аномальных эмбрионов при воздействии ЭМИ на стадиях 7-9 ; (Б) летальность при воздействии ЭМИ на стадиях 13-17; (В) летальность при воздействии ЭМИ на стадиях 31-33; (Г) количество аномальных эмбрионов при воздействии ЭМИ на стадиях 31-33.

В период, предшествующий вылуплению (стадии 31-33), смертность эмбрионов регистрировали исключительно в контрольной группе через 1260 минут.

Следует отметить, что после обработки икры рыбок *Danio rerio* ЭМИ в течение 1260 мин точный анализ не показал присутствия плесневых грибов группы *Saprolegniales* (*Saprolegnia parasitica*, *S. mixta*, *S. ferax*, *S. monica*, *Achlya flagellata*, *Aphanomyces*, *Dictyuchus*, *Leptolegnia*), вызывающих

дерматомикоз рыб, в аквариумной воде к 6-му дню исследования.

Данные представлены на рисунке 2 демонстрируют «окно возможностей» для выведения самых здоровых и максимально многочисленных потомков рыбок *Danio rerio*. Воздействие ЭМИ на протяжении 3-10 мин соответствует выводам [19] о том, что кратковременное воздействие (10 мин) является наиболее комфортной дозой для пролиферации клеток.

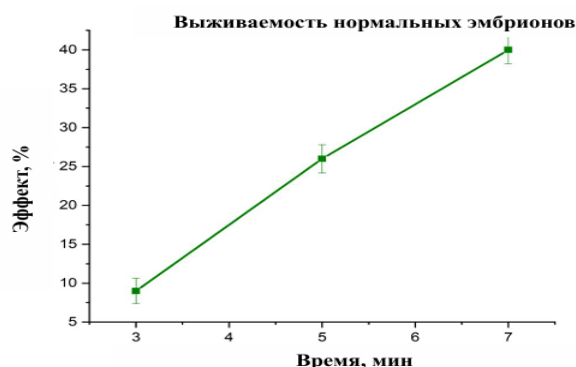


Рисунок 2— Выживаемость нормальных эмбрионов рыбок *Danio rerio*

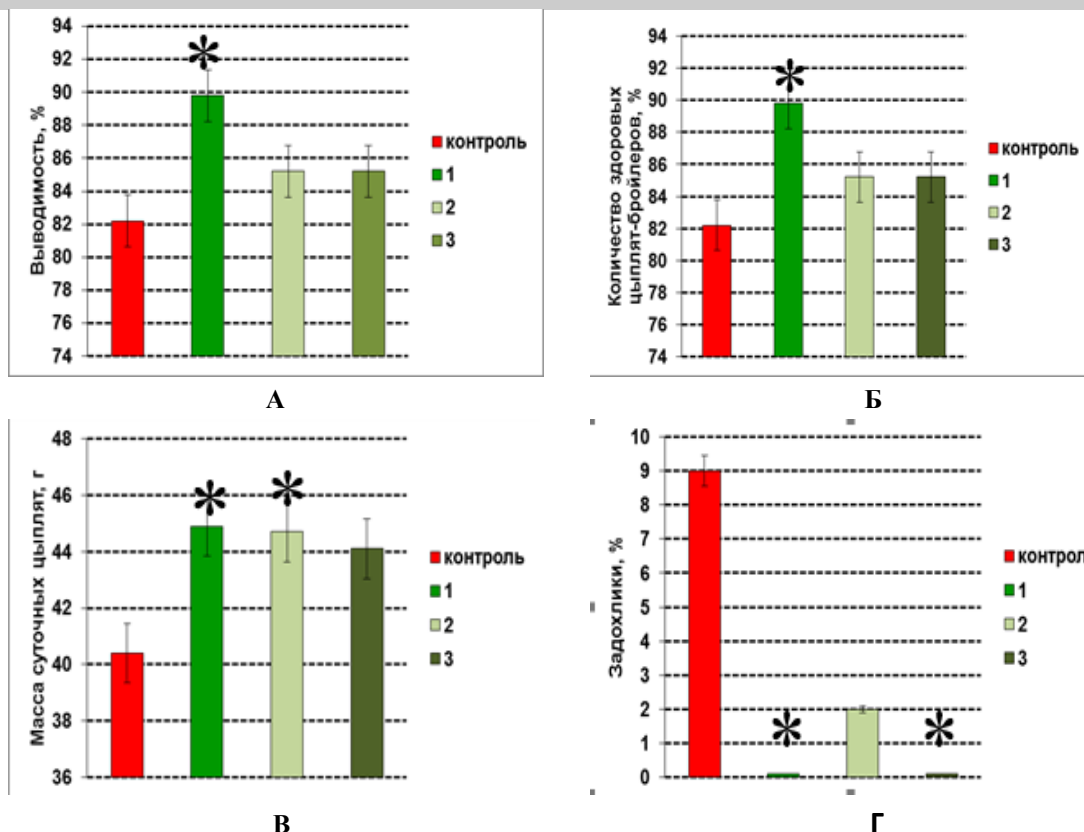


Рисунок 3—Результаты инкубации яиц кур кросса «Росс-308» под воздействием ЭМИ: А - Выводимость, %; Б - количество здоровых цыплят, %; В - масса суточных цыплят, г; Г - «задохлики», %.

Примечание: * - статистически значимый результат, $p < 0,05$

Показано, что процент выводимости здорового молодняка был самый высокий у цыплят в опытной №1 группе, где на 9,2% данный показатель был выше, чем в контроле. В опытных 2 и 3 группах выводимость была незначительно выше в обеих группах на 3,6% в сравнении с контрольной группой (рис. 3А). Некондиционных цыплят – слабых и калек не было в опытных 1 и 3 группах. Самое большое количество (9 шт.) было в контрольной группе. Обработка ЭМИ способствовала увеличению числа здоровых цыплят во всех опытных группах на 7,6%, 3,0% и 3,0% соответственно при этом данные группы 1 являются статистически значимыми ($p < 0,05$) (рис. 3Б), повышению среднего веса суточных цыплят в опытных группах на 11,1%, 10,6% и 9,2%, при этом данные группы 1 и 2 являются статистически значимыми ($p < 0,05$) (рис. 3В).

В контрольной группе было зафиксировано самое большое количество задохликов (рис. 3Г), тогда как в опытной 1 и 3 группах эти показатели оказались нулевыми. Эти результаты подтверждают перспективность дальнейших исследований в данной области, направленных на разработку инновационных технологий, повышающих эффективность и экономическую рентабельность инкубационных процессов.

Обсуждение. Экспериментальный материал по воздействию низко интенсивных электромагнитных полей на живые объекты, сви-

детельствует о том, что механизмы такого взаимодействия, как с отдельной живой клеткой, так и с многоклеточным организмом, затрагивают фундаментальные аспекты их жизнедеятельности. Икра рыб и яйца кур представляют собой уникальные примеры начальной стадии биологической жизни, которые иллюстрируют феноменальные способности природы к репродукции и развитию. В процессе их эмбриогенеза проявляются фундаментальные законы природы, включая необходимость соблюдения специфических условий окружающей среды и высокую степень уязвимости на ранних этапах онтогенеза.

Одним из признанных международных лабораторных модельных объектов для проведения исследований по различным аспектам биологии и медицины является аквариумная рыбка *Danio rerio*. Её икринки обладают высокой прозрачностью, минимальным разбросом размеров и оптических характеристик внутри одного помёта, генетической стабильностью и не прилипают к субстрату, что позволяет осуществлять с ними разнообразные манипуляции и проводить визуальные наблюдения за развитием эмбриона. Известно, что наиболее чувствительным периодом к внешним воздействиям является этап раннего развития рыб [20].

При этом яйцо птицы также является одной из тех биологических сред, где магнитное воздействие вызывает значительные сдвиги,

как в эмбриональный, так и в постэмбриональный период развития [21].

Показано, что комплексная обработка яиц мясных кур как перед закладкой на инкубацию, так и в процессе инкубации квазимонохроматическим и лазерным облучением с экспозицией 5 и 3 мин приводит к повышению эмбриональной и постэмбриональной жизнеспособности, увеличению вывода молодняка птицы на 1,5–7,1%, что положительно коррелируется с показателями естественной резистентности [22]. Эти данные согласуются с результатами исследований [23], в которых была получена высокая выводимость, уменьшение количества слабых цыплят и увеличение массы суточных цыплят. По-видимому, ЭМИ оказывает влияние на процессы эмбрионального развития, стимулируя пролиферацию и дифференцировку клеток-предшественников мышечных волокон, таких как миообласты и миосателлитоциты. Это, в свою очередь, приводит к увеличению синтеза миофибриллярных белков и формированию новых миофибрилл, что способствует росту скелетной мускулатуры. В результате данные процессы положительно сказываются на мясной продуктивности цыплят. Снижение продуктивности сельскохозяйственной птицы обусловлено комплексом факторов: возрастными изменениями родительского стада, ухудшением качества инкубационных яиц и замедлением эмбриогенеза. В этой связи обработка яиц электромаг-

нитным излучением (ЭМИ) рассматривается как потенциальный инструмент коррекции эмбрионального развития.

В аквакультуре внедрение технологических приёмов, направленных на увеличение выхода молоди и повышение её выживаемости, часто сопровождается отсроченными негативными последствиями для постэмбрионального развития гидробионтов [24]. Полученные результаты демонстрируют, что ЭМИ-обработка икры осетровых радиочастотным диапазоном не только повышает репродуктивный потенциал, но и согласуется с данными настоящего исследования: у *Danio rerio* зафиксировано снижение эмбриональной смертности и увеличение доли здоровых особей при дистанционном нетепловом облучении.

Выводы.

1. Применение слабого импульсного ЭМИ в инкубации куриных яиц и икры *Danio rerio* обеспечивает однонаправленный биостимулирующий эффект, выражающийся в снижении эмбриональной гибели, повышении выводимости и увеличении выхода жизнеспособного потомства.

2. Наиболее выраженное действие ЭМИ наблюдается при экспозиции около 10 минут.

3. Полученные данные обосновывают целесообразность дальнейшей разработки ЭМИ-технологий как средства повышения продуктивности в птицеводстве аквакультуре.

Литература

1. Pulsed electromagnetic therapy: literature review and current update / Y. Mayer, J. A. Shibli, H. A. Saada [et al.] // Dent. J. 2024. 35. e24-6109. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202406109>.
2. Ozone sauna therapy and pulsed electromagnetic field therapy could potentially improve outcome in women with diminished ovarian reserve undergoing assisted reproductive technology / A. R. Dias, C. Bitsaktsis, D. Emdin [et al.] // Z. Med. Gas Res. 2023. 13(4). 202–207. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.350862>.
3. Low frequency and low intensity pulsed electromagnetic field exerts its antiinflammatory effect through restoration of plasma membrane calcium ATPase activity / R. Selvam, K. Ganesan, R. K.V. Narayana [et al.] // Life Sci. 2007. 80. 2403–2410. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2007.03.019>.
4. Brief exposure to directionally-specific pulsed electromagnetic fields stimulates extracellular vesicle release and is antagonized by streptomycin: a potential regenerative medicine and food industry paradigm / C. J.K. Wong, Y. K. Tai, J. L.Y. Yap [et al.] // Biomaterials. 2022. 287. 121658, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121658>.
5. Immune stimulation in fish and chicken through weak low frequency electromagnetic fields / J. J.M. Cuppen, G. F. Wiegertjes, H. W.J. Lobeek [et al.] // Environmentalist. 2007. 27. 577–583. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9055-2>.
6. Genotoxic and cytotoxic effects of 50 Hz 1 mT electromagnetic field on larval rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Baltic clam (*Limecola balthica*) and common ragworm (*Hediste diversicolor*) / M. Stankevičiūtė, M. Jakubowska, J. Pažusienė [et al.] // Aquat. Toxicol. 2019. 208. 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.12.023>.
7. The decreased permittivity of zebrafish embryos culture medium by magnetic fields did not affect early development of zebrafish embryos / L. Su, L. Zhu, Z. Liu [et al.] // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2020. 193. 110350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110350>.
8. The effect of pulsed electric fields on the extracted total lipid yield and the lipidomic profile of hoki roe / M. K. Ahmed A., Carne, H. S. Tian [et al.] // Food Chem. 2022. 384. 132476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132476>.
9. Mahato S., Sun D.-W., Zhai Z. Ca²⁺/ATPase enzyme activities and lipid and protein oxidations of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) stored at 4 °C for 30 min under electromagnetic fields // Food Chem. 2023. 399. 133914. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133914>.
10. Bone regeneration-enhancing effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: analysis using fish scales as a bone model / N. Suzuki, M. Kakikawa, Y. Oda [et al.] // Biomed. Res. 2024. 45(5). 187–195. <https://doi.org/10.2220/biomedres.45.187>.
11. Effects of anthropogenic electromagnetic fields used for subsurface oil and gas exploration (controlled-source electromagnetics, CSEM) on the early development of Atlantic haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) / C. Guillebon, P. Perrichon, H.I. Browman [et al.] // Mar. Pollut. Bull. 2025. 211. 117425. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117425>.

12. Cooper P. D. Rescue of moribund chicken embryos by extremely low-frequency electric fields // *Explore* (NY). 2016. 12(6). 451–454. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2016.08.005>.
13. Study of potential health effects of electromagnetic fields of telephony and Wi-Fi, using chicken embryo development as animal model / H. Woelders, A. de Wit, A. Lourens [et al.] // *Bioelectromagnetics*. 2017. 38(3). 186–203. <https://doi.org/10.1002/bem.22026>.
14. Влияние электромагнитного излучения на внутренние органы цыплят-бройлеров: морфологические и гистологические изменения / Е. А. Галкина, И. В. Кузьмина, А. Ф. Турканов [и др.] // *Бюллетень Ижевского государственного сельскохозяйственного университета*. 2025. 82(2). 136. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_125-136.
15. Галкина Е. А., Мурадян Е. А., Вертипрахов В. Г. Повышение показателей продуктивности и коррекция метаболизма цыплят-бройлеров с использованием электромагнитного излучения // *Международный вестник ветеринарии*. 2025. № 1. С. 203–211. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.203>
16. Brief weekly magnetic field exposure enhances avian oxidative muscle character during embryonic development / J. L.Y. Yap, K. Y. Wu, Y. K. Tai, [et al.] // *Int. J. Mol. Sci*. 2025. 26(11). 5423. <https://doi.org/10.3390/ijms26115423>.
17. Efficacy of a pulsed electromagnetic field in accelerating COVID-19 clearance: phase II clinical trial results / O. V. Fatenkov, I. L. Davydkin, A. V. Yashkov [et al.] // *Acta Sci. Med. Sci*. 2025. 9(7). 123–131. <https://doi.org/10.31080/ASMS.2025.09.2124>.
18. Stages of embryonic development of the zebrafish / C. B. Kimmel, W. W. Ballard, S. R. Kimmel [et al.] // *Dev. Dyn*. 1995. 203. 253–310. <https://doi.org/10.1002/aja.1002030302>.
19. Ambient and supplemental magnetic fields promote myogenesis via a TRPC1-mitochondrial axis: evidence of a magnetic mitohormetic mechanism / J. L.Y. Yap, Y. K. Tai, H. Fröhlich [et al.] // *FASEB J*. 2019. 33. 12853–12872. <https://doi.org/10.1096/fj.201900057R>.
20. Регуляторное действие низкоинтенсивного излучения в ближней инфракрасной области на раннее развитие Данио Рерио (*Danio rerio*) / В.И. Юсупов, Н. Б. Симонова, Г. М. Чуйко [и др.] // *Биофизика*. 2018. Т. 63, № 1. С. 144–151. <https://doi.org/10.1134/S0006350918010207>. EDN:YLLLVY.
21. Головей В. В., Евстигнеев А. Р., Севостьянова Н. Н. Влияние магнитолазерной терапии на рост живой массы слабых при рождении цыплят-бройлеров // *Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности*. 2004. Т. 7. № 8. С. 7–8. EDN: IUJTJT.
22. Мамукаев М. Н. Агузарова З. В., Тохтиев Т. А. Эмбриогенез цыплят-бройлеров при облучении лазером "Матрикс" // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2011. № 66. С. 332–342. <https://doi.org/10.13589/j.2011.02.10>. EDN: YUVWXW.
23. Князева В. А., Суйя Е. В., Сулейманов Ф.И. Исследования влияния магнитного поля и лазерного излучения на органы-мишени и развитие эмбрионов кур // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. №1. С. 22–26. https://doi.org/10.34677/2618-7337_2015_1_22_26. EDN: YUVWXY.
24. Мандра А. В., Пиротти Е. Л. Расчет электромагнитного импульсного поля в инкубационной емкости с икрой осетровых // *Sci. Herit*. 2020. № 46-1(46). С. 20–24. EDN: GPUPEJ

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Бурлаков Александр Борисович* – доктор биологических наук, профессор кафедры ихтиологии, e-mail: burlakovao@mail.ru

Московский государственный университет, г. Москва, Россия

Бондарчук Елена Владимировна – акционер, e-mail: galkina.e@granit-concern.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4256-4274>

АО «Концерн Гранит», г. Москва, Россия

Галкина Екатерина Анатольевна – начальник лаборатории электробиофизических и химических исследований, e-mail: galkina.e@granit-concern.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3824-2577>

АО «Концерн Гранит», г. Москва, Россия

Кузьмина Ирина Викторовна – кандидат биологических наук, научный консультант отдела волнового оборудования e-mail: kuzmina.i@granit-concern.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6399-6886>

АО «Концерн Гранит», г. Москва, Россия

Болоцкова Полина Николаевна – аспирант кафедры физики, <https://orcid.org/0000-0001-8260-1659>

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия

ELECTROMAGNETIC BIOSTIMULATION OF ZEBRAFISH AND CHICKEN EMBRYOS

A. B. Burlakov, E. V. Bondarchuk, E. A. Galkina, I. V. Kuzmina, P. N. Bolotskova

Abstract. This research investigated the effects of nature-like technologies in the form of weak, wide-band pulsed electromagnetic fields (PEMFs) on embryonic development, aiming to assess their potential for biostimulation and enhanced reproductive efficiency across bi-ological systems. Using *Danio rerio* (zebrafish) roe and Ross-308 broiler chicken hatching eggs, the study applied non-invasive, distant PEMF treatment via the "TOR" device, following the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals (ETS No. 123, 1986). In zebrafish, a 5-minute EMF exposure during mid- to late blastula stages (7–9 days) reduced the incidence of abnormalities. During overgrowth (stages 13–17), embryo mortality significantly decreased, and in the pre-hatching period (stages 31–33) mortality occurred only in the control group at 1260 minutes. In avian embryos, EMF treatment resulted in the highest hatchability rates and increased numbers of healthy chicks with greater average daily weights, while experimental groups showed no weak, crippled, or stunted chicks compared to controls. The study concludes that EMF technology applied to broiler chicken eggs produces effects analogous to those seen in zebrafish eggs, confirming that distant, non-thermal PEMF treatment opens new prospects for biostimulation and improving reproductive efficiency in diverse biological systems.

Key words: EMF, remote EMF exposure, mortality, eggs, caviar, embryos, incubation, hatching, biostimulation

For citation: Burlakov A.B., Bondarchuk E.V., Galkina E.A., Kuzmina I.V., Bolotskova P.N. Electromagnetic biostimulation of zebrafish and chicken embryos. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 6-13. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_6

References

1. Mayer Y, Shibli JA, Saada HA. Pulsed electromagnetic therapy: literature review and current update. Dent. J. 2024; 35. e24-6109. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202406109>.
2. Dias AR, Bitsaktsis C, Emdin D. Ozone sauna therapy and pulsed electromagnetic field therapy could potentially improve outcome in women with diminished ovarian reserve undergoing assisted reproductive technology. Z. Med. Gas Res. 2023; 13(4). 202-207 p. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.350862>.
3. Selvam R, Ganesan K, Narayana R KV. Low frequency and low intensity pulsed electromagnetic field exerts its antiinflammatory effect through restoration of plasma membrane calcium ATPase activity. Life Sci. 2007; 80. 2403-2410 p. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2007.03.019>.
4. Wong CJK, Tai YK, Yap JLY. Brief exposure to directionally-specific pulsed electromagnetic fields stimulates extracellular vesicle release and is antagonized by streptomycin: a potential regenerative medicine and food industry paradigm. Biomaterials. 2022; 287. 121658. 1-20 p. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121658>.
5. Cuppen JJM, Wiegertjes GF, Lobe HWJ. Immune stimulation in fish and chicken through weak low frequency electromagnetic fields. Environmentalist. 2007; 27. 577-583 p. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9055-2>.
6. Stankeviciute M, Jakubowska M, Pazusiene J. Genotoxic and cytotoxic effects of 50 Hz 1 mT electromagnetic field on larval rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Baltic clam (*Limecola balthica*) and common ragworm (*Hediste diversicolor*). Aquat. Toxicol. 2019; 208. 109-117 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.12.023>.
7. Su L, Zhu L, Liu Z. The decreased permittivity of zebrafish embryos culture medium by magnetic fields did not affect early development of zebrafish embryos. Ecotoxicol. Environ. Saf. 2020; 193. 110350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110350>.
8. Ahmmed MK, Carne A, Tian HS. The effect of pulsed electric fields on the extracted total lipid yield and the lipidomic profile of hoki roe. Food Chem. 2022; 384. 132476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132476>.
9. Mahato S, Sun DW, Zhai Z. Ca²⁺-ATPase enzyme activities and lipid and protein oxidations of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) stored at 4 °C for 30 min under electromagnetic fields. Food Chem. 2023; 399. 133914. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133914>.
10. Suzuki N, Kakikawa M, Oda Y. Bone regeneration-enhancing effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: analysis using fish scales as a bone model. Biomed. Res. 2024; 45(5). 187-195 p. <https://doi.org/10.2220/biomedres.45.187>.
11. Guillebon C, Perrichon P, Browman HI. Effects of anthropogenic electromagnetic fields used for subsurface oil and gas exploration (controlled-source electromagnetics, CSEM) on the early development of Atlantic haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Mar. Pollut. Bull. 2025; 211. 117425. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117425>.
12. Cooper PD. Rescue of moribund chicken embryos by extremely low-frequency electric fields. Explore (NY). 2016; 12(6). 451-454 p. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2016.08.005>.
13. Woelders H, A. de Wit, Lourens A. Study of potential health effects of electromagnetic fields of telephony and Wi-Fi, using chicken embryo development as animal model. Bioelectromagnetics. 2017; 38(3). 186-203 p. <https://doi.org/10.1002/bem.22026>.
14. Galkina EA, Kuzmina IV, Turkanov AF. [Effect of electromagnetic radiation on the internal organs of broiler chickens: morphological and histological changes]. Byulleten Izhevskogo gosudarstvennogo selskokhozyaystvennogo universiteta. 2025; 82(2). 136 p. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_125-136.
15. Galkina EA, Muradyan EA, Vertiprakhov VG. [Improving productivity indicators and correcting metabolism of broiler chickens using electromagnetic radiation]. Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii. 2025; 1. 203-211 p. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.203>.
16. Yap JLY, Wu KY, Tai YK. Brief weekly magnetic field exposure enhances avian oxidative muscle character during embryonic development. Int. J. Mol. Sci. 2025; 26(11). 5423. <https://doi.org/10.3390/ijms26115423>.
17. Fatenkov OV, Davydkin IL, Yashkov AV. Efficacy of a pulsed electromagnetic field in accelerating COVID-19 clearance: phase II clinical trial results. Acta Sci. Med. Sci. 2025; 9(7). 123-131 p. <https://doi.org/10.31080/ASMS.2025.09.2124>.
18. Kimmel CB, Ballard WW, Kimmel SR. Stages of embryonic development of the zebrafish. Dev. Dyn. 1995; 203. 253-310 p. <https://doi.org/10.1002/aja.1002030302>.
19. Yap JLY, Tai YK, Frohlich H. Ambient and supplemental magnetic fields promote myogenesis via a TRPC1-mitochondrial axis: evidence of a magnetic mitohormetic mechanism. FASEB J. 2019; 33. 12853-12872 p. <https://doi.org/10.1096/fj.201900057R>.
20. Yusupov VI, Simonova NB, Chuyko GM. [Regulatory effect of low-intensity radiation in the near infrared region on the early development of Danio rerio (*Danio rerio*)]. Biofizika. 2018; Vol.63. 1. 144-151 p. <https://doi.org/10.1134/S0006350918010207>. EDN: YLLLVY.
21. Golovey VV, Evstigneev AR, Sevostyanova NN. [Effect of magnetic laser therapy on the growth of live weight of weak-at-birth broiler chickens]. Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. 2004; Vol.7. 8. 7-8 p. EDN: IUJTJT.
22. Mamukaev MN, Aguzarova ZV, Tokhtiev TA. [Embryogenesis of broiler chickens irradiated with Matriks laser]. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011; 66. 332-342 p. <https://doi.org/10.13589/j.2011.02.10>. EDN: YUVWXW.
23. Knyazeva VA, Suyya EV, Suleymanov FI. [Studies of influence of magnetic field and laser radiation on target organs and chicken embryos development]. Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2015; 1. 22-26 p. https://doi.org/10.34677/2618-7337_2015_1_22_26. EDN: YUVWXY.
24. Mandra AV, Pirotti EL. [Calculation of electromagnetic pulse field in an incubation tank with sturgeon caviar]. Sci. Herit. 2020; 46-1(46). 20-24 p. EDN: GPUPEJ

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Burlakov Aleksandr Borisovich* – Doctor of Biological Sciences, Professor of Ichthyology Department, e-mail: burlakovao@mail.ru

Moscow State University, Moscow, Russia.

Bondarchuk Elena Vladimirovna – shareholder, e-mail: galkina.e@granit-concern.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4256-4274>

ВЕТЕРИНАРИЯ

Galkina Ekaterina Anatolevna – Head of Laboratory of Electrobiophysical and Chemical Research, e-mail: galkina.e@granit-concern.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3824-2577>

Kuzmina Irina Viktorovna – Ph.D. of Biological Sciences, Scientific Consultant, Wave Equipment Department, e-mail: kuzmina.i@granit-concern.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6399-6886>

JSC Concern Granit, Moscow, Russia

Bolotskova Polina Nikolaevna – post-graduate student of Physics Department, <https://orcid.org/0000-0001-8260-1659>

Moscow State Technical University named after H.E. Bauman, Moscow, Russia.

**КУМУЛЯТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОРМОВОЙ ДОБАВКИ VULPES OPTIMA ZS
С ГИСТОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКОЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ****А. Ю. Воронин, Ю. В. Ларина, О. В. Новикова**

Реферат. В статье представлены результаты изучения кумулятивного эффекта новой полимер-стабилизированной кормовой добавки «Vulpes Optima ZS» в эксперименте на лабораторных животных. Исследование проведено на 30 белых беспородных крысах-самцах со средней массой тела 220 г в соответствии с принципами Методических указаний МУ 1.2.2520-09 и классического теста R. K. Lim et al. Испытуемый препарат вводили перорально внутрижелудочно с помощью зонда в возрастающих дозах: каждые 4 суток дозу увеличивали в 1,5 раза, начиная с дозы, составляющей 1/10 от ранее установленной сублетальной. На протяжении всего опыта осуществляли ежедневный клинический мониторинг: регистрировали динамику живой массы, сохранность поголовья, поведенческие реакции, потребление корма и воды, состояние шерстного покрова, характер физиологических отравлений. По окончании срока воздействия проведен патологоанатомический анализ и комплексное гистологическое исследование паренхиматозных органов (печень, почки) и отделов желудочно-кишечного тракта (желудок, тонкий кишечник) с окраской срезов гематоксилином и эозином. Результаты свидетельствуют об отсутствии летальности и статистически значимого отставания в приросте массы тела у опытных животных по сравнению с контролем. Рассчитанный коэффициент кумуляции ($K_{\text{кум}} = 11,06$) позволяет отнести добавку к IV классу опасности – веществам со слабовыраженными кумулятивными свойствами. Макро- и микроскопическая картина внутренних органов крыс опытной группы не имела достоверных отличий от контрольных образцов. Структура органов соответствовала физиологической норме: сохранена архитектоника долек печени и нефронов почек, целостность слизистых оболочек ЖКТ, отсутствовали признаки дистрофии, некроза, воспалительной инфильтрации или склеротических изменений. Полученные данные являются основанием для вывода о низком кумулятивном потенциале и безопасности кормовой добавки «Vulpes Optima ZS» при длительном применении в изученном диапазоне доз.

Ключевые слова: кормовая добавка, кумуляция, токсичность, гистология, лабораторные крысы, безопасность, наноматериалы.

Для цитирования: Воронин А.Ю., Ларина Ю.В., Новикова О.В. Кумулятивные свойства кормовой добавки Vulpes Optima ZS с гистологической оценкой внутренних органов // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 14-19. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_14

Введение. Современное животноводство ориентировано на интенсивные технологии, эффективность которых напрямую зависит от сбалансированности рационов по широкому спектру питательных и биологически активных веществ [1]. Дефицит микро- и макроэлементов, витаминов, возникающий при использовании традиционных кормов, приводит к нарушениям метаболизма, снижению продуктивности, репродуктивных функций и иммунного статуса животных, что наносит значительный экономический ущерб [2, 3]. В этой связи применение кормовых добавок, обогащающих рацион, является неотъемлемым элементом технологического процесса. Особый интерес представляют комплексные добавки, сочетающие в себе необходимые нутриенты и современные носители, повышающие их биодоступность и стабильность [4, 5].

Одним из перспективных направлений является использование нанотехнологий в создании кормовых добавок [6, 7]. Наноструктурированные материалы, благодаря высокому соотношению поверхности к объему и малым размерам частиц (1-100 нм), обладают уникальными физико-химическими свойствами, которые могут принципиально изменять фармакокинетику и биологическую активность вносимых веществ [8]. Они способны выступать в качестве эффективных систем

доставки, обеспечивать контролируемое высвобождение и улучшенную абсорбцию действующих компонентов в желудочно-кишечном тракте [9]. Однако, именно эти свойства обуславливают потенциальные риски, связанные с возможностью преодоления биологических барьеров, накопления в органах и тканях (кумуляции) и индукции непредсказуемых клеточных ответов [10, 11]. Поэтому, наряду с изучением эффективности, обязательным этапом доклинических исследований новых композитных добавок, содержащих наночастицы, является всесторонняя оценка их безопасности, включая анализ кумулятивного действия [12].

Кумуляция – это способность вещества накапливаться в организме при повторных введениях в субтоксических дозах и усиливать свое действие, что в итоге может привести к хронической интоксикации [13]. Исследование кумулятивных свойств позволяет прогнозировать риск отдаленных последствий при длительном применении, установить класс опасности и обосновать режимы дозирования с учетом необходимости периода выведения. Наиболее информативным методом является хронический эксперимент на лабораторных животных с постепенным повышением дозы, морфологическим и гистологическим контролем состояния органов-мишеней [14].

Целью настоящей работы явилась комплексная оценка кумулятивных свойств новой отечественной кормовой добавки «Vulpes Optima ZS», стабилизированной полиакрилатом натрия, в эксперименте на белых крысах с последующим гистологическим анализом внутренних органов.

Условия, материалы и методы. Работа выполнена на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии при ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет». Объектом изучения служила кормовая добавка «Vulpes Optima ZS», представляющая собой водную суспензию, стабилизированную полиакрилатом натрия и обогащенную комплексом микроэлементов в биодоступной форме. Исследование проведено на 30 половозрелых белых беспородных крысах-самцах со средней начальной массой 220 ± 15 г. Животные были рандомизированы на две группы: опытную ($n=20$) и контрольную ($n=10$). Все особи содержались в виварии в стандартных условиях (температура 22 ± 2 °C,

влажность 50-60%, 12-часовой световой режим) на полнорационном комбикорме с неограниченным доступом к воде. За 14 дней до начала эксперимента животные находились на карантине для адаптации.

Кумулятивные свойства изучали в соответствии с требованиями МУ 1.2.2520-09 «Гигиеническая оценка безопасности наноматериалов» и методом R. K. Lim et al. (1961), основанном на определении кумулятивного коэффициента при длительном введении возрастающих доз. За исходную (минимальную) дозу была принята величина, составляющая 1/10 от ранее установленной в наших исследованиях сублетальной дозы (ЛД₅₀) для данной добавки при однократном введении, что составило 0,045 мл/кг (0,05 мл на животное). Препарат вводили ежедневно внутрь с помощью атравматичного желудочного зонда. Дозу увеличивали в 1,5 раза каждые 4 дня на протяжении 28 суток. Контрольная группа получала эквивалентный объем деионизированной воды по аналогичной схеме. Схема дозирования представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема проведения кумулятивных исследований

Показатель, г/кг	Опыт, сутки						
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28
Суточная доза	0,045	0,06	0,09	0,10	0,20	0,30	0,475
Суммарная доза за 4 дня	0,18	0,24	0,36	0,40	0,80	1,20	1,80
Суммарная доза	0,18	0,42	0,78	1,18	1,98	3,18	4,98
Летальность	-	-	-	-	-	-	-

Ежедневно фиксировали общее клиническое состояние животных: реакцию на внешние раздражители, двигательную активность, состояние шерстного покрова и слизистых оболочек. Дважды в неделю проводили индивидуальное взвешивание. Ежедневно учитывали поедаемость корма и потребление воды. Отдельно регистрировали акты мочеиспускания и дефекации. Все наблюдения документировали в протоколах.

По окончании 28-дневного периода воздействия всех животных выводили из эксперимента гуманным методом под легким эфирным наркозом. Проводили полное патолого-анатомическое вскрытие с макроскопической оценкой состояния внутренних органов (печень, почки, селезенка, сердце, легкие, желудок, кишечник). Для гистологического анализа отбирали образцы печени, почек, желудка и тонкого отдела кишечника. Фрагменты тканей фиксировали в 10% нейтральном забуференном формалине не менее 24 часов. После стандартной проводки через спирты возрастающей концентрации материал заливали в парафин. На микротоме получали серийные срезы толщиной 4-5 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином. Микроскопию и фотодокументирование проводили с использованием светового микроскопа

«Микмед-5» с цифровой камерой при увеличениях $\times 100$, $\times 200$ и $\times 400$.

Для оценки динамики массы тела использовали методы параметрической статистики. Данные представлены как $M \pm m$ (среднее арифметическое $\pm$ ошибка среднего). Достоверность различий между группами определяли с помощью t-критерия Стьюдента, различия считали значимыми при $p < 0,05$. Коэффициент кумуляции (К_{кум}) рассчитывали по формуле: $K_{кум} = LD_{50}(хрон) / LD_{50}(остр)$, где LD₅₀(хрон) – суммарная доза, введенная за 28 дней, а LD₅₀(остр) – средняя летальная доза при однократном введении. В нашем случае, при отсутствии летальности, в качестве знаменателя использовали максимальную однократно введенную дозу в эксперименте (0,45 г/кг), что является адаптированным подходом для оценки слабокумулятирующих веществ.

Результаты и обсуждение. На протяжении первых 8 дней эксперимента животные обеих групп сохраняли активность, аппетит и физиологические показатели в пределах нормы. Первые транзиторные изменения в поведении опытной группы были отмечены на 9-е сутки при увеличении суточной дозы до 0,09 г/кг и достижении суммарной дозы 0,78 г/кг. Они проявлялись кратковременным (до 30-40 минут) снижением пищевой возбудимости

после введения препарата, после чего потребление корма и воды полностью восстанавливалось. Более выраженные, но обратимые клинические признаки отмечались с 17-х суток при суточной дозе 0,2 г/кг (суммарная 1,98 г/кг). У части крыс наблюдалась легкая вялость, взъерошенность шерсти, стремление затаиться в углу клетки. Данные симптомы самостоятельно купировались в течение 1,5-2 часов после введения. Важно отметить, что ни на одном этапе эксперимента не было зафиксировано отказа от корма и воды на протяжении всего светового дня, а также не было отмечено случаев диареи или других нарушений со стороны желудочно-кишечного тракта. Летальность в опытной группе отсутствовала на всех этапах, сохранность поголовья составила 100%.

Темпы прироста массы в опытной группе несколько отставали от контрольной в периоды введения повышенных доз (3-я и 4-я недели), однако статистически значимых различий между средними значениями массы в контрольной и опытной группах на конец эксперимента выявлено не было. Это свидетельствует об отсутствии токсического эффекта, связанного с нарушением нутритивного статуса или катаболическими процессами.

Расчет коэффициента кумуляции по результатам 28-дневного эксперимента составил согласно формуле: $K_{\text{кум}} = 4,98 / 0,45 = 11,06$.

Согласно общепринятой классификации К. С. Ладогина (1973) и современных руководств, вещества по степени кумуляции делятся на 5 классов: I – сверхсильная ($K_{\text{кум}} < 1$), II – выраженная ($K_{\text{кум}} = 1-3$), III – умеренная ($K_{\text{кум}}$

$= 3-5$), IV – слабая ($K_{\text{кум}} = 5-10$) и V – практическое отсутствие кумуляции ($K_{\text{кум}} > 10$).

Полученное значение (11,06) позволяет отнести кормовую добавку «Vulpes Optima ZS» к IV-V классу – веществам со слабовыраженными кумулятивными свойствами, что указывает на ее низкую способность к накоплению в организме и высокий профиль безопасности при пролонгированном применении.

При макроскопическом исследовании органов и тканей павших животных не было выявлено. При плановом вскрытии по окончании опыта патологоанатомических изменений у животных опытной группы не обнаружено. Органы брюшной и грудной полостей были правильной анатомической формы, с четкими контурами, характерной для вида окраской и консистенцией. Паренхиматозные органы (печень, почки) без признаков дистрофии, кровоизлияний, очагов некроза или метастазов. Слизистые оболочки желудка и кишечника были гладкие, блестящие, розового цвета, без изъязвлений, наложений или гиперемии.

Гистологический анализ подтвердил данные макроморфологии. В печени (рис. 1) сохранена классическая дольковая архитектура. Гепатоциты образуют четкие печеночные балки радиальной ориентации. Ядра клеток округлые, везикулярные, с хорошо различимыми ядрышками, расположены центрально. Цитоплазма гепатоцитов гомогенная или мелкозернистая, без признаков вакуольной или гидропической дистрофии. Портальные тракты и центральные вены не изменены. Признаков холестаза, лобулярного воспаления или фиброза не выявлено.

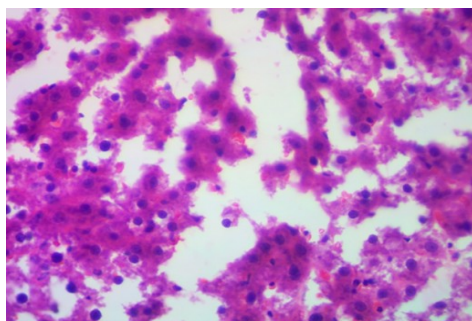


Рисунок 1 – Гистологический срез печени крысы опытной группы. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 200$). Сохранена структура печеночных долек, гепатоциты без признаков дистрофии.

В почках (рис. 2) сохранено кортикомедуллярное строение. Клубочки интактны, сосудистые полости не расширены. Эпителий проксимальных и дистальных извитых канальцев цилиндрический,

с базофильной цитоплазмой, четко очерченными апикальными краями; просветы канальцев свободны. В строме органа отсутствуют лимфоидные инфильтраты или очаги склероза.

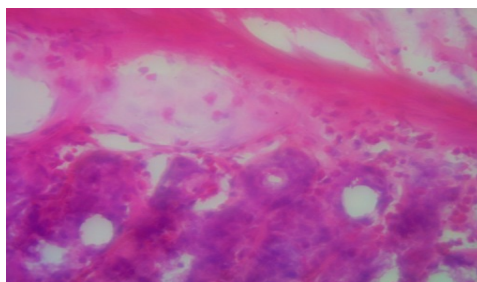


Рисунок 2 – Гистологический срез коркового вещества почки крысы опытной группы. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 400$). Видны интактные почечные тельца и эпителий канальцев.

Слизистая оболочка желудка (рис. 3) представлена однослойным высокопризматическим эпителием, формирующим многочисленные желудочные ямки. Железы тела

желудка имеют типичное строение, главные и париетальные клетки без особенностей. Мышечная пластинка слизистой и мышечная оболочка развиты нормально.

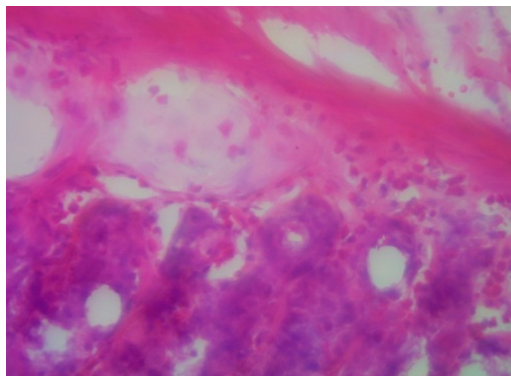


Рисунок 3 – Гистологический срез стенки желудка крысы опытной группы. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 200$). Сохранность слизистой оболочки и железистого аппарата.

Слизистая тонкого кишечника (рис. 4) характеризуется высокой ворсинчатостью. Ворсинки покрыты однослойным каемчатым цилиндрическим эпителием с высокой плотностью бокаловидных клеток, содержащих

слизистый секрет. Крипты Либеркюна углублены, в их основании видны фигуры митозов, что свидетельствует о нормальной регенераторной активности. Подслизистый и мышечный слои не изменены.

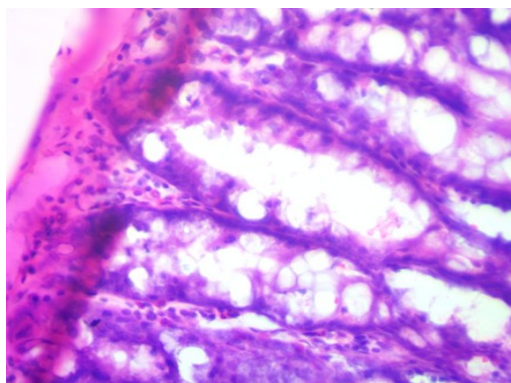


Рисунок 4 – Гистологический срез стенки тонкой кишки крысы опытной группы. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 100$). Длинные ворсинки, интактный эпителий.

Полученные гистологические данные однозначно свидетельствуют об отсутствии токсико-дистрофических, воспалительных или пролиферативных изменений в ключевых органах детоксикации (печень), выделения (почки) и абсорбции (ЖКТ) под влиянием длительного введения исследуемой добавки. Это согласуется с результатами клинических наблюдений и подтверждает вывод о низкой кумулятивной опасности препарата.

Выводы. В ходе 28-суточного эксперимента на белых крысах установлено, что кормовая добавка «Vulpes Optima ZS» обладает слабовыраженными кумулятивными свойствами, что подтверждается рассчитанным коэффициентом кумуляции ($K_{\text{кум}} = 11,06$), соответствующим IV-V классу опасности. Клинические признаки интоксикации

у животных носили обратимый, транзиторный характер и проявлялись лишь на фоне введения высоких суточных доз (с 0,2 г/кг), не приводя к статистически значимому снижению живой массы и сохранности поголовья. Комплексное патологоанатомическое и гистологическое исследование не выявило деструктивных, воспалительных или дистрофических изменений в паренхиматозных органах (печень, почки) и отделах желудочно-кишечного тракта, что является морфологическим обоснованием безопасности добавки. Полученные результаты позволяют рекомендовать кормовую добавку «Vulpes Optima ZS» для дальнейших исследований эффективности в качестве безопасного компонента рациона сельскохозяйственных животных при условии соблюдения рекомендуемых режимов дозирования.

Литература

1. Петенко А. И., Калинин В. А. Современные подходы к балансированию рационов сельскохозяйственных животных // Ветеринария сегодня. 2022. № 3. С. 45-51. [https://doi.org/ 10.29326/2304-196X-2022-3-42-45-51](https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-3-42-45-51).

2. Фархутдинова А. Р., Сабитов М. Т. Влияние комплексной минерально-витаминной кормовой добавки для телят на переваримость питательных веществ // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 2. С. 40-45. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.54.21.009>. EDN VJEOSX.
3. Ларионова О. С., Древко Б. И. Исследование физико-химических свойств кормовой добавки на основе наночастиц селена, диоксометилтетрагидропиримидина, орнитина, йода и флавоноидов для снижения окислительного стресса животных // Аграрный научный журнал. 2025. № 12. С. 114-119. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i12pp114-119>. EDN MCXROX.
4. Ежков В. О., Ежков Д. В., Сидоров В. В. Разработка и безопасность применения животным новой формы стерически стабилизированного наноструктурного фосфорита // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2023. Т. 253, № 1. С. 88-92. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_253_88.
5. Ларина Ю. В., Сагиров Б. А. Создание новой композитной кормовой добавки «Селецелвит А, Е» // Молодежные разработки и инновации в решении приоритетных задач АПК: Сборник научных трудов по материалам Международной научной конференции студентов, аспирантов и учащейся молодежи, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Н.А. Крыловой, Казань, 2025. С. 339-343. EDN JRSRHT.
6. Анализ отечественных технологий переработки биоотходов жизнедеятельности птицы для получения кормовых добавок / Д. Т. Миникаев, Ф. К. Ахметзянова, А. Р. Кашаева, Т. М. Закиров // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2024. Т. 10, № 3(39). С. 227-236. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-3-227-236>. EDN SBFPGS.
7. Сулейманов С. М., Василевич Ф. И. Нанотехнологии в кормопроизводстве: перспективы и риски // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 78-84. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp78-84>.
8. Физиологические взаимодействия биополимеров с наночастицами / А. В. Космынцева, И. О. Петрова, Ю. П. Ракович [и др.] // Краткие сообщения о физике ФИАН. 2019. Т. 46. С. 10-14. EDN DKYWXN.
9. Механизм химического взаимодействия органической добавки биологического происхождения с компонентами композиционного вяжущего / Д. С. Махортов, Л. Х. Загороднюк, В. В. Насонова, Д. А. Сумской // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 11. С. 23-32. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-11-23-32>. EDN FTLGMA.
10. Варюгина О. А. Оценка безопасности кормовых экструдатов с использованием водорослей // Научно-исследовательский центр "Science Discovery". 2024. № 17. С. 154-158. EDN OYUDE.
11. Гончар А. Г., Новикова И. И. Токсикологические риски искусственно созданных наночастиц в кормах: обзор // Экологическая наука и исследования загрязнения. 2022. Т. 29. С. 40125-40141. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20323-w>.
12. Голубкина Н. А., Соколов М. С. Методологические аспекты изучения кумуляции ксенобиотиков // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 9. С. 1015-1020. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-1015-1020>.
13. Lim R. K., Rink K. G., Glass H. G. A method for the evaluation of cumulation and tolerance by the determination of acute and subchronic median effective doses // Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Thérapie. 1961. Vol. 130. P. 336-353.
14. Изучение хронической токсичности кормовой добавки кобаметин на лабораторных животных / А. Х. Шантыз, А. В. Косых, А. Ю. Шантыз [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2024. Т. 259, № 3. С. 271-276. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_3_259_271. EDN HCQXWV.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Воронин Алексей Юрьевич – аспирант кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии, e-mail: abcflexxx@gmail.com

Ларина Юлия Вадимовна* – доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии, e-mail: dskgavm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5994-2129>

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

Новикова Оксана Валерьевна — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры зоотехнии

Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний, г. Пермь, Россия

CUMULATIVE PROPERTIES OF VULPES OPTIMA ZS FEED ADDITIVE WITH HISTOLOGICAL ASSESSMENT OF INTERNAL ORGANS

A. Yu. Voronin, Yu. V. Larina, O. V. Novikova

Abstract. This article presents the results of a study of the cumulative effect of new polymer-stabilized feed additive Vulpes Optima ZS on laboratory animals' experiment. The study was conducted on 30 albino male rats with an average body weight of 220 g in accordance with the principles of Methodological Guidelines MU 1.2.2520-09 and the classic test by R.K. Lim et al. The test drug was administered orally and intragastrically via a gavage in increasing doses: every 4 days, the dose was increased by 1.5 times, starting with a dose equal to 1/10 of the previously established sublethal dose. Daily clinical monitoring was conducted throughout the experiment, recording live weight dynamics, livestock survival, behavioral responses, feed and water consumption, coat condition and the nature of physiological toxicities. At the end of the exposure period, a postmortem analysis and a comprehensive histological examination of the parenchymatous organs (liver, kidneys) and gastrointestinal tract sections (stomach, small intestine) were performed, with sections stained with hematoxylin and eosin. The results indicate no mortality or statistically significant delays in body weight gain in the experimental animals compared to the control. The calculated cumulative coefficient ($K_{cum} = 11.06$) allows the additive to be classified as hazard class IV substances with weak cumulative properties. Macroscopic and microscopic images of the internal organs of experimental rats did not significantly differ from those of the control samples. The organ structure was within physiological norms: the architecture of liver lobules and renal nephrons was preserved, as was the integrity of gastrointestinal mucosa. There were no signs of dystrophy, necrosis, inflammatory infiltration or sclerotic changes. The obtained data support the conclusion that Vulpes Optima ZS feed additive has a low cumulative potential and is safe for long-term use in the studied dose range.

Key words: feed additive, cumulation, toxicity, histology, laboratory rats, safety, nanomaterials.

For citation: Voronin A.Yu., Larina Yu.V., Novikova O.V. Cumulative properties of Vulpes Optima ZS feed additive with histological assessment of internal organs. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 14-19. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_14

References

1. Petenko AI, Kalinin VA. [Modern approaches to balancing rations of farm animals]. Veterinariya segodnya. 2022; 3. 45-51 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-3-42-45-51>.
2. Farkhutdinova AR, Sabitov MT. [Effect of a complex mineral-vitamin feed supplement for calves on nutrient digestibility]. Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2021; 2. 40-45 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.54.21.009>. EDN VJEOSX.
3. Larionova OS, Drevko BI. [Study of the physicochemical properties of a feed additive based on selenium, dioxomethyltetrahydropyrimidine, ornithine, iodine and flavonoid nanoparticles to reduce oxidative stress in animals]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2025; 12. 114-119 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i12pp114-119>. EDN MCXROX.
4. Ezhkov VO, Ezhkov DV, Sidorov VV. [Development and safety of animal use of a new form of sterically stabilized nanostructured phosphorite]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman. 2023; Vol.253. 1. 88-92 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_253_88.
5. Larina YuV, Sagirov BA. [Creation of a new composite feed additive "Seletselvit A, E". Youth developments and innovations in solving priority problems of the agro-industrial complex]. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i uchashchetsya molodezhi, posvyashchennoy 115-letiyu so dnya rozhdeniya professora N.A. Krylovoy. Kazan. 2025; 339-343 p. EDN JRSRHT.
6. Minikaev DT, Akhmetzyanova FK, Kashaeva AR, Zakirov TM. [Analysis of domestic technologies for processing poultry biowaste to obtain feed additives]. Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Selskokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki. 2024; Vol.10. 3(39). 227-236 p. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-3-227-236>. EDN SBFPGS.
7. Suleymanov SM, Vasilevich FI. [Nanotechnology in forage production: prospects and risks]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2023; 5. 78-84 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp78-84>.
8. Kosmyntseva AV, Petrova IO, Rakovich YuP. [Physiological interactions of biopolymers with nanoparticles]. Kratkie soobshcheniya o fizike FIAN. 2019; Vol.46. 10-14 p. EDN DKYWXN.
9. Makhortov DS, Zagorodnyuk LKh, Nasonova VV, Sumskey DA. [Mechanism of chemical interaction of an organic additive of biological origin with components of a composite binder]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2024; 11. 23-32 p. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-11-23-32>. EDN FTLGMA.
10. Varyugina OA. [Safety assessment of feed extrudates using algae]. Nauchno-issledovatel'skiy tsentr "Science Discovery". 2024; 17. 154-158 p. EDN OYUDE.
11. Gonchar AG, Novikova II. [Toxicological risks of artificially created nanoparticles in feed: a review]. Ekologicheskaya nauka i issledovaniya zagryazneniya. 2022; Vol.29. 40125-40141 p. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20323-w>.
12. Golubkina NA, Sokolov MS. [Methodological aspects of studying the cumulation of xenobiotics]. Gigiena i sanitariya. 2020; Vol.99. 9. 1015-1020 p. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-1015-1020>.
13. Lim RK, Rink KG, Glass HG. A method for the evaluation of cumulation and tolerance by the determination of acute and subchronic median effective doses. Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Therapie. 1961; Vol.130. 336-353 p.
14. Shantyz AKh, Kosykh AV, Shantyz AYU. [Study of chronic toxicity of cobametin feed additive on laboratory animals]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman. 2024; Vol.259. 3. 271-276 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_3_259_271. EDN HCQXWV.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Voronin Aleksey Yurevich – post-graduate student, Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology, e-mail: abcf1exxx@gmail.com

Larina Yuliya Vadimovna* – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology, e-mail: dskgavm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5994-2129>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Novikova Oksana Valeryevna – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Animal Science, Perm Institute of the Federal Penitentiary Service, Perm, Russia.

**МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕМАТО-АЛЬВЕОЛЯРНОГО
БАРЬЕРА И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОКА КОРОВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНОГО НАНОСТРУКТУРНОГО ПРЕПАРАТА
НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА****А. И. Гирфанов**

Реферат. Исследование посвящено изучению влияния комплексного препарата на основе наноцеолита и метионина на показатели молочной продуктивности и функциональное состояние гемато-альвеолярного барьера вымени коров. Научно-производственный опыт проводился в 2025 году в Республике Татарстан на 24 дойных коровах, разделенных на четыре равные группы. Животные опытных групп дополнительно к основному рациону получали комплексный препарат в дозировках 0,5%, 2,5% и 5,0% от сухого вещества. Оценка эффективности проводилась на 31-е сутки эксперимента путем анализа физико-химических показателей состава молока. Установлено, что применение препарата в дозировке 0,5% обеспечивает наиболее значимый стимулирующий эффект на организм. В данной группе зафиксировано статистически достоверное повышение содержания белка на 6%, жира на 3%, лактозы на 2% и сухого обезжиренного молочного остатка на 5% (в относительном исчислении к контролю). Анализ плотности, точки замерзания и электросопротивления секрета молочной железы подтвердил укрепление барьерных функций. У коров 1-й опытной группы биосинтетический индекс достиг уровня 100 баллов, а клинико-физиологический индекс – 87 баллов. Указанные значения свидетельствуют о высоком уровне адаптации лактоцитов и снижении физиологической нагрузки на ткани вымени в период интенсивной лактации. Новизна работы заключается в выявлении оптимальной концентрации наноструктурированного цеолита с аминокислотой для эффективной коррекции метаболизма. Результаты обосновывают целесообразность использования наноцеолита и метионина для улучшения пищевой ценности молочного сырья и профилактики функциональных нарушений молочной железы. Представленный способ является научно обоснованным и может быть рекомендован к применению в промышленном животноводстве

Ключевые слова: наноцеолит, метионин, молочная продуктивность, качество молока, лактоциты, гемато-альвеолярный барьер, коровы.

Для цитирования: Гирфанов А.И. Морфофункциональное состояние гемато-альвеолярного барьера и качественные показатели молока коров при использовании комплексного наноструктурного препарата на основе цеолита // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 20-24. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_20

Введение. Современное развитие молочного животноводства диктует необходимость поиска новых способов коррекции метаболического статуса высокопродуктивных коров. В период разгара лактации молочная железа испытывает значительную функциональную нагрузку, что нередко ведет к нарушению избирательной проницаемости гемато-альвеолярного барьера и секреторной деятельности лактоцитов. Одним из наиболее перспективных направлений в современной ветеринарной фармакологии и физиологии является использование наноструктурированных агроминералов в сочетании с аминокислотами [1].

Наноцеолит, обладая уникальными ионообменными и каталитическими свойствами, способен эффективно оптимизировать микросреду пищеварительного тракта и влиять на минеральный обмен. Применение добавок в наноструктурной форме способствует более полной реализации генетического потенциала и повышению качественных показателей продукции [2]. В свою очередь, метионин, как незаменимая серосодержащая аминокислота, играет ключевую роль в синтезе молочного белка и выступает важным фактором антиоксидантной защиты тканей вымени. Изучение сочетанного воздействия этих компонентов на морфофункциональное состояние молочной железы позволяет не только повысить показатели качественные показатели продукции, но и оценить адап-

тивные возможности организма животных во время лактации.

Цель работы заключалась в изучении влияния комплексного препарата на основе наноцеолита и метионина на морфофункциональное состояние гемато-альвеолярного барьера, биосинтетическую активность лактоцитов и качественные показатели состава молока коров для физиологического обоснования оптимальных дозировок препарата в условиях промышленного производства.

Условия, материалы и методы. Научно-производственный опыт по изучению влияния комплексного препарата на молочную продуктивность коров проводился в 2025 году на базе ООО «Агрофирма Аю» Арский район, Республика Татарстан.

Для достижения поставленной цели дойные коровы черно-пестрой породы в количестве 24 голов со среднесуточным удоем 25 кг молока отелившиеся в январе 2025 года, по принципу групп-аналогов были разделены на 4 группы: контрольная и три опытных группы (по 6 голов в каждой).

Животные находились в одинаковых условиях содержания, соответствующих зоогигиеническим нормам. Кормление осуществлялось согласно принятому в хозяйстве основному рациону (ОР). Опытные группы дополнительно к основному рациону получали комплексный препарат (КП) на основе наноцеолита и метионина (табл. 1).

Таблица 1 – Условия эксперимента

Группы	Условия эксперимента
Контроль	ОР
1 опытная	ОР+КП (метионин+ наноцеолит 0,5% от сухого вещества ОР)
2 опытная	ОР+КП (метионин+ наноцеолит 2,5% от сухого вещества ОР)
3 опытная	ОР+КП (метионин+ наноцеолит 5,0% от сухого вещества ОР)

Отбор и подготовку проб молока для исследования проводили согласно ГОСТ 26809.1-2014. Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу на 31-е сутки эксперимента.

Физико-химические показатели молока определяли с помощью прибора «Клевер-2М», согласно методике выполнения измерений МВИ 2007.24.01/2.

В молоке учитывали содержание лактозы, солей, жира, белка, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), а также показатели плотности и точки замерзания.

Биосинтетический индекс (БИС) представляет собой интегральную оценку содержания в молоке белка, жира, СОМО и лактозы. Он выражается в баллах от 0 до 100, где 85 баллов и выше характеризуют животное как клинически здоровое с высоким уровнем адаптации лактоцитов, в то время как результат ниже 60 баллов указывает

на нарушение синтетических процессов в лактоцитах и требует ветеринарного вмешательства.

Клинико-физиологический индекс (КФИ) выступает в роли совокупного индикатора функционирования гемато-альвеолярного барьера и основывается на физических показателях молока: точка замерзания, электросопротивление, плотность и массовая доля минеральных солей. КФИ измеряется в баллах от 0 до 100, где 85-100 баллов указывает на высокое функциональное состояние гемато-альвеолярного барьера, от 65 до 84 – это физиологическая нагрузка на гемато-альвеолярный барьер, значение ниже 64 баллов – субклинические и клинические патологии гемато-альвеолярного барьера.

Результаты и обсуждение. Результаты анализа молока от животных контрольной и опытных групп на 31-е сутки эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели состава молока на 31-е сутки эксперимента

Показатели	Группы животных			
	Контроль	1	2	3
Лактоза, %	4,50±0,03	4,60±0,007*	4,60±0,014*	4,52±0,004
Соли, %	0,71±0,004	0,72±0,01	0,75±0,004*	0,71±0,002
Температура, °С	21,11±0,41	21,60±0,44	23,53±0,62*	23,03±0,36*
Точка замерзания, °С	-0,52±0,003	-0,54±0,009*	-0,54±0,0005*	-0,52±0,0006
Жир, %	3,34±0,007	3,45±0,02*	2,92±0,05*	3,08±0,004*
Белок, %	3,06±0,01	3,25±0,09*	3,32±0,03*	3,07±0,007
Плотность, А	28,35±0,20	29,61±0,48*	30,28±0,21*	28,67±0,04
Мастит тест	172,00±1,87	303,67±1,08*	247,33±1,08*	302,00±1,41*
СОМО	8,26±0,05	8,67±0,12*	8,66±0,04*	8,29±0,01

Примечание * – $p < 0,05$, различия с контрольной группой

Анализ данных таблицы 2 позволяет оценить влияние комплексного препарата на физико-химические свойства молока коров опытных групп.

Содержание лактозы в молоке у животных 1-й и 2-й опытных групп превышало показатели контрольной группы на 0,10 процентного пункта (п.п.), что составило 2% в относительных единицах. Это может свидетельствовать о стимуляции углеводного и энергетического обмена, так как, по мнению В. Е. Подольникова и др. (2019) [3], синтез лактозы является очень энергозатратным процессом.

Содержание молочного жира у всех подопытных животных было выше 2,8%, что соответствует ГОСТ Р 52054–2023. Следует отметить, что у коров 1-й опытной группы данный показатель превышал контроль на 0,11 п.п., обеспечив относительный прирост на 3%. Это можно интерпретировать как стимуляцию энергетического обмена, аналогичные результаты при применении кормо-

вых добавок описали в своей работе Х. Х. Тагиров и соавторы (2024) [4]. В то же время у животных 2-й и 3-й опытных групп отмечается снижение жирности молока до 2,92% и 3,08% соответственно. Развитие инверсии жирно-белкового соотношения во 2-й группе может быть связано с изменением ферментации в рубце при повышенных дозировках цеолита, влияющих на пул уксусной кислоты — предшественника синтеза липидов, а также указывает на временное перераспределение метаболических путей в пользу синтеза белка, что согласуется с данными С. Heffernan et al. (2025) [5].

Применение комплексного препарата привело к достоверному повышению уровня белка в молоке у животных 1-й и 2-й опытных групп на 0,19 и 0,26 процентного пункта соответственно, что соответствует увеличению на 6,2% и 8,5% в относительном исчислении к контролю. Такой результат на введение в рацион дойных коров препаратов, содержащих в своем составе метионин, наблюдался в ряде работ [6, 7].

Исследователи полагают, что дополнительное введение в рацион метионина приводит к нормализации микрофлоры рубца и тем самым положительно влияет на ферментативные процессы [6], а также данная аминокислота оказывает стимулирующее действие на ткани вымени, снижая окислительный стресс [7].

СОМО или сухой обезжиренный молочный остаток – показатель, который указывает на содержание в молоке всех компонентов (углеводы, белок, минеральные соли, витамины и т.д.) за исключением воды и жира. У коров 1 и 2 опытных групп наблюдалось достоверное увеличение СОМО на 0,46 процентного пункта, что соответствует приросту на 5% в относительном выражении по сравнению с контрольной группой. Повышение данного показателя может свидетельствовать о стимуляции обмена веществ, что согласуется с данными G. I. Zanton и M. Z. Toledo (2024) [8], а также об отсутствии воспалительных процессов в вымени, как указано в работе A. Paz et al. [9].

Основными показателями оценки морфофункционального состояния гематоальвеолярного барьера молочной железы дойных коров являются: содержание солей, криоскопическая температура (точка замерзания), плотность, а также результаты мастит-теста.

При воспалительных процессах в молочной железе, согласно данным A. Costa et al. (2025) [10], наблюдается нарушение проницаемости мембран, что приводит к изменению концентрации минеральных солей в секрете. В молоке от здоровых животных концентрация солей составляет 0,7-0,8%. У коров 1, 2 и 3-й опытных групп отмечалось незначительное повышение концентрации минеральных солей по сравнению с коровами контрольной группы на 0,02; 0,04 и 0,01 процентного пункта соответственно, что в относительном выражении составило 2%, 6% и 1%. Однако показатели оставались в пределах референсных значений. Данный эффект можно объяснить ионнообменными свойствами цеолита, что согласуется с результатами исследований И. М. Донник (2017) [11] и S. Marin et al. (2020) [12].

Криоскопическая температура напрямую зависит от содержания лактозы и осмотического давления. Согласно данным A. Costa et al. (2025) [13], при воспалительных процессах в вымени происходит повреждение эпителия, что ведет к утечке лактозы из молока в кровь и, как следствие, к повышению точки замерзания. У коров 1-й и 2-й опытных групп наблюдалось статистически достоверное снижение точки замерзания на 4% и 2% соответственно по сравнению с аналогичным показателем молока животных контрольной группы. Это обусловлено стимулирующим влиянием комплексного препарата на углеводный обмен.

Изменения плотности молока позволяют судить не только о влиянии комплексного препарата на пищевую ценность молока, но и о его роли в нормализации барьерных функций молочной железы. По сообщению Renis Maçi et al. (2025) [14], снижение плотности молока ниже 1028 кг/м³ (что соответствует 28 °А) может свидетельствовать о ранних признаках субклинического мастита. У коров 1, 2 и 3-й опытных групп плотность молока, была достоверно выше значений аналогичного показателя животных контрольной группы и составила 29,61 °А (1029,61 кг/м³), 30,28 °А (1030,28 кг/м³) и 28,67 °А (1028,67 кг/м³) соответственно.

Изменение электросопротивления секрета молочных желез является ранним маркером развития воспалительных процессов [15]. У животных контрольной группы отмечалось снижение этого показателя, что может быть расценено как предвестник воспаления молочной железы. В то же время у коров 1-й, 2-й и 3-й опытных групп наблюдали статистически достоверное повышение электросопротивления молока на 77%, 44% и 76% соответственно по сравнению с контролем. Подобный эффект, согласно сведениям Ш. Р. Зялалова и др. (2017) [16], объясняется ионообменными свойствами и стимулирующим действием компонентов комплексного препарата.

С целью всестороннего анализа действия комплексного препарата на функциональное состояние лактоцитов и гематоальвеолярного барьера физико-химические показатели были сгруппированы в клинико-физиологический и биосинтетический индексы (рис. 1)

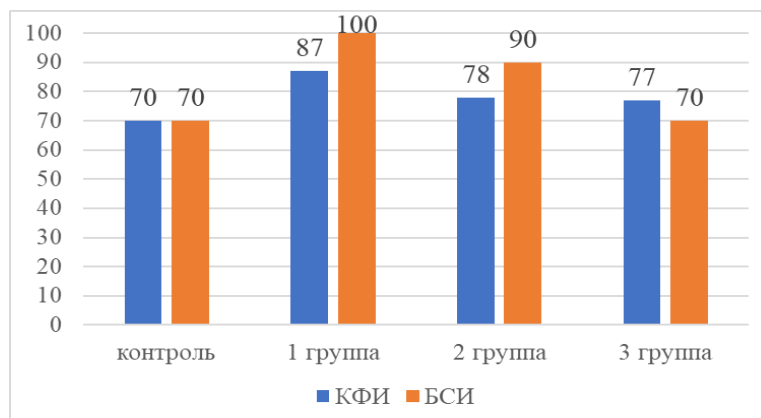


Рисунок 1 - Клинико-физиологический и биосинтетический индексы

Из рисунка 1 видно, что у коров контрольной группы КФИ и БСИ одинаковы и составляют 70 баллов, что указывает на нормальную физиологическую нагрузку на гематоальвеолярный барьер и адаптацию лактоцитов к разгару лактации. У животных опытных групп эти показатели были выше аналогичных значений коров контрольной группы, что указывает на повышенную адаптацию и высокое функциональное состояние гематоальвеолярного барьера. Особенно отчетливо

это прослеживается у коров 1-й опытной группы, где КФИ составил 87, а БСИ – 100 баллов.

Выводы. Таким образом, на основании проведенных исследований можно заключить, что введение в рацион дойных коров комплексного препарата на основе наноцеолита в дозе 0,5% от сухого вещества основного рациона оказывает стимулирующий эффект, выражающийся в снижении нагрузки на гематоальвеолярный барьер и повышении уровня адаптации лактоцитов.

Литература

1. Зялалов Ш. Р., Дежаткина С. В., Феоктистова Н. А. Показатели обмена веществ у лактирующих коров при скормливании им добавки модифицированного цеолита, обогащённого аминокислотами «Витаамин» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2(62). С. 94-101. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-2-94-101>. EDN UGCUFK.
2. Мясная продуктивность и качество мяса цыплят-бройлеров при включении в рацион наноструктурного сапропеля / А. М. Ежкова, И. А. Яппаров, В. О. Ежков [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 7. С. 59-64. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10714>. EDN XYUKGT.
3. Подольников В. Е., Гамко Л. Н., Справцев Т. И. Молочная продуктивность коров и качество молока при использовании в составе рационов кормовой добавки "БАЛОПРО" // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1(71). С. 51-56. EDN YVQJUD.
4. Тагиров Х. Х., Латыпова Э. Х., Вагапов И. Ф. Биохимический состав молока при скормливании коровам витаминно-минерального премикса // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 72-78. <https://doi.org/10.55170/1997-3225-2024-9-2-72-78>. EDN VCXZVN.
5. Investigating the effect of fatty acid supplementation on milk fat production and animal performance in genetically diverse grazing dairy cows during early to mid-lactation / C. Heffernan, T. F. O'Callaghan, R. Fitzgerald [et al.] // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108, iss. 9. P. 9535–9548. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26263>.
6. Wei X., Han N., Liu H. Supplementation of Methionine Dipeptide Enhances the Milking Performance of Lactating Dairy Cows // Animals. 2024. Vol. 14, № 9. Art. 1339. <https://doi.org/10.3390/ani14091339>.
7. Increased dietary methionine, lysine and histidine supply modulated the heat stress-induced metabolic remodeling of dairy cows / E. Jorge-Smeding, A. Ruiz-González, Y. H. Leung [et al.] // Frontiers in Animal Science. 2024. Vol. 5. Art. 1364779. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1364779>.
8. Zanton G. I., Toledo M. Z. Systematic review and meta-analysis of dairy cow responses to rumen-protected methionine supplementation before and after calving // Journal of Dairy Science Communications. 2024. Vol. 5, iss. 4. P. 293–298. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0498>.
9. Rumen-protected methionine supplementation improves lactation performance and alleviates inflammation during a subclinical mastitis challenge in lactating dairy cows / A. Paz, T. C. Michelotti, M. Suazo [et al.] // Journal of Dairy Science. 2024. Vol. 107, iss. 12. P. 10761–10775. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.08.001>.
10. Mastitis has a cumulative and lasting effect on milk yield and lactose content in dairy cows / A. Costa, H. Bovenhuis, C. Egger-Danner [et al.] // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108, issue 1. P. 635–650. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25467>.
11. Донник И. М., Неверова О. П., Горелик О. В. Элементный состав молока коров при применении природных кормовых добавок // Аграрный вестник Урала. 2017. № 8 (162). С. 13–17. EDN ZDNGDB.
12. Influence of Natural Zeolites Supplemented with Inorganic Selenium on the Productive Performance of Dairy Cows / S. Marin, I. Radu, V. Bacos [et al.] // Scientific Papers. Series D. Animal Science. 2020. Vol. 63, no. 1. P. 132–138. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20190829190816>.
13. The quality and technological parameters of milk obtained from dairy cows with subclinical chronic mastitis / A. Costa [et al.] // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108, issue 2. P. 710–725. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25467>.
14. The relationship between the occurrence of subclinical mastitis and milk quality in medium-sized Holstein cow farms in Albania / Renis Maçi [et al.] // Italian Journal of Food Safety. 2025. Vol. 14, № 4. Art. 13748. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2025.13748>.
15. Electrical conductivity of milk and bacteriological findings in cows with subclinical mastitis / A. Galfi [et al.] // Biotechnology in Animal Husbandry. 2015. Vol. 31, № 4. P. 533–541. <https://doi.org/10.2298/BAH1504533G>.
16. Химический состав и качество молока при введении в рацион коров добавки на основе модифицированного диатомита / Ш. Р. Зялалов, С. В. Дежаткина, А. З. Мухитов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2020. Т. 243, № 3. С. 97-102. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-243-3-97-102>. EDN WOPGMO.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ» (Соглашение от 22.12.2025 г. № 16/2025-ПД-КазГАУ).

Информация о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Гирфанов Айдар Ильдарович – кандидат ветеринарных наук, заведующий кафедрой анатомии и гистологии, e-mail: aidar-girfanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3846-3962>
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

MORPHOFUNCTIONAL STATE OF BLOOD-ALVEOLAR BARRIER AND MILK QUALITY INDICATORS IN COWS USING A COMPLEX NANOSTRUCTURED PRODUCT BASED ON ZEOLITE

A. I. Girfanov

Abstract. This study examines the effect of a complex product based on nanozeolite and methionine on milk productivity and the functional state of the blood-alveolar barrier in cows' udders. The research and production trial was conducted in 2025 in the Republic of Tatarstan on 24 dairy cows divided into four equal groups. Animals in the experimental groups received the complex product in addition to their basic diet at doses of 0.5%, 2.5%, and 5.0% of dry matter. The effectiveness of the treatment was assessed on the 31st day of the experiment by analyzing the physicochemical parameters of the milk composition. It was found that 0.5% dose provided the most significant stimulating effect on the body. In this group, a statistically significant increase in protein content was recorded: 6%, fat by 3%, lactose by 2% and dry nonfat milk by 5% (relative to the control). Analysis of density, freezing point and electrical resistance of the mammary secretion confirmed the strengthening of barrier functions. In cows in the first experimental group, the biosynthetic index reached 100 points and the clinical-physiological index reached 87 points. These values indicate a high level of lactocyte adaptation and a reduction in the physiological load on the udder tissue during intensive lactation. The novelty of this study lies in identifying the optimal concentration of nanostructured zeolite with an amino acid for effective metabolic correction. The results substantiate the feasibility of using nanozeolite and methionine to improve the nutritional value of dairy raw materials and prevent functional disorders of the mammary gland. The presented method is scientifically substantiated and can be recommended for use in industrial livestock farming.

Key words: nanozeolite, methionine, milk productivity, milk quality, lactocytes, blood-alveolar barrier, cows.

For citation: Girfanov A.I. Morphofunctional state of blood-alveolar barrier and milk quality indicators in cows using a complex nanostructured product based on zeolite. Scientific notes Kazan Academy of veterinary medicine. 2026; 266. (2). p. 20-24. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_20

References

1. Zyalalov ShR, Dezhatkina SV, Feoktistova NA. [Metabolic indices in lactating cows fed with Vitaamin modified zeolite supplement enriched with amino acids]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 2(62). 94-101 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-2-94-101>. EDN UGCUFK.
2. Ezhkova AM, Yapparov IA, Ezhkov VO. [Meat productivity and meat quality of broiler chickens when including nanostructured saponin in the diet]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018; Vol.32. 7. 59-64 p. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10714>. EDN XYUKGT.
3. Podolnikov VE, Gamko LN, Spravtsev TI. [Milk productivity of cows and milk quality when using VALOPRO feed additive in rations]. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 1(71). 51-56 p. EDN YVQJUD.
4. Tagirov KhKh, Latypova EK, Vagapov IF. [Biochemical composition of milk when feeding cows with a vitamin-mineral premix]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 2. 72-78 p. <https://doi.org/10.55170/1997-3225-2024-9-2-72-78>. EDN VCXZVN.
5. Heffernan C, O'Callaghan TF, Fitzgerald R. Investigating the effect of fatty acid supplementation on milk fat production and animal performance in genetically diverse grazing dairy cows during early to mid-lactation. *Journal of Dairy Science*. 2025; Vol.108. issue 9. 9535-9548 p. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26263>.
6. Wei X, Han N, Liu N. Supplementation of methionine dipeptide enhances the milking performance of lactating dairy cows. *Animals*. 2024; Vol.14. 9. Art.1339. <https://doi.org/10.3390/ani14091339>.
7. Jorge-Smeding E, Ruiz-Gonzalez A, Leung YH. Increased dietary methionine, lysine and histidine supply modulated the heat stress-induced metabolic remodeling of dairy cows. *Frontiers in Animal Science*. 2024; Vol.5. Art.1364779. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1364779>.
8. Zanton GI, Toledo MZ. Systematic review and meta-analysis of dairy cow responses to rumen-protected methionine supplementation before and after calving. *Journal of Dairy Science Communications*. 2024; Vol.5. issue 4. 293-298 p. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0498>.
9. Paz A, Michelotti TC, Suazo M. Rumen-protected methionine supplementation improves lactation performance and alleviates inflammation during a subclinical mastitis challenge in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2024; Vol.107, issue 12. 10761-10775 p. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.08.001>.
10. Costa A, Bovenhuis H, Egger-Danner C. Mastitis has a cumulative and lasting effect on milk yield and lactose content in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2025; Vol.108. issue 1. 635-650 p. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25467>.
11. Donnik IM, Neverova OP, Gorelik OV. [Elemental composition of cow's milk with the use of natural feed additives]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2017; 8 (162). 13-17 p. EDN ZDNGDB.
12. Marin S, Radu I, Bacos V. Influence of natural zeolites supplemented with inorganic selenium on the productive performance of dairy cows. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. 2020; Vol.63. 1. 132-138 p. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20190829190816>.
13. Costa A. The quality and technological parameters of milk obtained from dairy cows with subclinical chronic mastitis. *Journal of Dairy Science*. 2025; Vol.108. issue 2. 710-725 p. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25467>.
14. Maci Renis. The relationship between the occurrence of subclinical mastitis and milk quality in medium-sized Holstein cow farms in Albania. *Italian Journal of Food Safety*. 2025; Vol.14. 4. Art.13748. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2025.13748>.
15. Galfi A. Electrical conductivity of milk and bacteriological findings in cows with subclinical mastitis. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2015; Vol.31. 4. 533-541 p. <https://doi.org/10.2298/BAH1504533G>.
16. Zyalalov ShR, Dezhatkina SV, Mukhitov AZ. [Chemical composition and quality of milk after introducing an additive based on modified diatomite into the diet of cows]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman*. 2020; Vol.243. 3. 97-102 p. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-243-3-97-102>. EDN WOPGMO.

Funding information

This work was supported by a grant from Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, research organizations and other organizations to support human resource development plans in terms of encouraging their research and teaching staff to defend doctoral dissertations and conduct research (Agreement No. 16/2025-PD-KazGAU dated December 22, 2025).

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

Authors:

Girfanov Aydar Ildarovich – Ph.D. of Veterinary Sciences, Head of Anatomy and Histology Department, e-mail: aidar-girfanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3846-3962>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МИОКАРДА КРЫС ЛИНИИ WISTAR
ПРИ КУРСОВОМ ВВЕДЕНИИ МЕТИОНИНА****А. И. Гирфанова, А. Т. Исхакова, Г. Б. Бозова**

Реферат. Метионин является незаменимой серосодержащей аминокислотой, играющей фундаментальную роль в синтезе белков, детоксикации и антиоксидантной защите клеток. Несмотря на высокую биологическую значимость, вопросы влияния курсового приема метионина на электрическую активность миокарда остаются недостаточно изученными. Проведение доклинических испытаний необходимо для объективной оценки безопасности применения данной аминокислоты. Статья посвящена изучению влияния приема метионина на параметры электрической активности сердца. Исследование проведено на двух группах крыс линии Wistar в возрасте 10 недель с массой тела $258,0 \pm 19,0$ г: контрольной ($n=5$) и опытной ($n=5$). Животные содержались в условиях вивария в групповых клетках. Крысы опытной группы в течение 30 суток получали метионин в дозе 6 мг/кг массы тела с питьевой водой. Влияние препарата на функциональное состояние миокарда оценивали по результатам электрокардиографии во II стандартном отведении с использованием электрокардиографа Medinova ECG-9801 при скорости записи 50 мм/с. В ходе анализа электрокардиограмм было установлено, что у всех животных опытной и контрольной групп сохранялся стабильный синусовый ритм без признаков аритмии или нарушений проводимости. Сравнительный анализ временных и амплитудных характеристик (зубец Р, сегменты PR и ST, комплекс QRS, интервал QT) показал отсутствие статистически значимых различий между группами. Отклонения исследуемых параметров в опытной группе не превышали 6,2% от контрольных значений. Полученные данные свидетельствуют о кардиологической безопасности курсового введения метионина в дозе 6 мг/кг массы тела, что создает предпосылки для дальнейших расширенных исследований, направленных на возможную экстраполяцию данных на организм человека и оценку антиоксидантного потенциала аминокислоты.

Ключевые слова: метионин, электрокардиография, крысы линии Wistar, миокард, электрическая активность сердца, функциональное состояние.

Для цитирования: Гирфанова А.И., Исхакова А.Т., Бозова Г.Б. Электрическая активность миокарда крыс линии Wistar при курсовом введении метионина // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 25-29. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_25

Введение. В современной биомедицинской науке одной из приоритетных задач является поиск эффективных средств нутрицевтической поддержки, способных корректировать функциональные нарушения и повышать общую резистентность организма. Ключевая роль в этом процессе отводится биологически активным добавкам (БАД), которые классифицируются по происхождению и механизму действия [1]. Особое значение в превентивной медицине уделяется инновационным технологиям, позволяющим минимизировать последствия физического перенапряжения и ускорить восстановительные процессы после нагрузок [2]. Применение специализированных комплексов оказывает существенное влияние на функциональное состояние организма, способствуя укреплению его адаптационных механизмов [3, 4] и стабилизируя поведенческие реакции в условиях экспериментального стресса [5].

Среди многообразия биологически активных добавок доказанную эффективность в обеспечении метаболических процессов, повышении функциональных возможностей и выносливости организма показывают аминокислоты с разветвленной цепью (BCAA). В то же время роль других незаменимых серосодержащих аминокислот, в частности метионина, в коррекции оксидативного стресса при повышенных нагрузках остается актуальной темой исследований [6].

Метионин – алифатическая серосодержащая аминокислота, участвующая в синтезе белка и биологически активных соединений, способствующих регенерации клеток и восполнению энергетических ресурсов организма. Изучение биологических эффектов метионина в экспериментах на крысах ранее проводилось рядом исследователей [7]. Однако данные о влиянии метионина на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы представлены в литературе недостаточно. Учитывая специфику электрокардиографии у лабораторных животных как базового метода доклинических исследований [8, 9], изучение влияния метионина на электрическую активность сердца крыс является необходимым этапом для оценки безопасности его применения.

Цель исследований – изучить влияние курсового приема метионина на показатели электрической активности миокарда крыс линии Wistar для оценки его функциональной безопасности.

Условия, материалы и методы. Исследование проведено на базе ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет». Объектом исследования служили две группы крыс породы Wistar в возрасте 10 недель с массой тела $258,0 \pm 19,0$ г: контрольная ($n = 5$) и опытная ($n = 5$). Животные содержались в виварии в групповых клетках. Условия содержания и кормления у исследуемых крыс были одинаковыми, доступ к питьевой воде не

ограничивался. Крысы опытной группы в течение 30 суток дополнительно получали с водой метионин в дозе 6 мг/кг массы тела. Выбор дозировки метионина (6 мг/кг) и методов оценки его безопасности основывался на общепринятых принципах токсикологических испытаний [9].

Влияние метионина на функциональное состояние сердца животного оценивали по результатам электрокардиограммы, полученной во II стандартном отведении. Для записи электрокардиограммы использовали электрокардиограф Medinova ECG-9801. Исследование проводили на бодрствующих животных для исключения изменений в системе кровообращения, описанных А. Ю. Дубенским и соавторами [10]. Electroды накладывали по

общепринятой методике: на правую грудную конечность крысы накладывали красный электрод (-), на левую – желтый, на левую тазовую конечность – зеленый (+), на правую - черный («заземление»). Скорость записи составляла 50 мм/с, стандартная амплитуда ЭКГ – 10 мм/мВ.

Результаты и обсуждение. Автоматизм сердца обеспечивается проводящей системой, способной генерировать электрические импульсы, вызывающие возбуждение и последующее сокращение мышц предсердий и желудочков.

При расшифровке электрокардиограммы анализировали зубцы P, Q, R, S, T, сегменты PQ, ST, интервалы RR, QRS, QT, и частоту сердечных сокращений (ЧСС). Основные показатели ЭКГ представлены в таблице 1.

Таблица 1– Параметры электрокардиограммы (ЭКГ) у крыс

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
ЧСС, уд/мин	547,0±12,0	544,0±15
RR, мс	109,7±1,8	110,3±1,4
P, мс	16,3±1,0	17,0±0,7
PQ, мс	42,3±1,7	43,0±2,1
QRS, мс	17,3±1,0	18,3±0,8
ST, мс	10,0±0,7	10,4±0,4
QT, мс	45,3±1,8	46,0±1,4

Примечание: различия с контрольной группой недостоверны ($p>0,05$)

Зубцы отличались по амплитуде, длительности, форме (острые или округлые зубцы) и полярности относительно изолинии.

Зубец P отражает процесс деполяризации правого и левого предсердий. У исследуемых животных он имел округлую форму и во всех случаях был положительным, что подтверждает наличие синусового ритма. Данная морфология зубца характерна для процессов деполяризации предсердий у млекопитающих и соответствует классическим описаниям электрического поля сердца [11]. Длительность зубца P у крыс контрольной группы составила 16,3±1,0 мс, опытной группы – 17,0±0,7 мс.

Сегмент PQ (R) соответствует изолинии от конца зубца P до начала зубца Q. Он отражает время проведения возбуждения от предсердий к желудочкам, его длительность у крыс контрольной группы составила 42,3±1,7 мс, опытной группы – 43,0±2,1 мс.

Комплекс QRS представлен тремя зубцами, имеющими разную полярность: зубцы Q и S – отрицательные, зубец R – положительный. Следует отметить, что зубец Q выражен не во всех случаях. Комплекс QRS указывает на время и характер распространения возбуждения по миокарду желудочков. Его длительность в контрольной группе составила 17,3±1,0 мс, в опытной – 18,3±0,8 мс.

Сегмент ST начинается от конца зубца S и переходит в зубец T без четкой изоэлектрической линии. Он отражает период полного охвата желудочков возбуждением и его

продолжительность у крыс в контрольной группе составила 10,0±0,7 мс, в опытной – 10,4±0,4 мс.

Зубец T у всех животных был положительным и отражал процесс реполяризации желудочков.

Интервал QT представляет собой суммарное время деполяризации и реполяризации желудочков. Он измеряется от начала зубца Q и до конца зубца T, его продолжительность у животных контрольной группы составила 45,3±1,8 мс, опытной – 46,0±1,4 мс. Интервал QT признан универсальным индикатором для оценки безопасности воздействия лекарственных препаратов и БАД, функционального состояния миокарда при метаболических нарушениях в эксперименте на грызунах [8, 12]. Удлинение этого интервала свидетельствует о повышенном риске развития желудочковых аритмий, так как создаются условия для формирования электрической нестабильности миокарда. Это может приводить к опасным нарушениям ритма, прежде всего к полиморфной желудочковой тахикардии.

Данные таблицы 1 показывают, что у крыс показатели сегмента PQ и интервала QT, отражающие разные по масштабу физиологические процессы, очень близки по значениям (разница всего в несколько миллисекунд), подобная близость значений обусловлена видовой особенностью электрокардиограммы крыс, связанной с высокой частотой сердечных сокращений [8].

Частоту сердечных сокращений определяли на основе интервала RR. У крыс контрольной группы ЧСС составила $547,0 \pm 12,0$ уд/мин, в опытной – $544,0 \pm 15,0$ уд/мин (табл. 1). Согласно методическим рекомендациям по изучению физиологического статуса грызунов [9], сердечный ритм считается нормальным, если колебания интервалов не превышает 10% [8].

Сравнительный анализ показателей электрокардиограммы (ЭКГ) крыс в опытной и контрольной группах выявил отсутствие клинически значимых отклонений (рис. 1).

У животных в опытной группе интервал RR составил 110,0 мс, что лишь на 1,0 мс превышает показатели контроля – 109,0 мс. Такая минимальная разница является статистически малозначимой и свидетельствует

о сохранении стабильного сердечного ритма и нормальном функционировании синусового узла на фоне применения метионина.

Показатели предсердного комплекса также выросли ровно на 1,0 мс: длительность зубца Р увеличилась до 17,0 мс (в контроле – 16,0 мс), а интервала PQ – до 43,0 мс (в контроле – 42,0 мс).

Это указывает на отсутствие выраженного замедления охвата возбуждением миокарда предсердий и проведения импульса по атриовентрикулярному узлу [2]. Сегмент ST, отражающий период полной деполяризации желудочков, у крыс в обеих группах был идентичен и составил 10,0 мс, что исключает развитие признаков ишемии или оксидативного стресса миокарда при данной дозировке.

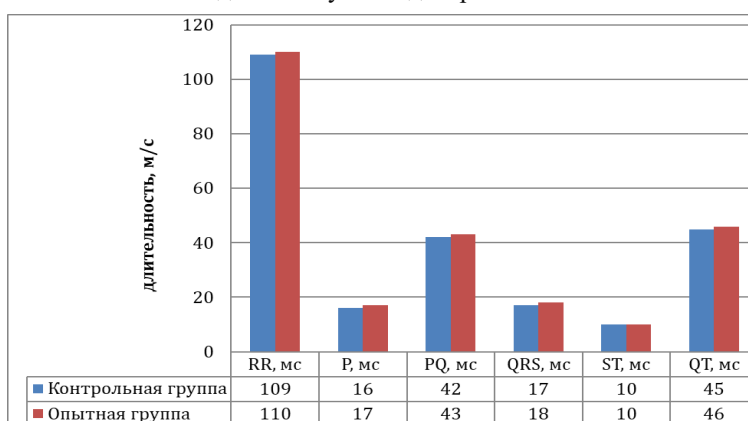


Рисунок 1 – Сравнительный анализ показателей ЭКГ крыс при введении метионина

Для более наглядной оценки межгрупповых различий был проведен анализ относительных отклонений основных параметров ЭКГ опытной группы в сравнении с контролем (рис. 2). Как видно из рисунка 2, у животных опытной группы отклонение длительности зубца Р от контроля составило 6,2%, интервала PQ – 2,4%, а интервала RR – 0,9%. Незначительные колебания длительности комплекса QRS (5,8%) и интервала QT (2,2%) находились в пределах физиологической нормы.

Полученные данные подтверждают отсутствие негативного влияния исследуемого фактора на процессы деполяризации и реполяризации желудочков, а также общую стабильность электрофизиологических процессов в миокарде. Результаты исследования показывают, что выявленные отклонения не превышают 6,2%, находятся в узком диапазоне 0,9-6,2%, что свидетельствует об отсутствии статистически значимых межгрупповых различий и подтверждает кардиологическую безопасность метионина в дозе 6 мг/кг массы тела.

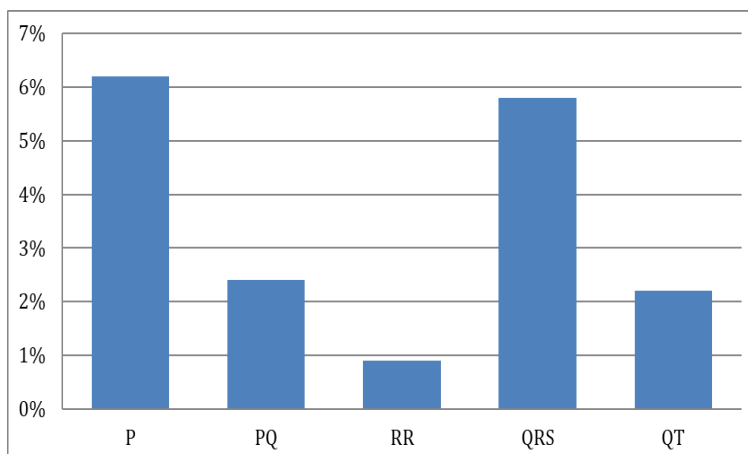


Рисунок 2 – Относительные отклонения основных параметров ЭКГ у крыс опытной группы по отношению к контролю, %

Полученные данные о стабильности сердечного ритма при курсовом введении аминокислоты согласуются с результатами исследований А. И. Гирфанова и соавт. (2022) [4], также указывающими на отсутствие негативного влияния подобных дозировок на физиологический статус крыс в целом.

Выводы. В рамках эксперимента курсовое введение препарата метионина в дозе 6 мг/кг массы тела в течение 30 суток не привело к появлению достоверных патологических изменений электрической активности миокарда крыс. Основные показатели ЭКГ – зубцы Р, Т, комплексы QRS, интервалы PQ, QT у крыс в опытной группе сохранялись в пределах физиологической нормы. Отсутствие выраженного удлинения интервала QT

(отклонение от контроля составляет лишь 2%) указывает на стабильность процессов реполяризации желудочков. В свою очередь, стабильная ЧСС ($544,0 \pm 15,0$ уд/мин) и физиологические колебания RR-интервалов подтверждают сохранность автоматизма синусового узла. Таким образом, метионин в исследуемой дозе 6 мг/кг массы тела может рассматриваться как перспективная биологически активная добавка, не оказывающая выраженного негативного воздействия на сердечно-сосудистую систему в условиях проведенного опыта. Полученные данные создают предпосылки для дальнейших расширенных исследований с целью возможной экстраполяции данных на организм человека и оценки антиоксидантного потенциала аминокислоты.

Литература

1. Влияние адаптогенов растительного и животного происхождения и физических нагрузок на организм / Р. М. Хабибуллин, И. В. Миронова, И. М. Хабибуллин [и др.] // Наука и спорт: современные тенденции. 2022. Т. 10, № 1. С. 49-54. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-1-49-54>. EDN SONZFU.
2. Ивонин А. Г., Смирнова С.Л., Роцевская И.М. Электрическая активность сердца крыс в период реполяризации желудочков после однократного бега на тредбане до отказа // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2022. Т. 108, № 10. С. 1340-1352. <https://doi.org/10.31857/S0869813922100089>. EDN JLKHER.
3. Исследования воздействия индола и его производного 1-бензилиндола на функциональное состояние сердца и показатели крови лабораторных крыс / Л. Г. Горохова, Н. Н. Михайлова, А. Г. Жукова [и др.] // Acta Biomedica Scientifica. 2024. Т.9, №1. С. 64-72. <https://doi.org/10.29413/ABS.2024-9.1.7>
4. Влияние комплексного препарата на гематологические показатели у крыс / А. И. Гирфанов, А. С. Ежкова, О. Д. Бозюкова [и др.] // Ветеринарный врач. 2022. № 4. С. 22–26. https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021_22_26
5. Комплексное исследование эффектов беговой тренировки в колесе на нервную регуляцию частоты сердечных сокращений у крыс / А. А. Борзых, Е. К. Селиванова, А. С. Боровик [и др.] // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2024. Т. 110, № 10. С. 1701-1717. <https://doi.org/10.31857/S0869813924100095>. EDN VREZAI.
6. Хисамова А. А., Гизингер О. А. Роль метионина в коррекции оксидативного стресса при повышенных физических нагрузках // Терапевт. 2020. № 5. С. 74–80. <https://doi.org/10.33920/MED-12-2005-10>. EDN: WMLPUO
7. Динамика биохимических и цитологических показателей крови крыс при моделировании хронической алиментарной метионин-обусловленной гомоцистеинемии / К. А. Пазиненко, Н. Н. Чучкова, М. В. Сметанина [и др.] // Биомедицина. 2021. №2. С. 46–57. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-17-2-46-57>. EDN: IZHNVQ
8. Электрокардиография у крыс в экспериментальных исследованиях (обзор литературы) / И. Л. Привалова, О. А. Шевелев, Н. А. Ходорович [и др.] // Генетика и разведение животных. 2019. № 2. С. 108–120. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-2-108-120>. EDN KXYUBE.
9. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Ч. 1 / под ред. А. Н. Миронова. М.: Гриф и К, 2012. 944 с EDN SDEWMP.
10. Влияние вида анестезии на показатели кровообращения у крыс / А. Ю. Дубенский, И. А. Рыжков, К. Н. Лапин [и др.] // Вестник СурГУ. Медицина. 2023. Т. 16, № 2. С. 79-86. <https://doi.org/10.35266/2304-9448-2023-2-79-86>. EDN FVOXZC.
11. Поверхностное ЭКГ-картирование у крыс с постинфарктной сердечной недостаточностью в период реполяризации желудочков / О. В. Суслонова, С. Л. Смирнова, И. Б. Цорин [и др.] // Кардиологический вестник. – 2023. – Т. 18, № 2-2. – С. 24-25. – EDN AIBGYU.
12. Исследование параметров электрокардиограммы крыс в сахарозной модели метаболического синдрома / Ю. А. Филиппов, А. В. Степанов, О. Ю. Карнишкина [и др.] // Acta Biomedica Scientifica. 2025. Т. 10, № 2. С. 229-238. <https://doi.org/10.29413/ABS.2025-10.2.23>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Гирфанова Алсу Ильдаровна* – аспирант кафедры медико-биологических дисциплин, e-mail: alsy.girfanova@mail.ru
Исхакова Айгуль Тимербаевна – кандидат биологических наук, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин, e-mail: eigulis23@inbox.
Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, г. Казань, Россия
Бозова Гульшагида Булатовна – ассистент кафедры анатомии и гистологии, e-mail: bgb985@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

MYOCARDIAL ELECTRICAL ACTIVITY OF WISTAR RATS AFTER A COURSE OF METHIONINE

A. I. Girfanova, A. T. Iskhakova, G. B. Bozova

Abstract. Methionine is an essential sulfur-containing amino acid that plays a fundamental role in protein synthesis, detoxification and antioxidant protection of cells. Despite its high biological significance, the effects of methionine treatment on myocardial electrical activity remain poorly understood. Preclinical trials are necessary to objectively assess the safety of this amino acid. This article examines the effects of methionine treatment on cardiac electrical activity parameters. The study was conducted on two groups of 10-week-old Wistar rats weighing 258.0 ± 19.0 g: control ($n=5$) and experimental ($n=5$). The animals were housed in group cages under vivarium conditions. Rats in the experimental group received methionine at a dose of 6 mg/kg body weight in drinking water for 30 days. The effect of the drug on myocardial function was assessed using electrocardiography in standard lead II using a Medinova ECG-9801 electrocardiograph at a recording speed of 50 mm/s. Analysis of the electrocardiograms revealed that all animals in the experimental and control groups maintained a stable sinus rhythm with no signs of arrhythmia or conduction disturbances. A comparative analysis of temporal and amplitude characteristics (P wave, PR and ST segments, QRS complex, QT interval) revealed no statistically significant differences between the groups. Deviations in the studied parameters in the experimental group did not exceed 6.2% of the control values. These data demonstrate the cardiac safety of a course of methionine at a dose of 6 mg/kg body weight, paving the way for further extended studies aimed at possible extrapolation of the data to the human body and an assessment of the antioxidant potential of this amino acid.

Key words: methionine, electrocardiography, Wistar rats, myocardium, cardiac electrical activity, functional state.

For citation: Girfanova A.I., Iskhakova A.T., Bozova G.B. Myocardial electrical activity of Wistar rats after a course of methionine. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 25-29. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_25

References

1. Khabibullin RM, Mironova IV, Khabibullin IM. [The influence of adaptogens of plant and animal origin and physical activity on the body]. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii*. 2022; Vol.10. 1. 49-54 p. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-1-49-54>. EDN SONZFU.
2. Ivonin AG, Smirnova SL, Roshchevskaya IM. [Electrical activity of the rat heart during the period of ventricular repolarization after a single treadmill run to failure]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2022; Vol.108. 10. 1340-1352 p. <https://doi.org/10.31857/S0869813922100089>. EDN JLKHER.
3. Gorokhova LG, Mikhaylova NN, Zhukova AG. [Studies of the effect of indole and its derivative 1-benzylindole on the functional state of the heart and blood parameters in laboratory rats]. *Acta Biomedica Scientifica*. 2024; Vol.9. 1. 64-72 p. <https://doi.org/10.29413/ABS.2024-9.1.7>
4. Girfanov AI, Ezhkova AS, Bozyukova OD. [Effect of a complex drug on hematological parameters in rats]. *Veterinarnyy vrach*. 2022; 4. 22-26 p. https://doi.org/10.33632/1998-698Kh.2021_22_26
5. Borzykh AA, Selivanova EK, Borovik AS. [A comprehensive study of the effects of running wheel training on the neural regulation of heart rate in rats]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2024; Vol.110. 10. 1701-1717 p. <https://doi.org/10.31857/S0869813924100095>. EDN VREZAI.
6. Khisamova AA, Gizinger OA. [The role of methionine in the correction of oxidative stress during increased physical activity]. *Terapevt*. 2020; 5. 74-80 p. <https://doi.org/10.33920/MED-12-2005-10>. EDN: WMLPUO
7. Pazinenko KA, Chuchkova NN, Smetanina MV. [Dynamics of biochemical and cytological parameters of rat blood in modeling chronic alimentary methionine-induced homocysteineemia]. *Biomeditsina*. 2021; 2. 46-57 p. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-17-2-46-57>. EDN: IZHNVQ
8. Privalova IL, Shevelev OA, Khodorovich NA. [Electrocardiography in rats in experimental studies (literature review)]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2019; 2. 108-120 p. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-2-108-120>. EDN KXYUBE.
9. Mironov AN. *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv*. Ch. 1. [Guidelines for conducting preclinical studies of drugs. Part 1]. Moscow: Grif i K. 2012; 944 p. EDN SDEWMP.
10. Dubenskiy AYU, Ryzhkov IA, Lapin KN. [Effect of the type of anesthesia on circulatory parameters in rats]. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2023; Vol.16. 2. 79-86 p. <https://doi.org/10.35266/2304-9448-2023-2-79-86>. EDN FVOXZC.
11. Suslonova OV, Smirnova SL, Tsorin IB. [Myocardial surface ECG mapping in rats with post-infarction heart failure during ventricular repolarization]. *Kardiologicheskii vestnik*. 2023; Vol.18. 2-2. 24-25 p. – EDN AIBGY.
12. Filippov YuA, Stepanov AV, Karnishkina OYu. [Study of electrocardiogram parameters in rats in the sucrose model of metabolic syndrome]. *Acta Biomedica Scientifica*. 2025; Vol.10. 2. 229-238 p. <https://doi.org/10.29413/ABS.2025-10.2.23>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Girfanova Alsu Ildarovna* – post-graduate student of Medical and Biological Disciplines Department, e-mail: al-sy.girfanova@mail.ru

Iskhakova Aygul Timerbaevna – Ph.D. of Biological Sciences, Head of Medical and Biological Disciplines Department, e-mail: eigulis23@inbox.ru.

Volga Region State University of Physical Education, Sports and Tourism, Kazan, Russia.

Bozova Gulshagida Bulatovna – assistant of Anatomy and Histology Department, e-mail: bgb985@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ОСТРЫХ КИШЕЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ У ТЕЛЯТ И ИХ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ**К. К. Дубенцов, А. С. Тищенко**

Реферат. В статье представлены результаты изучения морфологических, культуральных, антигенных свойств и антибиотикорезистентности основных бактериальных возбудителей острых кишечных инфекций у телят – *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus faecalis*. Материалом для исследования послужили пробы от больных и павших телят из хозяйств Краснодарского края. Целью работы являлось изучение морфологических, культуральных, антигенных свойств и отношение к антимикробным препаратам возбудителей острых кишечных инфекций у телят бактериальной этиологии. В исследовании использовали классические бактериологические методы, окрашивание по Граму, реакцию агглютинации с О-сыворотками, а также масс-спектрометрию. Чувствительность к 11 антибиотикам из 9 групп определяли диско-диффузионным методом. В ходе исследования выделено 7 штаммов *E. coli*, относящихся к серогруппам O4, O137, O1, O86, O2, O115, а также по одному изоляту *P. aeruginosa* и *E. faecalis*. Установлено, что *E. coli* являются лактозоположительными, на кровяном агаре проявляют α -гемолиз. *P. aeruginosa* образует сине-зелёный пигмент, даёт характерный рост с поверхностной плёнкой и β -гемолиз. *E. faecalis* на энтерококкагаре формирует тёмно-красные колонии, на кровяном агаре – γ -гемолиз. При оценке антибиотикорезистентности выявлено, что 43% штаммов *E. coli* устойчивы ко всем 11 протестированным препаратам. Частичная чувствительность сохраняется только к фторхинолонам (левофлоксацин, цiproфлоксацин). *P. aeruginosa* чувствительна к гентамицину, левофлоксацину и цiproфлоксацину; *E. faecalis* – к ванкомицину, гентамицину и цiproфлоксацину. Полученные данные подтверждают необходимость постоянного мониторинга антибиотикочувствительности и пересмотра схем терапии при лечении бактериальных кишечных инфекций у телят.

Ключевые слова: острые кишечные инфекции, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus faecalis*, телята, антибиотикорезистентность.

Для цитирования: Дубенцов К.К., Тищенко А.С. Биологические свойства возбудителей бактериальных острых кишечных инфекций у телят и их антибиотикорезистентность // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 30-36. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_30

Введение. В условиях развития сельского хозяйства острые кишечные инфекции получили широкое распространение среди молодняка крупного рогатого скота. Среди случаев непроизвольного выбытия телят в первые 2-3 недели жизни около 79,2% приходится на желудочно-кишечные болезни вызванные возбудителями острых кишечных инфекций [1, 2, 3].

К возбудителям острых кишечных инфекций относятся *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*. В Краснодарском крае от числа острых кишечных инфекций на кишечную палочку приходится до 41%, на долю энтерококковой инфекции до 43,3% [4, 5]. В республике Беларусь в животноводческих предприятиях страны количество неблагополучных пунктов по колибактериозу телят составляло до 231, с количеством заболевших в них животных до 869 голов. Показатель летальности при данной болезни составлял до 44,8% [6, 7].

В Китае, результаты исследования указывают на то, что патогенные штаммы *E. coli*, вызывающие диарею телят, несут широкий спектр генов вирулентности и, как правило, устойчивы к множеству лекарств [8]. В Эфиопии, от числа острых кишечных инфекций на кишечную палочку приходится до 48,1%. В США на долю диарейных заболеваний вызванных кишечной палочкой приходилось до 42,5% [9]. В Северной Италии за период с

2020 по 2022 года, среди 598 ферм, пострадавших от неинфекционной диареи, штаммы кишечной палочки были обнаружены в 17,2% случаев [10].

Лечение данных заболеваний осложняется появлением антибиотикорезистентных штаммов возбудителей, по причине повсеместного нерационального использования антибиотиков. Эта проблема охватывает не только здравоохранение людей, но и ветеринарию [11, 12]. Так, например, частота случаев устойчивости к антибактериальным препаратам варьируется в диапазоне от 8,4% до 92,9% для *E. coli* [13]. Данные из Эфиопии подтверждают, что более половины изолятов *E. coli* от телят являются полирезистентными [14]. В Китае, результаты исследования кишечной палочки на антибиотикорезистентность показали, что штаммы были устойчивы к двум и более препаратам [8].

Цель работы – изучить морфологические, культуральные, антигенные свойства и отношение к антимикробным препаратам возбудителей острых кишечных инфекций у телят бактериальной этиологии.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили на базе лаборатории микробиологии Центра биотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».

Источником биологического материала служили пробы, полученные от больных и павших телят из хозяйств Краснодарского края. Для анализа использовали следующие образцы: кровь, паренхиматозные органы, ткань головного мозга, фрагменты трубчатых костей, кишечник, а также фекальные массы.

Бактериологические исследования выполняли в строгом соответствии с «Методическими указаниями по бактериологической диагностике смешанных кишечных инфекций» (Москва, 2000). Определение родовой и видовой принадлежности выделенных бактерий базировалось на анализе их морфологических, тинкториальных и культуральных свойств. Выделение чистых культур и изучение их культуральных особенностей проводили с использованием коммерческих питательных сред (МПА, МПБ, среды Эндо и Энтеро; Оболенск, Россия). Кроме того, по стандартным методикам готовили кровяной агар. Для изучения морфологии и тинкториальных характеристик применяли окрашивание по Граму с помощью диагностического набора Микро-ГРАМ-НИЦФ (производства ЗАО «Научно-исследовательский центр фармакотерапии», г. Санкт-Петербург).

Антигенная формула кишечных палочек была установлена путем последовательного тестирования выделенных штаммов в реакции агглютинации на стекле коммерческим набором О-сывороток (производства Армавирской биофабрики) до положительного результата.

Для получения 24-часовой культуры каждого штамма инкубирование питательных сред проводилось в термостате Binder FD53 (Германия) при температуре 37 °С. Контрольная идентификация микроорганизмов осуществлялась с использованием системы для масс-спектрометрического анализа «АЛМАСС Био 200» (Альгимед Техно).

Чувствительность микроорганизмов к антибактериальным препаратам (АБП) определяли диско-диффузионным методом (МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам»). Для этого использовали стандартный инокулюм суточной культуры микроорганизмов, соответствующий по плотности 0,5 по стандарту МакФарланда и содержащий примерно $1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл. Стандартный инокулюм наносили пипеткой на поверхность чашки Петри с МПА в объеме 0,25 мл, равномерно распределяли по поверхности шпателем Дригальского. После инокуляции на поверхность питательной среды наносили диски с АБП с помощью стерильного пинцета. Непосредственно после аппликации дисков чашки Петри инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение 18-24 ч.

Учет результатов проводили после инкубации, измеряя диаметр зон задержки роста тестируемого микроорганизма. Интерпретацию осуществляли на основании сопоставления результатов исследования

(диаметра зоны ингибиции роста) с пограничными значениями этих параметров, отделяющих чувствительные штаммы от промежуточных и промежуточные – от устойчивых.

Использовались противомикробные препараты следующих фармакологических групп. Гликопептиды – ванкомицин (30 мкг); аминогликозиды – гентамицин (10 мкг); тетрациклины – доксициклин (30 мкг), тетрациклин (30 мкг); полипептиды – колистин (300 ед); фторхинолоны – левофлоксацин (5 мкг), цiproфлоксацин (5 мкг); нитрофураны – фурадонин (300 мкг); цефалоспорины – цефуроксим (30 мкг); макролиды – эритромицин (15 мкг); сульфаниламиды (комбинированный препарат) – триметоприм/сульфаметоксазол (1,25\23,75 мкг).

Выбор антибиотиков для исследования был обусловлен перечнем препаратов, применявшихся при лечении больных телят в хозяйствах.

Результаты и обсуждение. В ходе работы из патологического материала от больных телят были выделены 7 штаммов *E. coli* (E 0202, E0502, E0702, E0802, E1102, E1302, E1402), и по одному изоляту *P. aeruginosa*, *E. faecalis*.

При изучении морфологических и культуральных свойств изолятов *E. coli* установили (табл. 1), что все бактерии относятся к факультативным анаэробам, имеют строение прямой палочки (бациллы) с закруглёнными концами, размерами – 2 ... 6 мкм × 0,4 ... 0,6 мкм. Клетки располагаются одиночно или парно, реже – короткими цепочками. Характерного скопления в виде «гроздьев» или длинных нитей не наблюдается. Хорошо растут на простых питательных средах при диапазоне температур 15–45 °С (оптимум 37 °С), pH 7,0–7,4.

Согласно литературным данным, *E. coli* на среде Эндо формирует колонии тёмно-красного цвета с характерным металлическим блеском, что обусловлено расщеплением лактозы и связанным с ним сдвигом pH среды (изменение окраски индикатора). Среди изолятов встречаются как гемолитические (проявляющие α-гемолиз), так и негемолитические варианты. α-Гемолиз представляет собой частичное разрушение эритроцитов, при котором вокруг бактериальных колоний формируется зелёная или буровато-зелёная зона вследствие окисления гемоглобина до метгемоглобина. Данный тип гемолитической активности не сопровождается полным лизисом эритроцитарных клеток [15, 4].

Нами было установлено, что полученные нами штаммы лактозоположительные, так как колонии кишечной палочки на среде Эндо образуют тёмно-красные колонии с металлическим блеском. При посеве на МПА образовывали колонии средних размеров, серо-белые, гладкие, влажные, блестящие, с ровными краями (S форма). В жидких средах вызвали равномерное помутнение, иногда образуя незначительный осадок.

Отмечалось, что штаммы кишечной палочки, полученные нами на кровяном агаре, проявили α -гемолиз, так как культуры образовали буровато-зелёные зоны гемолиза.

При изучении антигенных свойств установили, выделенные изоляты принадлежат к разным серологическим группам E0202 к O4, E0502 и E1302 к O137, E0702 к O1, E0802 к O86, E1102 к O2 и E1402 к O115.

При изучении морфологических и культуральных свойств *Pseudomonas aeruginosa* установили (табл. 2), что бактерии представляют из себя прямые или слегка изогнутые палочки с закруглёнными концами размерами

1,5 ... 3,0 мкм $\times$ 0,4 ... 0,6 мкм. Клетки располагаются одиночно, парами или короткими цепочками. По Граму окрашиваются отрицательно. *Pseudomonas aeruginosa* – аэроб, температурный оптимум – 35-37 °С, диапазон 4-42 °С, pH – 7,2.

Согласно литературным данным, на плотной среде (МПА) *P. aeruginosa* даёт полиморфный рост. Доминируют крупные (2–5 мм) колонии сероватой окраски, полупрозрачные, с гладкой поверхностью, приподнятым центром и неровными волнистыми распространяющимися краями, нередко отливающие металлическим блеском.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика роста исследуемых культур *Escherichia coli* на питательных средах

Питательные среды	Характер роста	Морфология колоний	Морфология клеток
МПБ	Придонный рост	Осадок небольшой, сероватого цвета, легко разбивающийся	Гр(-) палочка, 2 - 6 мкм $\times$ 0,4 - 0,6 мкм, расположенные одиночно, реже парно.
МПА	Рост в виде штриха, обильный	Колонии круглые, сферически выпуклые, с ровными краями или волнистыми краями, полупрозрачные, блестящие, мягкой консистенции, с голубоватым оттенком. Колонии диаметром 1,0–5,0 мм.	
Эндо	Рост в виде колоний, умеренный	Тёмно-красные колонии с металлическим блеском	
Кровяной агар	Рост в виде колоний, умеренный	Мелкие прозрачные колонии размером 1–2 мм образующие зону α -гемолиза	

В жидкой среде (МПБ) рост *P. aeruginosa* характеризуется образованием на поверхности серебристо-белой плёнки (типичный видоспецифический признак). Впоследствии отмечается помутнение среды – сначала в верхней части столбика, затем по всей высоте, – а также формирование серовато-белого осадка на дне пробирки. Благодаря продукции пигментов среда окрашивается в синезелёный цвет, который при длительном хранении постепенно переходит в бурый. На кровяном агаре вокруг колонии синегнойной палочки

часто окружены зоной β -гемолиза [16, 17].

В нашем случае отмечалось, что при посеве на МПА исследуемая культура синегнойной палочки образовывала колонии крупного размера, сероватого цвета, полупрозрачные. В жидких средах вызвали равномерное помутнение, иногда образуя незначительный осадок.

Нами было установлено, что исследуемая культура синегнойной палочки на кровяном агаре проявила β -гемолиз, так как вокруг колонии наблюдаются зоны полного гемолиза.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика роста исследуемой культуры *Pseudomonas aeruginosa* на питательных средах

Питательные среды	Характер роста	Морфология колоний	Морфология клеток
МПБ	Поверхностный рост	Равномерное помутнение с сероватой пленкой на поверхности и осадком на дне	Гр(-) палочка, 1,5-3,0 $\times$ 0,4 мкм, расположенная одиночно, парами, короткими цепочками
МПА	Рост в виде штриха, обильный	Сероватые полупрозрачные крупные колонии 3-5 мм	
Эндо	Рост в виде колоний, обильный	Большие розовые колонии	
Кровяной агар	Рост в виде колоний, обильный	Сероватые полупрозрачные крупные колонии 3-5 мм образующие четкие зоны β -гемолиза	

При изучении морфологических и культуральных свойств *E. faecalis* установили (табл. 3), что клетки представляют из себя сферические или овальные кокки 0,6–2,0 мкм в длину и 0,6–2,5 мкм в ширину. Клетки располагаются одиночно, парами или короткими цепочками. По Граму окрашиваются положительно. *E. faecalis* – факультативный анаэроб, температурный оптимум 35–37 °С, диапазон роста 10–45 °С, оптимальный pH 7,0–7,5.

В литературе указано, что в жидких средах отмечается диффузный рост (равномерное помутнение); на плотных средах формируются мелкие (0,4–1 мм) колонии округлой формы, выпуклые, с блестящей поверхностью, иногда сливающиеся в нежный налёт. Стандартная процедура идентификации *E. faecalis* базируется на высеве навески продукта или её разведения в жидкую селективную среду либо на поверхность плотной селективной среды, аэробной инкубации при 37±1 °С (48 ч), подтверждении принадлежности

выделенных культур к роду *Enterococcus* и последующем пересчёте микробных клеток на единицу массы или объёма продукта (1 г или 1 см³). Колонии целевого микроорганизма окрашиваются в розовый или красный цвет [18, 19].

В качестве основной питательной среды для количественного учёта энтерококков применяется энтерококкагар. Среда обогащена 2,3,5-трифенилтетразолием хлористым (ТТХ) – соединением, которое восстанавливается бактериями до нерастворимого формазана, что визуально проявляется в виде тёмно-красного окрашивания колоний. Все колонии тёмно-бордового цвета, выросшие при инкубировании в течение 24 ч при повышенной температуре (44–45 °С), с большой вероятностью относятся к энтерококкам [18, 19].

На кровяном агаре колонии энтерококков мелкие, кремовые или белые, гладкие с ровным краем, различающиеся по типу гемолиза. [18, 19]

Таблица 3 – Сравнительная характеристика роста исследуемой культуры *E. faecalis* на питательных средах

Питательные среды	Характер роста	Морфология колоний	Морфология клеток
МПБ	Придонный рост	Равномерное помутнение с сероватой пленкой на поверхности и осадком на дне	Гр(+) круглые, 0,6 - 2 мкм, расположенные одиночно, либо в виде небольших скоплений.
МПА	Рост в виде штриха, скудный	Мелкие сероватые полупрозрачные колонии до 1 мм	
Энтерококк-агар	Рост в виде колоний, скудный	Мелкие темно-красного цвета колоний до 1мм	
Кровяной агар	Рост в виде колоний, скудный	Мелкие сероватые полупрозрачные колонии до 1 мм. Характеризуются γ-гемолизом	

Определение антибиотикорезистентности выделенных штаммов показало их устойчивость к широкому спектру лекарственных препаратов (табл. 4).

Таблица 4 – Характеристика антибиотикоустойчивости штаммов исследуемых возбудителей, выделенных от больных телят

№	Антибиотик	Изоляты возбудителей острых кишечных инфекций								
		<i>E. coli</i>							<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. faecalis</i>
		E0202	E0502	E0702	E0802	E1102	E1302	E1402		
1	Ванкомицин	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Ч
2	Гентамицин	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Ч	Ч
3	Доксициклин	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
4	Колистин	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
5	Левифлоксацин	Ч	Р	Р	Р	Ч	Ч	Ч	Ч	Р
6	Тетрациклин	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
7	Триметоприм/сульфаметоксазол	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
8	Фурадонин	Р	Р	Р	Р	Р	Ч	Ч	Р	Р
9	Цефуроксим	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
10	Ципрофлоксацин	Р	Р	Р	Р	Ч	Р	Ч	Ч	Ч
11	Эритромицин	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р

Примечание: Ч - чувствителен к антимикробным препаратам; Р - резистентен к антимикробным препаратам

Выводы. В результате проведённых исследований были изучены морфологические, тинкториальные, культуральные и антигенные свойства трёх основных бактериальных возбудителей острых кишечных инфекций телят – *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus faecalis*, выделенных из биологического материала в хозяйствах Краснодарского края.

Установлено, что:

E. coli (7 штаммов) являются лактозоположительными, на среде Эндо образует тёмно-красные колонии с металлическим блеском, на кровяном агаре проявляет α -гемолиз.

P. aeruginosa характеризуется образованием пигмента (сине-зелёное окрашивание сред), типичным ростом в МПБ с поверхностной плёнкой и выраженным β -гемолизом на кровяном агаре.

E. faecalis на энтерококкагаре формирует мелкие тёмно-бордовые колонии, на кровяном агаре – γ -гемолиз, растёт скудно на МПА.

Антигенное типирование выделенных штаммов *E. coli* позволило установить их О-серогруппы (O4, O137, O1, O86, O2, O137, O115).

При оценке антибиотикорезистентности (11 препаратов из 9 групп) получены следующие результаты:

43% штаммов *E. coli* обладают полной устойчивостью ко всем использованным антибиотикам;

Чувствительность к фторхинолонам (левофлоксацин, цiproфлоксацин) регистрируется лишь у части изолятов;

P. aeruginosa сохранила чувствительность к гентамицину, левофлоксацину, цiproфлоксацину;

E. faecalis есть чувствительной только к ванкомицину, гентамицину и цiproфлоксацину, но устойчива к большинству других препаратов.

Таким образом, морфологические и культуральные свойства возбудителей соответствуют типовым характеристикам, однако высокий уровень полирезистентности (особенно среди *E. coli*) подтверждает необходимость постоянного мониторинга антибиотикочувствительности и пересмотра схем антибиотикотерапии при бактериальных острых кишечных инфекциях у телят в условиях промышленного скотоводства.

Литература

1. Буабенг Э. Профилактика острых кишечных болезней у телят // Современные векторы развития науки: Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год, Краснодар, 06 февраля 2024 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. С. 153-154. EDN ADRTYB.
2. Тищенко А. С. Гистопатологические изменения при экспериментальной эшерихиозной инфекции, вызванной экзотоксинами *Escherichia coli* // Вестник КрасГАУ. 2024. № 4(205). С. 128-135. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-128-135>. EDN KTNBAQ.
3. Природа, этиологическая структура, патогенез, диагностика массовых желудочно-кишечных заболеваний новорожденных телят и меры борьбы с ними / Э. А. Шегидевич, М. М. Гоголев, С. А. Жидков [и др.] // Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии им. Я.П. Коваленко. 2003. Т. 73. С. 15-22. EDN QXRUMY.
4. Изучение распространения и проявления эшерихиоза у телят / А. А. Шевченко, О. Ю. Черных, Л. В. Шевченко [и др.] // Научная жизнь. 2024. Т. 19, № 4(136). С. 695-701. <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2024-19-4-695-701>. EDN EMUYNS.
5. Генетический потенциал токсигенных *Escherichia coli*, выделенных от телят и поросят / А. С. Тищенко, А. Г. Коцаев, А. В. Милованов [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 8. С. 1071-1081. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-1071-1081>. EDN NXBXPX.
6. Выбор оптимальной дозы применения ассоциированной вакцины против рота-, коронавирусной инфекции и колибактериоза телят / Я. П. Яромчик, П. А. Красочко, П. П. Красочко [и др.] // Ветеринария и кормление. 2021. № 1. С. 60-63. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-1-17>. EDN COLZRR.
7. Ситуация по распространению факторных болезней молодняка крупного рогатого скота / Я. П. Яромчик, Н. В. Сеница, А. В. Бублов [и др.] // Актуальные проблемы инфекционной патологии животных и пути их решения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Дню Белорусской науки и 95-летию кафедры эпизоотологии и инфекционных болезней, Витебск, 15–16 декабря 2022 года. Витебск: Учреждение образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины", 2023. С. 125-128. EDN ABOQKG.
8. To Investigate the Prevalence, Virulence Genes and Drug Resistance of Pathogenic *Escherichia coli* Isolated from Calves with Diarrhea in Heilongjiang Province / Xianghe KONG, Xinyu SU, Yiming ZHONG [et al.] // Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica. 2025, Vol. 56. Issue (7): 3390-3398. <https://doi.org/10.11843/j.issn.0366-6964.2025.07.031>
9. Longitudinal health outcomes for enteric pathogens in preweaned calves on Ohio dairy farms / J. A. Barkley, J. A. Pempek, A. S. Bowman [et al.] // Prev Vet Med. 2021. 190: 105323. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105323>.
10. Major Etiological Agents Isolated from Neonatal Calf Diarrhea Outbreaks in Northern Italy / C. Torreggiani, G. Pupillo, C. A. Garbarino [et al.] // Pathogens. 2025. 25; 14(9): 847. <https://doi.org/10.3390/pathogens14090847>.
11. Филимонова А. Д., Шабейкин А. А., Лаишевцев А. И. Проблема антибиотикорезистентности при терапии мелких домашних животных по данным лабораторных исследований в Московском мегаполисе за I полугодие 2023 года // Аграрная наука. 2023. № 12. С. 40-45. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-40-45>. EDN PCHROH.
12. Antibiotic resistance genes in *Escherichia coli* - literature review / A. Kerek, I. Román, A. Szabó [et al.] // Crit Rev Microbiol. 2026. 52(1): 1-35. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2025.2492156>.

13. Genetic Basis of Multiple Antibiotic Resistance of Pathogenic *Escherichia coli* Strains Isolated from Live-stock Complexes in Krasnodar Krai, Russia / A. Tishchenko, M. Shumkov, E. Kazakova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2026. Vol. 27, No. 1. P. 305. DOI 10.3390/ijms27010305. EDN EQYOMS.
14. Wale Ya., Kassa T. Antimicrobial susceptibility pattern of *Escherichia coli* isolated from dairy calves with diarrhoea in Akaki Kality, Addis Ababa, Ethiopia // Journal of Applied Animal Research. 2023. Vol. 51. No. 1. P. 470-476. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2188915>. EDN ХСЕНJB.
15. Кошаев А. Г., Гугушвили Н. Н., Трошин А. А. Диагностика и лечение эшерихиоза телят // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 100. С. 223-230. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-223-230>. EDN EYDCFS.
16. Эльхедми А. Э., Элькаиб Х. М., Леонтьев В. Н. Характеристика бактерий рода *Pseudomonas*, выделенных из пищевых продуктов // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2015. № 4(177). С. 251-255. EDN XBWOMR.
17. Haynes W. C. *Pseudomonas aeruginosa* - its characterization and identification // Microbiology. 1951. Т. 5. № 5. С. 939-950.
18. Домотенко Л. В., Морозова Т. П., Храмов М. В. Разработка питательных сред для энтерококков, рекомендованных нормативными документами, при проведении анализа проб воды // Проблемы медицинской микологии. 2023. Т. 25, № 4. С. 59-64. <https://doi.org/10.24412/1999-6780-2023-4-59-64>. EDN BCGLTN.
19. Characterization of Clinical *Enterococcus faecalis* Small-Colony Variants / N. C. Wellinghausen, I. Hatterjee, A. Berger // J. Clin Microbiol. 2009. 47. <https://doi.org/10.1128/jcm.00485-09>
20. Генетическая характеристика токсигенности патогенных изолятов *Escherichia coli* и их антибиотикочувствительность / А. С. Тищенко, С. В. Федорович, А. Г. Кошаев [и др.] // Ветеринария Кубани. 2025. № 5. С. 11-15. <https://doi.org/10.3861/2071-8020-2025-5-11-15>. EDN JWKPOV.
21. Распространение и проявление эшерихиоза у телят / А. А. Шевченко, О. Ю. Черных, Л. В. Шевченко [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 111. С. 239-242. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-111-239-242>. EDN PYFXOV.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Дубенцов Кирилл Константинович* – аспирант кафедры микробиологии, эпизоотологии и вирусологии института ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, e-mail: kirill23.02@mail.ru
 Тищенко Александр Сергеевич – доктор ветеринарных наук, заведующий лабораторией микробиологии центра биотехнологий, доцент кафедры микробиологии, эпизоотологии и вирусологии института ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, E-mail: mephisto83@inbox.ru
 Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

BIOLOGICAL PROPERTIES OF ACUTE INTESTINAL BACTERIAL INFECTION AGENTS IN CALVES AND THEIR ANTIBIOTIC RESISTANCE K. K. Dubentsov, A. S. Tishchenko

Abstract. The article presents the results of a study of morphological, cultural and antigenic properties and antibiotic resistance of the main bacterial pathogens causing acute intestinal infections in calves: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterococcus faecalis*. Samples from sick and dead calves from farms in the Krasnodar Krai served as the study material. The aim of the study was to investigate morphological, cultural and antigenic properties of bacterial pathogens causing acute intestinal infections in calves, as well as their antimicrobial resistance. The study used classical bacteriological methods: Gram staining, an O-serum agglutination test and mass spectrometry. Sensitivity to 11 antibiotics from 9 groups was determined using the disk diffusion method. Seven *E. coli* strains belonging to serogroups O4, O137, O1, O86, O2 and O115 were isolated during the study, as well as one isolate each of *P. aeruginosa* and *E. faecalis*. *E. coli* were found to be lactose-positive and exhibit α -hemolysis on blood agar. *P. aeruginosa* produces a blue-green pigment, shows characteristic growth with a surface pellicle and exhibits β -hemolysis. *E. faecalis* forms dark red colonies on enterococcal agar and γ -hemolysis on blood agar. During assessment of antibiotic resistance revealed that 43% of *E. coli* strains were resistant to all 11 drugs tested. Partial susceptibility was observed only to fluoroquinolones (levofloxacin and ciprofloxacin). *P. aeruginosa* was susceptible to gentamicin, levofloxacin and ciprofloxacin; *E. faecalis* was susceptible to vancomycin, gentamicin and ciprofloxacin. Obtained data confirm the necessity for continuous antibiotic susceptibility monitoring and a review of treatment regimens when treating bacterial intestinal infections in calves.

Key words: acute intestinal infections, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterococcus faecalis*, calves, antibiotic resistance.

For citation: Dubentsov K.K., Tishchenko A.S. Biological properties of acute intestinal bacterial infection agents in calves and their antibiotic resistance. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 30-36. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_30

References

1. Buabeng E. [Prevention of acute intestinal diseases in calves. Modern vectors of scientific development]. Sbornik statey po materialam ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley po itogam NIR za 2023 god, Krasnodar, 06 fevralya 2024 goda. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. I.T. Trubilina. 2024; 153-154 p. EDN ADRTYB.
2. Tishchenko AS. [Histopathological changes in experimental *Escherichia coli* infection caused by *Escherichia coli* exotoxins]. Vestnik KrasGAU. 2024; 4(205). 128-135 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-128-135>. EDN KTNBAQ.
3. Shegidevich EA, Gogolev MM, Zhidkov SA. [Nature, etiological structure, pathogenesis, diagnostics of mass gastrointestinal diseases of newborn calves and measures to combat them]. Trudy Vserossiyskogo NII eksperimentalnoy veterinarii im. Ya.R. Kovalenko. 2003; Vol.73. 15-22 p. EDN QXRUMY.
4. Shevchenko AA, Chernykh OYu, Shevchenko LV. [Study of spread and manifestations of escherichiosis in calves]. Nauchnaya zhizn. 2024; Vol.19. 4(136). 695-701 p. <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2024-19-4-695-701>. EDN EMUYNs.
5. Tishchenko AS, Koshchaev AG, Milovanov AV. [Genetic potential of toxigenic *Escherichia coli* isolated from calves and piglets]. Agrarnyy vestnik Urala. 2024; Vol.24. 8. 1071-1081 p. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-1071-1081>. EDN NXBPXP.

6. Yaromchik YaP, Krasochko PA, Krasochko PP. [Selection of the optimal dose for associated vaccine use against rota-, coronavirus infection and colibacillosis in calves]. *Veterinariya i kormlenie*. 2021; 1. 60-63 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-1-17>. EDN COLZRR.
7. Yaromchik YaP, Sinitsa NV, Bublov AV. [Situation with factorial diseases spread in young cattle. Actual problems of infectious pathology of animals and ways to solve them]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu Belorusskoy nauki i 95-letiyu kafedry epizootologii i infektionnykh bolezney, Vitebsk, 15-16 dekabrya 2022 goda. Vitebsk: Uchrezhdenie obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak Pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny*. 2023; 125-128 p. EDN ABOQKG.
8. Xianghe Kong, Xinyu SU, Yiming Zhong. To investigate the prevalence, virulence genes and drug resistance of pathogenic escherichia coli isolated from calves with diarrhea in Heilongjiang province. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*. 2025; Vol.56. Issue (7). 3390-3398 p. <https://doi.org/10.11843/j.issn.0366-6964.2025.07.031>
9. Barkley JA, Pempek JA, Bowman AS. Longitudinal health outcomes for enteric pathogens in preweaned calves on Ohio dairy farms. *Prev Vet Med*. 2021; 190. 105323 p. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105323>.
10. Torreggiani S, Pupillo G, Garbarino SA. Major etiological agents isolated from neonatal calf diarrhea outbreaks in Northern Italy. *Pathogens*. 2025; 25. 14(9). 847 p. <https://doi.org/10.3390/pathogens14090847>.
11. Filimonova AD, Shabeykin AA, Laishevtsev AI. [The problem of antibiotic resistance in the therapy of small domestic animals according to laboratory studies in the Moscow metropolis for the first half of 2023]. *Agrarnaya nauka*. 2023; 12. 40-45 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-40-45>. EDN PCHROH.
12. Kerek A, Roman I, Szabo A. Antibiotic resistance genes in Escherichia coli - literature review. *Crit Rev Microbiol*. 2026; 52(1). 1-35 p. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2025.2492156>.
13. Tishchenko A, Shumkov M, Kazakova E. Genetic basis of multiple antibiotic resistance of pathogenic escherichia coli strains isolated from livestock complexes in Krasnodar Krai, Russia]. *International Journal of Molecular Sciences*. 2026; Vol.27. No.1. 305 p. DOI 10.3390/ijms27010305. EDN EQYOMS.
14. Wale Ya, Kassa T. Antimicrobial susceptibility pattern of Escherichia coli isolated from dairy calves with diarrhoea in Akaki Kality, Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Applied Animal Research*. 2023; Vol.51. No.1. 470-476 p. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2188915>. EDN XCEHJB.
15. Koshchaev AG, Gugushvili NN, Troshin AA. [Diagnosis and treatment of colibacillosis in calves]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; No.100. P.223-230. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-223-230>. EDN EYDCFS.
16. Elkhedmi AE, Elkaib KhM, Leonte VN. [Characteristics of pseudomonas bacteria isolated from food products]. *Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya*. 2015; 4(177). 251-255 p. EDN XBWOMR.
17. Haynes WC. *Pseudomonas aeruginosa – its characterization and identification*. Microbiology. 1951; Vol.5. 5. 939-950 p.
18. Domotenko LV, Morozova TP, Khramov MV. [Development of nutrient media for enterococci recommended by regulatory documents during the analysis of water samples]. *Problemy meditsinskoy mikologii*. 2023; Vol.25. 4. 59-64 p. <https://doi.org/10.24412/1999-6780-2023-4-59-64>. EDN BCGLTN.
19. Wellingshausen NC, Hatterjee I, Berger A. Characterization of clinical enterococcus faecalis small-colony variants. *J. Clin Microbiol*. 2009; 47 p. <https://doi.org/10.1128/jcm.00485-09>
20. Tishchenko AS, Fedorovich SV, Koshchaev AG. [Genetic characteristics of toxigenicity of pathogenic isolates of Escherichia coli and their antibiotic sensitivity]. *Veterinariya Kubani*. 2025; 5. 11-15 p. <https://doi.org/10.3861/2071-8020-2025-5-11-15>. EDN JWKPOV.
21. Shevchenko AA, Chernykh OYu, Shevchenko LV. [Spread and manifestation of escherichiosis in calves]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 111. 239-242 p. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-111-239-242>. EDN PYFXOV.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Dubentsov Kirill Konstantinovich* – post-graduate student of Microbiology, Epizootology and Virology Department of Veterinary Medicine, Animal Science and Biotechnology Institute, Email: kirill23.02@mail.ru
 Tishchenko Aleksandr Sergeevich – Doctor of Veterinary Sciences, Head of Microbiology Laboratory of Biotechnology Center, Associate Professor of Microbiology, Epizootology and Virology Department of Veterinary Medicine, Animal Science and Biotechnology Institute, Email: mephisto83@inbox.ru
 Kuban State Agrarian University named after I.T.Trubilin, Krasnodar, Russia.

**ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПТИЦ ПО РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН****А. И. Иванов, С. Ю. Юсупов**

Реферат. В статье представлены результаты эпизоотологического мониторинга заразных болезней сельскохозяйственной птицы в Республике Башкортостан за 2022–2024 гг. Работа выполнена на базе Башкирской научно-производственной ветеринарной лаборатории. Проанализированы данные ветеринарной отчётности и результаты лабораторных исследований 44150 проб биологического материала от сельскохозяйственной птицы за трёхлетний период; для оценки динамики эпизоотического процесса. Установлено, что среди бактериальных инфекций доминировал колибактериоз с выраженной тенденцией к снижению выявления с 60,7% в 2022 г. до 17,0% в 2024 г. ($t = 3,90$; $p < 0,05$), что, вероятно, связано с усилением санитарного контроля в обследованных хозяйствах. Сальмонеллёз регистрировался в единичных случаях (0,1% в 2023 г., 0% в 2022 и 2024 гг. при значительных объёмах скрининга), что характеризует ситуацию как благополучную. Среди вирусных болезней ключевым событием явилась регистрация 43 положительных проб на грипп птиц типа А в 2023 г. (выявляемость 0,3% при 14301 исследовании) на фоне нулевого обнаружения в 2022 и 2024 гг., что согласуется с данными об активизации эпизоотического процесса по высокопатогенному гриппу в Приволжском федеральном округе в 2023 г. и подчёркивает роль миграционной активности дикой орнитофауны. Паразитарная патология представлена преимущественно эймериозом, выявляемость которого возросла с 36,0% в 2023 г. до 44,0% в 2024 г., и аскаридозом (100% в 2023 г., 17,0% в 2024 г.). Новизна работы заключается в комплексном анализе эпизоотической ситуации за трёхлетний период в сравнении с предшествующим референсным периодом и расширении нозологического профиля мониторинга за счёт включения колибактериоза и паразитарных болезней. Результаты исследований показывают необходимость усиления мер биобезопасности в хозяйствах, расположенных в зонах миграционных стоянок водоплавающих птиц.

Ключевые слова: эпизоотологический мониторинг, сельскохозяйственная птица, колибактериоз, грипп птиц, сальмонеллёз, эймериоз.

Для цитирования: Иванов А.И., Юсупов С.Ю. Эпизоотологический мониторинг инфекционных болезней сельскохозяйственных птиц по Республике Башкортостан // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 37–42 https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_37

Введение. Промышленное птицеводство было и остаётся одним из ключевых драйверов агропромышленного комплекса России, обеспечивая население ценным и доступным диетическим белком. Однако высокая концентрация поголовья, интенсивные технологии содержания и неизбежные логистические перемещения создают идеальную среду для быстрой циркуляции и распространения возбудителей инфекций, что превращает эпизоотическое благополучие из сугубо ветеринарной задачи в вопрос национальной продовольственной безопасности и экономической стабильности [1, 2].

По данным ретроспективных анализов, в стране ежегодно регистрируются десятки неблагополучных пунктов по болезням птиц, и наибольшая доля в этой статистике принадлежит инфекциям, имеющим как вирусную, так и бактериальную природу. Особую тревогу в последние годы вызывает высокопатогенный грипп птиц (ВГП), вспышки которого на территории РФ регистрируются с нарастающей частотой. Как показывают свежие обзоры, ситуация по ВГП в мире в 2023–2024 гг. оставалась крайне напряжённой: только в 2024 году инфекция затронула 68 стран, а в России была отмечена хоть и менее интенсивная, но всё же продолжающаяся циркуляция вируса А (H5N1) клады 2.3.4.4b [3, 4].

При этом нельзя сбрасывать со счетов и

бактериальные патогены. Колибактериоз, вызываемый птичьими патогенными штаммами *Escherichia coli* (АРЕС), давно и прочно занимает позицию одной из главных причин экономических потерь в птицеводстве по всему миру. Ситуация усугубляется тем, что АРЕС и сальмонеллы способны не только вызывать вспышки, но и формировать устойчивые к антибиотикам резервуары, что создаёт прямую угрозу для здоровья человека [5, 6, 7]. Дополнительным и весьма ощутимым бременем для отрасли являются паразитарные болезни, в первую очередь эймериоз (кокцидиоз) и гельминтозы [8]. Они редко становятся причиной громких новостей, но методично подтачивают экономику хозяйств, вызывая хронические проблемы с кишечником, снижая привесы и сохранность, особенно у молодняка [9, 10, 11].

Для Республики Башкортостан, где птицеводство является значимой частью аграрного сектора, вопрос контроля эпизоотической ситуации стоит не менее остро. Понимание того, как меняется со временем спектр и распространённость патогенов, - это не просто академический интерес, а основа для принятия своевременных и эффективных управленческих решений ветеринарной службой. Ранее, в период с 2019 по 2021 год, на базе Башкирской научно-производственной ветеринарной лаборатории (Башкирская НПВЛ)

уже проводился подобный мониторинг [12]. Так, анализ показал, что в структуре выявляемых патологий тогда доминировал микоплазмоз, а такие значимые сегодня угрозы, как колибактериоз и паразитозы, в скрининг не входили.

Целью настоящей работы стал анализ динамики эпизоотической ситуации по инфекционным и паразитарным болезням сельскохозяйственной птицы в Республике Башкортостан за период с 2022 по 2024 год. Акцент на этом временном отрезке не случаен: во-первых, именно на него пришлось выраженная активизация эпизоотического процесса по гриппу птиц в Приволжском федеральном округе, что потребовало беспрецедентного объёма лабораторных исследований. Во-вторых, начиная с 2022 года программа мониторинга была значительно расширена за счёт обязательного включения в неё колибактериоза и паразитарных болезней, что позволило впервые получить трёхлетнюю картину нозологического профиля патологии в регионе в динамике. Это исследование продолжает начатый ранее цикл работ и, как мы надеемся, станет ещё одним элементом в фундаменте эпизоотического благополучия птицеводства Башкортостана [13].

Цель исследования - проанализировать динамику эпизоотической ситуации по инфекционным и паразитарным болезням сельскохозяйственной птицы в Республике Башкортостан за 2022–2024 гг. на основе данных лабораторного мониторинга Башкирской НПВЛ и в сопоставлении с референсным периодом 2019–2021 гг.

Условия, материалы и методы. Эпизоотологический мониторинг инфекционных и паразитарных болезней сельскохозяйственной птицы проводили на базе Башкирской научно-производственной ветеринарной лаборатории (Башкирская НПВЛ, г. Уфа) в период с января 2022 г. по декабрь 2024 г. Материалом для исследования служили данные журналов ветеринарной отчётности и результаты лабораторных исследований патологического материала, поступившего из птицеводческих хозяйств Республики Башкортостан различных форм собственности (птицефабрики промышленного типа, крестьянско-фермерские и личные подсобные хозяйства). В лабораторию поступали следующие виды биологического материала: помёт, патологический материал от павшей и вынужденно убитой птицы (фрагменты паренхиматозных органов - печень, селезёнка, почки, костный мозг, сердечная мышца), трахеальные и клоакальные смывы, пробы крови и яйца. Транспортировку проб осуществляли в термоконтейнерах с соблюдением температурного режима и сроков доставки, регламентированных действующими нормативными документами. Бактериологические исследования патологического материала проводили классическими методами путём посева на дифференциально-диагностические питательные среды:

мясопептонный агар, мясопептонный бульон, среды Эндо, Плоскирева, Левина, кровяной агар, а также среды для выделения листерий и кампилобактерий. Выделенные культуры идентифицировали по биохимическим и серологическим свойствам. Чувствительность изолятов к антибактериальным препаратам определяли диско-диффузионным методом. Паразитологические исследования включали микроскопию помёта и соскобов со слизистой оболочки кишечника павшей птицы с целью обнаружения яиц гельминтов и ооцист эймерий. Для видовой дифференциации возбудителей кокцидиоза учитывали морфологические характеристики ооцист (форма, размер, наличие микропиле и полярной гранулы), а также локализацию патологического процесса в различных отделах кишечника. Всего за период 2022–2024 гг. в лабораторию поступило и было исследовано 44150 проб биологического материала от сельскохозяйственной птицы. Распределение поступившего материала по годам, видам исследований и выявленным нозологиям представлено в сводной таблице 1. Последовательность и приёмы эпизоотологического анализа, а также расчёт интенсивных и экстенсивных показателей проводили согласно общепринятым методическим рекомендациям. Статистическую обработку цифрового материала осуществляли с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность различий между показателями выявляемости по годам оценивали по t-критерию Стьюдента для относительных величин; различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Всего за период с 2022 по 2024 год в Башкирскую научно-производственную ветеринарную лабораторию поступило 44150 проб биологического материала от сельскохозяйственной птицы. Положительные результаты получены в 546 случаях. Распределение объёмов исследований по годам было неравномерным: в 2022 г. выполнено 13631 исследование (выявляемость 0,51%), в 2023 г. - 16899 исследований (выявляемость 1,49%), в 2024 г. - 13620 исследований (выявляемость 0,54%). Пик диагностической активности, пришедшийся на 2023 год, обусловлен резким наращиванием объёмов вирусологического скрининга, о чём подробнее сказано ниже. Анализ трёхлетней динамики показал, что доминирующей бактериальной патологией в регионе является колибактериоз. В 2022 г. его выявляемость достигала 60,7% (34 положительные пробы из 56 исследованных), а доля среди всех положительных находок года составила 49,3%. В 2023 г. на фоне пятикратного увеличения числа исследований (149 проб) выявляемость снизилась до 30,9%, а доля в структуре положительных результатов — до 18,3%. В 2024 г. тенденция к снижению сохранилась: при 112 исследованиях выявлено 19 положительных проб, выявляемость составила 17,0%.

ВЕТЕРИНАРИЯ

Таблица 1 - Результаты лабораторных исследований на инфекционные и паразитарные болезни сельскохозяйственной птицы в Республике Башкортостан за 2022–2024 гг.

Болезнь	Годы											
	2022				2023				2024			
	Исследовано	Положительных	Выявляемость %	Доля, %	Исследовано	Положительных	Выявляемость %	Доля, %	Исследовано	Положительных	Выявляемость %	Доля, %
Колибактериоз	56	34	60,7	49,3	149	46	30,9	18,3	112	19	17	25,7
Стафилококкоз	3	0	0	0	49	33	67,3	13,1	16	1	6,3	1,4
Стрептококкоз	47	19	40,4	27,5	30	11	36,7	4,4	15	2	13,3	2,7
Пастереллез	66	0	0	0	31	0	0	0	17	0	0	0
Сальмонеллез	2233	0	0	0	1748	1	0,1	0,4	1741	0	0	0
Псевдомоноз	1	0	0	0	27	0	0	0	16	0	0	0
Микоплазмозы	0	0	0	0	51	14	27,5	5,6	48	7	14,6	9,5
Листерия	0	0	0	0	215	0	0	0	95	0	0	0
Туберкулез	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0
Грипп птиц	10882	0	0	0	14301	43	0,3	17,1	16913	0	0	0
Инф. бурсальная болезнь	31	0	0	0	20	0	0	0	33	0	0	0
Инф. бронхит	51	0	0	0	30	0	0	0	13	0	0	0
Инф. ларинготрахеит	65	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0
Болезнь Ньюкасла	68	0	0	0	15	0	0	0	25	0	0	0
Хламидийные инфекции	60	0	0	0	22	0	0	0	45	0	0	0
Эймериоз	0	0	0	0	125	45	36	17,9	50	22	44	29,7
Аскаридоз	0	0	0	0	38	38	100	15,1	106	18	17	24,3
Гетеракидоз	0	0	0	0	13	7	53,8	2,8	0	0	0	0
Гангулетеракидоз	0	0	0	0	9	9	100	3,6	0	0	0	0
Капилляриоз	0	0	0	0	3	3	100	1,2	0	0	0	0
Маллофагоз	0	0	0	0	1	1	100	0,4	0	0	0	0
Амидостомоз	0	0	0	0	118	0	0	0	0	0	0	0
Аспергиллез	52	15	28,8	21,7	0	0	0	0	9	5	55,6	6,8
Кандидамикоз	1	1	100	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0

Снижение выявляемости колибактериоза с 60,7% в 2022 г. до 17,0% в 2024 г. носило статистически достоверный характер ($t = 3,90$; $p < 0,05$), что может свидетельствовать о повышении эффективности санитарного контроля в обследованных хозяйствах. Сальмонеллез за весь период наблюдений регистрировался в единичных случаях. В 2022 г. при 2233 исследованиях положительных проб не выявлено. В 2023 г. при 1748 исследованиях обнаружена одна положительная проба (выявляемость 0,1%). В 2024 г. при 1741 исследовании положительных результатов вновь не получено. Столь низкий уровень выявляемости при значительных объемах скрининга характеризует

ситуацию по сальмонеллёзу в регионе как стабильно благополучную. Обращает на себя внимание резкий подъём выявляемости стафилококкоза в 2023 г. - 67,3% (33 положительные пробы из 49) против 0% в 2022 г. (при 3 исследованиях). В 2024 г. показатель снизился до 6,3% (1 положительная проба из 16). Схожая картина наблюдалась по стрептококкозу: выявляемость в 2022 г. - 40,4% (19 из 47), в 2023 г. - 36,7% (11 из 30), в 2024 г. - 13,3% (2 из 15). Микоплазмозы в 2023 г. выявлялись в 27,5% случаев (14 из 51), в 2024 г. - в 14,6% (7 из 48); за 2022 г. данные по данной нозологии отсутствуют. По таким инфекциям, как пастереллез, псевдомоноз, листериоз и туберкулез, за все

три года положительных результатов не получено, что по данным лабораторного мониторинга характеризует ситуацию как благополучную. Наиболее значимым событием анализируемого трёхлетия стала регистрация гриппа птиц в 2023 году. При беспрецедентном объёме скрининга - 14301 исследование - выявлено 43 положительные пробы (выявляемость 0,3%). Доля гриппа среди всех положительных находок 2023 г. составила 17,1%, что вывело данную инфекцию на второе место в нозологической структуре года после колибактериоза. При этом в 2022 г. при 10882 исследованиях и в 2024 г. при 16913 исследованиях положительных проб на грипп птиц не обнаружено. Данная динамика - ноль в 2022 г., выраженный пик в 2023 г. и снова ноль в 2024 г. - с высокой вероятностью указывает на занос возбудителя в период миграций. Исследования на болезнь Ньюкасла, инфекционный бронхит, инфекционный ларинготрахеит, инфекционную бурсальную болезнь и хламидийные инфекции проводились во все три года, однако положительных результатов не дали, что характеризует ситуацию по данным нозологиям как благополучную. Отдельного внимания заслуживает вирусный энтерит гусей, который, хотя и не вошёл в перечень нозологий, охваченных лабораторным мониторингом 2022–2024 гг., продолжает оставаться актуальной проблемой для птицеводства республики. На территории Башкортостана действуют четыре основных промышленных гусеводческих хозяйства и более трёхсот предприятий различных форм собственности, включая крестьянско-фермерские и личные подсобные хозяйства. Значительная часть этих хозяйств считается стационарно неблагополучной по вирусному энтериту гусей и вынуждена применять ежегодную вакцинацию в качестве специфической профилактики для предупреждения заболевания. В наибольшей степени это касается племенных предприятий, располагающих собственными инкубаторами, поскольку именно технология искусственной инкубации создаёт условия для быстрого распространения вируса среди молодняка.

Таким образом, несмотря на отсутствие лабораторно подтверждённых случаев вирусного энтерита гусей в отчётный период, риск возникновения вспышек в регионе сохраняется, что требует продолжения мониторинговых исследований и контроля эффективности вакцинации в неблагополучных хозяйствах. Паразитарная патология в 2023–2024 гг. (за 2022 г. исследования не проводились) характеризовалась стабильно высокими показателями выявляемости. Ведущее место занимал эймериоз: в 2023 г. выявляемость составила 36,0% (45 положительных проб из 125), в 2024 г. - 44,0% (22 из 50). Рост показателя с 36,0 до 44,0% на фоне двукратного сокращения числа исследований может указывать на сохранение высокой циркуляции возбудителя в хозяйствах, однако различия между годами не до-

стигли порога статистической значимости ($t = 0,87$; $p > 0,05$). Аскаридоз в 2023 г. выявлялся в 100% случаев (38 проб из 38), а его доля среди положительных находок года достигала 15,1%. В 2024 г. при расширении скрининга до 106 проб выявляемость снизилась до 17,0% (18 положительных проб). Гетеракидоз, гангулетеракидоз, капилляриоз и маллофагоз регистрировались в 2023 г. с выявляемостью от 53,8 до 100%, однако объём выборки по данным нозологиям был невелик. Амидостомоз при 118 исследованиях в 2023 г. не обнаружен. Аспергиллёз регистрировался в 2022 г. (28,8%, 15 из 52) и в 2024 г. (55,6%, 5 из 9). Кандидамикоз выявлен однократно в 2022 г. (1 положительная проба). Проведённый трёхлетний мониторинг позволил выявить ключевые тенденции в эпизоотической ситуации по инфекционным и паразитарным болезням сельскохозяйственной птицы в Республике Башкортостан. Среди бактериальных инфекций доминирует колибактериоз с выраженной тенденцией к снижению выявляемости. Сальмонеллёз остаётся на стабильно низком уровне. Вспышка гриппа птиц в 2023 г. на фоне нулевой выявляемости в смежные годы подчёркивает роль миграционной активности дикой орнитофауны как ключевого фактора заноса вируса. Паразитарная патология, прежде всего эймериоз и аскаридоз, сохраняет высокую эпизоотическую значимость и требует системного подхода к организации противопаразитарных мероприятий.

Выводы. Эпизоотологический мониторинг за 2022–2024 гг. позволил охарактеризовать нозологическую структуру инфекционной и паразитарной патологии сельскохозяйственной птицы в хозяйствах Республики Башкортостан. За трёхлетний период проанализировано 44150 проб биологического материала, положительные результаты получены в 546 случаях. Среди бактериальных инфекций на протяжении всего периода доминировал колибактериоз. Его выявляемость снизилась с 60,7% в 2022 г. до 17,0% в 2024 г. ($t = 3,90$; $p < 0,05$), что свидетельствует о повышении эффективности санитарного контроля в обследованных хозяйствах. Сальмонеллёз регистрировался в единичных случаях (0,1% в 2023 г., 0% в 2022 и 2024 гг. при значительных объёмах скрининга), что характеризует ситуацию по данной инфекции в регионе как стабильно благополучную. Наиболее заметным событием анализируемого периода стала регистрация 43 положительных проб на грипп птиц типа А в 2023 г. (выявляемость 0,3% при 14301 исследовании) на фоне полного отсутствия выявления вируса в 2022 и 2024 гг. Данная динамика указывает на занос возбудителя в регион, наиболее вероятно, в период сезонных миграций дикой водоплавающей птицы, и подчёркивает необходимость усиления мер биобезопасности в хозяйствах, расположенных вблизи миграционных стоянок. По болезни Ньюкасла, инфекционному бронхиту, инфекцион-

ному ларинготрахеиту, инфекционной бур- сальной болезни и хламидийным инфекциям на протяжении всех трёх лет ситуация остава- лась благополучной. Паразитарная патология сохраняла высокую эпизоотическую значи- мость. Выявляемость эймериоза возросла с 36,0% в 2023 г. до 44,0% в 2024 г., хотя разли- чия между годами не достигли порога стати- стической значимости. Аскаридоз в 2023 г. регистрировался в 100% исследованных проб, в 2024 г. при расширении скрининга выявляе- мость составила 17,0%. Гетеракидоз, гангуле- теракидоз, капилляриоз и маллофагоз также выявлялись с высокой частотой. Полученные данные указывают на необходимость систем- ного пересмотра схем противопаразитарных обработок в хозяйствах. Сравнение с рефе- ренсным периодом 2019–2021 гг. показало изменение нозологического профиля патологи- и: на смену доминировавшему ранее мико- плазмозу пришли колибактериоз и паразитар-

ные болезни, а также зафиксирован выражен- ный, но краткосрочный подъём выявляемости гриппа птиц в 2023 г. Расширение спектра диагностируемых нозологий позволило полу- чить более полную картину эпизоотической ситуации в регионе. С учётом полученных результатов для совершенствования профи- лактической работы в птицеводческих хозяй- ствах рекомендуется:

- внедрить ротационные программы приме- нения кокцидиостатиков;
- усилить ограждение территорий и исклю- чить контакты домашней птицы с дикой орни- тофауной в зонах миграционных стоянок;
- обеспечить регулярный контроль каче- ства кормов, воды и состояния подстилки;
- проводить плановую дегельминтизацию поголовья;
- продолжить ежегодный эпизоотологиче- ский мониторинг с расширенным нозологиче- ским профилем.

Литература

1. Характеристика птицеводческих хозяйств России по болезням различной этиологии / Е. С. Барано- вич, Т. В. Курмакаева, А. Э. Семак [и др.] // Тимирязевский биологический журнал. 2024. № 3. С. 69-76. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-69-76>
2. Курмакаева Т. В., Козак С. С., Баранович Е. С. К вопросу о заболеваемости птицы отдельными бакте- риальными болезнями и обеспечение биобезопасности // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13. № 2. С. 171-176. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176>
3. Обзор эпизоотологической ситуации по высокопатогенному гриппу птиц в России и мире в 2023 г. / Н. Н. Васильцова, А. С. Панова, В. Н. Петров [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. 2024. № 2. С. 6-14. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2024-2-6-14>
4. Эпизоотологическая и эпидемиологическая обстановка по высокопатогенному гриппу птиц в мире и на территории Российской Федерации в 2024 г. / Н. Н. Васильцова, А. С. Панова, В. Н. Петров [и др.] // Про- блемы особо опасных инфекций. 2025. № 1. С. 18-26. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2025-1-18-26>
5. Герасимова А. О., Новикова О. Б., Савичева А. А. Колибактериоз птиц – актуальные вопросы // Вете- ринария сегодня. 2023. Т. 12. № 4. С. 284-292. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-4-284-292>
6. Козак С. С., Баранович Е. С., Козак Ю. А. Заболеваемость сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 3. С. 71-77. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77>
7. Распространённость возбудителя колибактериоза сельскохозяйственной птицы в Краснодарском крае / А. С. Тищенко, А. Г. Кошаев, И. В. Сердюченко [и др.] // Ветеринария Кубани. 2023. № 3. С. 16-19. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2023-3-16-19>
8. Avian pathogenic Escherichia coli: Epidemiology, virulence and pathogenesis, diagnosis, pathophysiology, transmission, vaccination, and control / A. R. Khairullah, D. A. Afnani, K. H. P. Riwi [et al.] // Veterinary World. 2024. Vol. 17. No. 12. P. 2747-2762. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2747-2762>
9. Дагаева А. Б., Махиева Б. М. Эффективные меры борьбы с эймериозами птиц в условиях Республики Дагестан // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13. № 3. С. 242-247. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-242-247>
10. Домацкий В. Н., Сивкова Е. И. Эймериоз птиц: обзор ситуации в Российской Федерации // Птицевод- ство. 2025. № 2. С. 53-58. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2025-74-2-53-58>
11. Epidemiological investigation of coccidiosis and associated risk factors in broiler chickens immunized with live anticoccidial vaccines in China / S. Liao, X. Lin, Q. Zhou [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. 2024. Vol. 11. P. 1375026. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1375026>
12. Андреева А. В., Галиахметова Р. Р. Иммунологический и диагностический мониторинг инфекцион- ных заболеваний птиц // Зыкинские чтения: материалы Нац. науч.-практ. конф., посвящ. памяти д-ра мед. наук, проф. Л. Ф. Зыкина (Саратов, 28 апр. 2022 г.). Саратов: Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2022. С. 14-17. EDN: XDBBGO
13. Avian Pathogenic Escherichia coli: Advances in Pathogenesis, Diagnosis, and Control / O. Kamal, H. Kneuper, T. Cogan, M. J. Woodward // Veterinary Sciences. 2025. Vol. 13. No. 1. P. 19. <https://doi.org/10.3390/vetsci13010019>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах

Иванов Александр Ильич* – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры инфекционных болезней, зо- огигии и ветсанэкспертизы, e-mail: pugarchev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9293-2611>
Юсупов Сагидулла Юлаевич – аспирант кафедры инфекционных болезней зоогигии и ветсанэксперти- зы, e-mail: Sagidulla_Yusupov@mail.ru.
Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

EPIZOOTOLOGICAL MONITORING OF INFECTIOUS DISEASES OF FARM POULTRY IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

A. I. Ivanov, S. Yu. Yusupov

Abstract. The article presents the results of epizootological monitoring of infectious diseases of farm poultry in the Republic of Bashkortostan for 2022-2024. Study was conducted at Bashkir Scientific and Production Veterinary Laboratory. Veterinary reporting data and laboratory test results for 44 150 samples of biological material from farm poultry over a three-year period were analyzed to assess the dynamics of the epizootic process. Colibacillosis was found to be the most common bacterial infection, with a significant downward trend in detection rates from 60.7% in 2022 to 17.0% in 2024 ($t = 3.90$; $p < 0.05$), likely due to increased sanitary monitoring at the surveyed farms. Salmonellosis was recorded in isolated cases (0.1% in 2023, 0% in 2022 and 2024, despite significant screening volumes), indicating a favorable situation. Among viral diseases, the key event was the registration of 43 positive samples for avian influenza type A in 2023 (detection rate of 0.3% in 14,301 tests) against the background of zero detections in 2022 and 2024, which is consistent with data on epizootic process intensification for highly pathogenic influenza in Volga Federal District in 2023 and emphasizes the role of migratory activity of wild avifauna. Parasitic pathology is represented mainly by eimeriosis, the detection rate of which increased from 36.0% in 2023 to 44.0% in 2024, and ascariasis (100% in 2023, 17.0% in 2024). The novelty of this study lies in its comprehensive analysis of epizootic situation over a three-year period compared to the previous reference period and expansion of the nosological monitoring profile to include colibacillosis and parasitic diseases. The research results demonstrate the need to strengthen biosecurity measures on farms located in migratory stopover areas of waterfowl.

Key words: epizootic monitoring, poultry, colibacillosis, avian influenza, salmonellosis, eimeriosis.

For citation: Ivanov A.I., Yusupov S.Yu. Epizootic monitoring of infectious diseases of poultry in the Republic of Bashkortostan. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 37-42 https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_37

References

1. Baranovich ES, Kurmakaeva TV, Semak AE. [Characteristics of poultry farms in Russia for diseases of various etiologies]. *Timiryazevskiy biologicheskii zhurnal*. 2024; 3. 69-76 p. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-3-69-76>
2. Kurmakaeva TV, Kozak SS, Baranovich ES. [On the issue of poultry morbidity by certain bacterial diseases and ensuring biosafety]. *Veterinariya segodnya*. 2024; Vol.13. 2. 171-176 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176>
3. Vasiltsova NN, Panova AS, Petrov VN. [Review of epizootological situation on highly pathogenic avian influenza in Russia and in the world in 2023]. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. 2024; 2. 6-14 p. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2024-2-6-14>
4. Vasiltsova NN, Panova AS, Petrov VN. [Epizootological and epidemiological situation regarding highly pathogenic avian influenza in the world and on the territory of the Russian Federation in 2024]. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. 2025; 1. 18-26 p. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2025-1-18-26>
5. Gerasimova AO, Novikova OB, Savicheva AA. [Colibacillosis of birds - current issues]. *Veterinariya segodnya*. 2023; Vol.12. 4. 284-292 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-4-284-292>
6. Kozak SS, Baranovich ES, Kozak YuA. [Incidence of salmonellosis in farm animals and poultry]. *Timiryazevskiy biologicheskii zhurnal*. 2023; 3. 71-77 p. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77>
7. Tishchenko AS, Koshaev AG, Serdyuchenko IV. [Prevalence of colibacillosis pathogen in poultry in Krasnodar Krai]. *Veterinariya Kubani*. 2023; 3. 16-19 p. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2023-3-16-19>
8. Khairullah AR, Afnani DA, Riwu KHP. Avian pathogenic *Escherichia coli*: Epidemiology, virulence and pathogenesis, diagnosis, pathophysiology, transmission, vaccination, and control. *Veterinary World*. 2024; Vol.17. No.12. 2747-2762 p. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2747-2762>
9. Dagaeva AB, Makhieva BM. [Effective measures to combat eimeriosis in birds in the Republic of Dagestan]. *Veterinariya segodnya*. 2024; Vol.13. 3. 242-247 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-242-247>
10. Domatskiy VN, Sivkova EI. [Eimeriosis of birds: review of situation in the Russian Federation]. *Ptitsevodstvo*. 2025; 2. 53-58 p. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2025-74-2-53-58>
11. Liao S, Lin X, Zhou Q. Epidemiological investigation of coccidiosis and associated risk factors in broiler chickens immunized with live anticoccidial vaccines in China. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; Vol.11. 1375026 p. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1375026>
12. Andreeva AV, Galiakhmetova RR. [Immunological and diagnostic monitoring of infectious diseases of birds. Zykin readings]. *Materialy Nats. nauch.-prakt. konf., posvyashch. pamyati d-ra med. nauk, prof. L.F. Zykina (Saratov, 28 apr. 2022 g.)*. Saratov: Saratovskiy GAU im. N. I. Vavilova. 2022; 14-17 p. EDN: XDBBGO
13. Kamal O, Kneuper N, Cogan T, Woodward MJ. Avian pathogenic *Escherichia coli*: advances in pathogenesis, diagnosis, and control. *Veterinary Sciences*. 2025; Vol.13. No.1. 19 p. <https://doi.org/10.3390/vetsci13010019>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Ivanov Aleksandr Ilich* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Department of Infectious Diseases, Animal Hygiene and Veterinary Sanitary Expertise, e-mail: pugapchev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9293-2611>
 Yusupov Sagidulla Yulaevich – post-graduate student of Department of Infectious Diseases of Animal Hygiene and Veterinary Sanitary Expertise, e-mail: Sagidulla_Yusupov@mail.ru.
 Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

ДИНАМИКА БЕЛКОВОГО ОБМЕНА У ЦЫПЛЯТ КРОССА БРАУН НИК

Л. В. Клетикова, Л. В. Вирзум, Ю. Н. Шашурина, М. А. Горин, П. С. Горбунов

Реферат. Целью настоящего исследования было определение особенностей белкового обмена у цыплят в период от суточного до 120-суточного возраста. Кровь получали из подкрыльцовой вены у 1-, 30-, 60-, 90- и 120-суточных цыплят в утренние часы, исследование концентрации общего белка, альбумина, глобулинов, мочевой кислоты, креатинина выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе Super Z. У цыплят суточного возраста содержание общего белка составило 28,70 г/л, в последующие возрастные периоды – 30-90 суток – его содержание увеличилось до 43 г/л, и в начале продуктивного периода (120 суток) снизилось до 37,53 г/л. У цыплят от суточного до 90-суточного возраста преобладала глобулиновая фракция, белковый коэффициент находился в диапазоне 0,62-0,87. К 120-суточному возрасту благодаря преобладанию альбумина белковый коэффициент составил 1,5 ед. Мочевая кислота в период от суточного до 90-суточного возраста снижалась от 312,40 до 139,58 мкмоль/л и возросла к началу яйцекладки до 305,20 мкмоль/л. Креатинин у суточных цыплят составил 40,54 мкмоль/л, снизился к 60-м суткам и значительно увеличился к 120-м суткам достигнув 317,65 мкмоль/л. Таким образом, в предкладковый период и начало яйцекладки у кур формируется структура репродуктивных органов, происходит перестройка физиолого-биохимических процессов в организме. Начало яйцекладки является стрессом, сопровождающимся снижением уровня общего белка и глобулинов, повышением альбумина в сыворотке крови как главного транспортного звена в цепи обмена веществ и формирования яйца. Кроме того происходит значительное повышение концентрации мочевой кислоты и креатинина, демонстрирующие совершенствование синтетических процессов в организме птиц и их адаптационную пластичность.

Ключевые слова: кросс Браун Ник, возраст, начало яйцекладки, обмен веществ, общий белок и его фракции, мочевая кислота, креатинин.

Для цитирования: Клетикова Л.В., Вирзум Л.В., Шашурина Ю.Н., Горин М.А., Горбунов П.А. Динамика белкового обмена у цыплят кросса Браун Ник // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 43-47. [http:// doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_43](http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_43)

Введение. Характер течения обмена веществ в организме во многом определяется белковым обменом [1]. Белки сыворотки крови характеризуют практически все физиолого-биохимические особенности организма [2] и являются наиболее сложными и важными структурными компонентами организма, выполняющим каталитическую, структурную, энергетическую, транспортную, защитную, регуляторную и адаптационную функции. Наряду с этим белковообразовательный процесс является одним из факторов формирования иммунитета.

Высокий уровень белкового обмена характерен для кур яичного направления продуктивности. С обменом белков тесно связана яичная продуктивность птицы вследствие высокого их накопления в яйцах. Вместе с тем уровень яйценоскости является интегральным показателем всех гомеостатических свойств организма кур, а содержание общего белка в организме кур может служить предиктором начала яйцекладки. Кроме общего белка практическое значение имеет соотношение альбумина и глобулинов. Предназначение альбумина в организме поливалентно, но основных функций, выполняемых им, три: сорбционно-транспортная, гемодинамическая и основной белковый резерв организма. Кроме того альбумин имеет решающее значение для поддержания целостности сосудов и коллоидно-осмотического давления [3]. Однако все иммунологические процессы в организме ассоциируются с наличием в крови глобулинов. Снижение процентной доли глобу-

линов указывает на качественные изменения гуморального звена иммунитета [4]. Как метаболиты белкового обмена, мочевая кислота и креатинин, отражают взаимосвязь между синтезом в организме белков собственных тканей и выведением конечных продуктов [5]. Научно доказано, что скормливание предкладкового рациона до наступления половой зрелости может привести к гиперкальциемии, повышению концентрации мочевой кислоты в крови и, как следствие, к висцеральной подагре [6], что может свидетельствовать о поражении почек. В этой связи наблюдается и изменение концентрации креатинина, которые меняются в зависимости от возраста.

Исходя из анализа ранее опубликованных работ, цель настоящего исследования заключалась в анализе показателей белкового обмена у цыплят в период от суточного до 120-суточного возраста.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования послужили цыплята кросса Браун Ник 1-120-суточного возраста, предметом – содержание белка, его фракций и метаболитов в сыворотке крови.

Цыплята содержались в четырёхъярусных батареях типа Valli группами согласно возрасту. Контроль параметров микроклимата осуществлялся с помощью цифровых программ. Вакцинопрофилактика проводилась в соответствии с планом противоэпизоотических мероприятий предприятия. Птицы получала рацион в соответствии с возрастом.

Кровь для исследования получали из под-

крыльцовой вены (*axillary vein*) каждый раз у 25 особей путем случайной выборки.

Исследование содержания белка, белковых фракций, мочевой кислоты и креатинина выполняли на автоматическом биохимическом анализаторе Super Z. Полученные результаты подвергали математической обработке с привлечение стандартного пакета программ.

Результаты и обсуждение. Для цыплят первых суток жизни характерно относительно низкое содержание общего белка в сыворотке крови – $28,70 \pm 1,70$ г/л и высокое содержание глобулинов, превосходящее содержание альбумина на 60,43% (рисунок). К 30-суточному

возрасту содержание общего белка в сыворотке крови у цыплят возросло на 48,92% ($p \leq 0,05$), при этом белковый коэффициент повысился с 0,62 до 0,74. В период от 60- до 90-суточного возраста уровень общего белка не претерпевает достоверных отличий и колеблется в диапазоне не превышающим 1,0 г/л. У 120-суточных молодняков в период начала яйцекладки содержание общего белка в сыворотке крови снижается на 13,53% ($p \leq 0,05$), в тоже время значительно увеличивается содержание альбумина и белковый коэффициент увеличивается до $1,50 \pm 0,23$ ед. по сравнению с данными 60- и 90-суточных цыплят ($0,87 \pm 0,04$ и $0,77 \pm 0,06$ ед.).

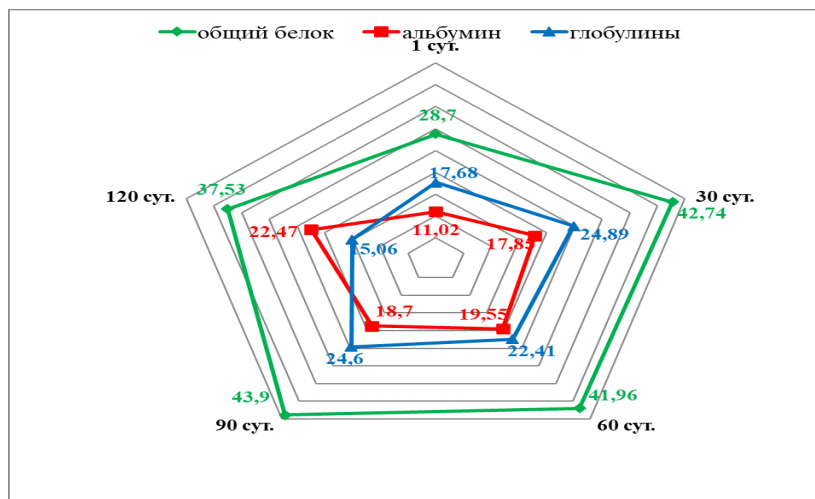


Рисунок – Содержание общего белка, альбумина и глобулинов в сыворотке крови цыплят кросса Браун Ник 1-120-суточного возраста, г/л

С одной стороны, снижение общего белка и непосредственно глобулиновой фракции в сыворотке крови в начале продуктивного периода делает организм более уязвимым к инфекционным и воспалительным процессам [4]; с другой – повышение альбумина в сыворотке крови в предкладковый и начальный период яйцекладки является физиологически закономерным, указывая на активную синтетическую функцию печени, обеспечивающую организм транспортными белками для синтеза скорлупы, белка и желтка яиц. Ценность альбумина заключается и в том, что он создает в крови коллоидно-осмотическое давление, которое регулирует баланс воды и электролитов между плазмой и тканями и поддерживает объем крови, необходимый для нормального кровотока, что актуально для начальных несушек [5].

Что касается содержания мочевой кислоты на протяжении всего периода исследования, то показатель не выходил за пределы референса (таблица) [7].

У суточных цыплят концентрация мочевой кислоты составила 312,40 мкмоль/л. Однако у цыплят 30-, 60- и 90-суточного возраста наблюдалось ее снижение на 33,89%, 29,28% и 55,32% ($p \leq 0,05$) относительно первоначального показателя и стремительный рост в начале кладкового периода (на 75,37%) по сравнению с предыдущим сроком исследования

(90 суток), что подтверждает усиление интенсивности белкового обмена у молодняка. Опасность накопления мочевой кислоты в высокой концентрации чревата развитием мочекишечного диатеза (подагры) у кур. В условиях птицеводческого предприятия ущерб от данной патологии может достигать 20 и более процентов, что может привести к значительному экономическому ущербу.

Также объективным показателем изменения интенсивности метаболизма у птиц является креатинин. Уровень креатинина у суточных цыплят составил 40,54 мкмоль/л и достоверно повысился к 30-суточному возрасту на 9,9%, но в 60-суточном возрасте снизился на 31,67 % и 37,86% ($p \leq 0,05$) относительно суточных и 30-суточных цыплят. Несмотря на его резкое снижение у цыплят 60-суточного возраста, что, вероятно, связано с критическим периодом развития, обусловленного ювенальной линькой, показатель вернулся к исходному в 90-суточном возрасте цыплят и составил $40,43 \pm 1,38$ мкмоль/л. При достижении птицей 120-суточного возраста уровень креатинина повысился почти в 8 раз, что является дополнительным свидетельством улучшения азотистого обмена, также повышение в сыворотке крови креатинина является хорошим прогностическим признаком, указывающим на отсутствие симптомов мочекишечного диатеза у молодняка [8, 9].

Таблица – Динамика мочевого кислоты и креатинина в сыворотке крови цыплят кросса Браун Ник от 1- до 120-суточного возраста (n=25)

Возраст цыплят	Мочевая кислота, мкмоль/л	Креатинин, мкмоль/л
1 сутки	312,40±73,85	40,54±3,52
30 суток	206,52±55,67	44,58±3,61
60 суток	220,92±26,27	27,70±4,57
90 суток	139,58±31,19	40,43±1,38
120 суток	305,20±62,10	317,65±41,44

Полученные нами данные согласуются с ранее установленными А. К. Ромашко (2026) в том, что «у ремонтного молодняка кур-несушек существует особый предкладковый период, который характеризуется сильным эндогенным стрессом и во многом определяет последующую продуктивность несушек» [10].

Оценивая соотношение мочевого кислоты – креатинин в сыворотке крови следует отметить, что у суточных цыплят показатель составил 7,70, у 30-суточных – 4,60, у 60-суточных – 7,98, у 90-суточных – 3,45, у 120-суточных – 0,96 ед. Волнообразная динамика этого показателя, чередующаяся снижением в 30- и 90-суточном возрасте, повышением в 60-суточном возрасте и резком падении в 120-суточном возрасте, вероятно, связана с уровнем кормления, скоростью роста цыплят, фильтрационной активностью почек. Выраженное снижение соотношения мочевого кислоты – креатинин у 120-суточных цыплят совпадает по времени со снижением общего белка в сыворотке крови и повышением белкового коэффициента, что также может свидетель-

ствовать о перестройке организма и подготовке молодняка к яйцекладке.

Заключение. Проведенные исследования убедительно доказывают, что в предкладковый период у птицы происходит перестройка не только физиологических и биохимических процессов, но и в целом анатомо-морфологические преобразования: окончательно формируется структура репродуктивных органов (яичник и яйцевод), обмен веществ, совершенствуется нервно-эндокринная регуляция. Период начала яйцекладки для кур является мощнейшим стрессовым фактором, при этом отмечается не только снижение концентрации общего белка в сыворотке крови и перераспределение белковых фракций, в результате чего значительно возрастает белковый коэффициент, демонстрируя, таким образом, значимость транспортных белков. Также в начальный период яйцекладки происходит значительное повышение концентрации мочевого кислоты и креатинина, показывающие в свою очередь совершенствование синтетических процессов в организме птиц и их адаптационную пластичность.

Литература

1. Рассказова Е. Д., Семенютин В. В., Крамарева И. А. Азотистый обмен в организме цыплят-бройлеров при разной длительности введения ЭНТ-ОЙЛ ИДРОРУЖ НМ // Международный вестник ветеринарии. 2023. № 1. С. 142-147. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.1.142>. EDN NBNXXZI.
2. Особенности азотистого и минерального обмена у кур под действием пробиотика и соли йода / В. Н. Никулин, И. А. Бабичева, Р. В. Вершинина, А. О. Дубровина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1. С. 352-358. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-99-1-352-358>. EDN: NBNMXZ.
3. Кулабухов В. В., Конкин А. А., Утев М. Д. Раствор альбумина в современной концепции инфузионной терапии – история продолжается? // Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2019. Т. 16. № 4. С. 56-64. <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2019-16-4-56-64>. EDN: YAFADX.
4. Особенности формирования белкового профиля сыворотки крови у коров разных генотипов в условиях Центральной Якутии / Л. П. Корякина, И. В. Максимов, Т. Д. Румянцев [и др.] // Ветеринария и кормление. 2026. № 2. С. 73-76. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2026-2-15>. EDN YAWXUJ.
5. Гематологический статус цыплят-бройлеров при введении в питьевую воду кормовых добавок биоферрон и биоцинк / Ю. А. Ряднова, В. В. Саломатин, А. А. Ряднов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2022. Т. 249. № 1. С. 167-175. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_176. EDN 48091928.
6. Милоста О. В., Насонов И. В. Мочекислый диатез у кур. Часть 1. Современные представления об этиологии и патогенезе // Наше сельское хозяйство. Ветеринария и животноводство. 2014. № 14. С. 64-68.
7. Клетикова Л. В., Маннова М. С., Якименко Н. Н. Влияние прединкубационной обработки яиц и введения в рацион энтеросорбента на метаболизм цыплят // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 161-166. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.1>. EDN YBNQPL.
8. Романов В. Н., Иолчиев Р. Б. Особенности обменных процессов в организме мясных овец при скормлинии комплекса пробиотиков с «защитной» форм холина // Ветеринария и кормление. 2026. № 2. С. 165-169. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2026-2-34>. EDN YAWXUJ.
9. Оценка влияния умбеллиферона и цинка на продуктивность и состояние организма цыплят-бройлеров / Г. К. Дускаев, Т. А. Климова, Ш. Г. Рахматуллин, Д. Г. Дерябин // Ветеринария и кормление. 2026. № 1. С. 20-23. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2026-1-4>. EDN YAWXUK.
10. Ромашко А. К. Питательность предкладкового рациона кур отечественной селекции // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2020. № 23 (1). С. 136-144. EDN JTLEPR.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания.

Сведения об авторах:

Клетикова Людмила Владимировна* – доктор биологических наук, профессор центра клинических дисциплин, e-mail: doktor_xxi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6277-3063>.

Вирзум Людмила Викторовна – кандидат химических наук, заведующий кафедрой прикладных биотехнологий, e-mail: virzum@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8420-1162>.

Шашурина Юлия Николаевна – старший преподаватель центра клинических дисциплин, e-mail: y.shashurina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4363-9945>.

Горин Михаил Александрович – кандидат ветеринарных наук, руководитель центра клинических дисциплин, e-mail: gorinmi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9870-6903>.

Горбунов Павел Александрович – кандидат ветеринарных наук, доцент центра клинических дисциплин, e-mail: pa-gorbunov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3495-3136>.

Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, г. Иваново, Россия.

PROTEIN METABOLISM DYNAMICS IN BROWN NICK CROSS CHICKS

L. V. Kletikova, L. V. Virzum, Yu. N. Shashurina, M. A. Gorin, P. S. Gorbunov

Abstract. The aim of study was to determine the characteristics of protein metabolism in chickens from one day to 120 days of age. Blood was obtained from the axillary vein of 1-, 30-, 60-, 90- and 120-day-old chickens in the morning; the concentration of total protein, albumin, globulins, uric acid and creatinine was analyzed using a Super Z automatic biochemical analyzer. In day-old chickens, the total protein content was 28.70 g/l; in subsequent age periods – 30-90 days – its content increased to 43 g/l and at the beginning of the productive period (120 days) it decreased to 37.53 g/l. In chickens from one day to 90 days of age, globulin fraction predominated; protein coefficient was in the range of 0.62-0.87. By the age of 120 days, due to the predominance of albumin, protein coefficient was 1.5 units. Uric acid levels decreased from 312.40 to 139.58 $\mu\text{mol/L}$ between 1 day and 90 days of age, increasing to 305.20 $\mu\text{mol/L}$ by the onset of egg production. Creatinine in day-old chicks was 40.54 $\mu\text{mol/L}$, decreasing by the 60th day and increasing significantly by 120th day, reaching 317.65 $\mu\text{mol/L}$. Thus, during pre-laying period and onset of egg production, the structure of the hens' reproductive organs is formed, and physiological and biochemical processes in the body are restructured. The onset of egg production is a stressful event, accompanied by a decrease in total protein and globulin levels and an increase in serum albumin, the main transport link in the metabolic chain and egg formation. In addition, there is a significant increase in uric acid and creatinine concentrations, demonstrating the improvement of synthetic processes in the birds' bodies and their adaptive plasticity.

Key words: Brown Nick cross, age, onset of egg laying, metabolism, total protein and its fractions, uric acid, creatinine.

For citation: Kletikova L.V., Virzum L.V., Shashurina Yu.N., Gorin M.A., Gorbunov P.A. Protein metabolism dynamics in Brown Nick cross chick. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 43-47. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_43

References

1. Rasskazova ED, Semenyutin VV, Kramareva IA. [Nitrogen metabolism in the body of broiler chickens with different durations of ENT-OIL IDRORUZh NM administration]. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii*. 2023; 1. 142-147 p. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.1.142>. EDN NBNXZI.
2. Nikulin VN, Babicheva IA, Vershinina RV, Dubrovina AO. [Features of nitrogen and mineral metabolism in chickens under the influence of a probiotic and iodine salt]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 1. 352-358 p. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-99-1-352-358>. EDN: NBNMXZ
3. Kulabukhov VV, Konkin AA, Utev MD. [Albumin solution in the modern concept of infusion therapy – does the story continue?]. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*. 2019; Vol.16. 4. 56-64 p. <https://doi.org/10.21292/2078-5658-2019-16-4-56-64>. EDN: YAFADX
4. Koryakina LP, Maksimov IV, Rummyantseva TD. [Features of protein profile of blood serum formation in cows of different genotypes in the conditions of Central Yakutiya]. *Veterinariya i kormlenie*. 2026; 2. 73-76 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2026-2-15>. EDN YAWXUJ.
5. Ryadnova YuA, Salomatin VV, Ryadnov AA. [Hematological status of broiler chickens when introducing bioferron and biozinc feed additives into drinking water]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2022; Vol.249. 1. 167-175 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_176. EDN 48091928.
6. Milosta OV, Nasonov IV. [Uric acid diathesis in chickens. Part 1. Modern concepts of etiology and pathogenesis]. *Nashe selskoe khozyaystvo. Veterinariya i zhivotnovodstvo*. 2014; 14. 64-68 p.
7. Kletikova LV, Mannova MS, Yakimenko NN. [Effect of pre-incubation treatment of eggs and introduction of enterosorbent into the diet on chickens' metabolism]. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii*. 2021; 1. 161-166 p. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.1>. EDN YBNQPL.
8. Romanov VN, Iolchikov RB. [Features of metabolic processes in the body of meat sheep when feeding a complex of probiotics with a "protective" form of choline]. *Veterinariya i kormlenie*. 2026; 2. 165-169 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2026-2-34>. EDN YAWXUJ.

9. Duskaev GK, Klimova TA, Rakhmatullin ShG, Deryabin DG. [Evaluation of effect of umbelliferone and zinc on productivity and body condition of broiler chickens]. Veterinariya i kormlenie. 2026; 1. 20-23 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2026-1-4>. EDN YAWXUK.

10. Romashko AK. [Nutritional value of pre-laying diet of domestic chickens]. Aktualnye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2020; 23 (1). 136-144 p. EDN JTLEPR

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. This work was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under a state contract.

Authors:

Kletikova Lyudmila Vladimirovna* – Doctor of Biological Sciences, Professor of Center for Clinical Disciplines, e-mail: doktor_xxi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6277-3063>.

Virzum Lyulmila Viktorovna – Ph.D. of Chemical Sciences, Head of Applied Biotechnology Department, e-mail: virzum@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8420-1162>.

Shashurina Yulia Nikolaevna – senior lecturer of Center for Clinical Disciplines, e-mail: y.shashurina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4363-9945>.

Gorin Mikhail Aleksandrovich – Ph.D. of Veterinary Sciences, Head of Center for Clinical Disciplines, e-mail: gorinmi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9870-6903>

Gorbunov Pavel Aleksandrovich – Ph.D. of Veterinary Sciences, Associate Professor of Center for Clinical Disciplines, e-mail: pa-gorbunov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3495-3136>.

Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology, Ivanovo, Russia.

**РЕНТГЕНОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАФИЗА
БОЛЬШЕБЕРЦОВЫХ КОСТЕЙ ОВЕЦ В НОРМЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
И ТЕСТИРОВАНИЯ НОВЫХ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**
Н. А. Кононович, А. Д. Дерингер, О. С. Черепанов, А. Л. Шастов, А. В. Шаров

Реферат. В статье представлены результаты рентгенограмметрического исследования середины диафиза больших берцовых костей 43 взрослых беспородных овец. Определены значения следующих параметров: длина ($226,12 \pm 13,75$ мм); наружный диаметр в прямой ($17,68 \pm 2,01$ мм) и боковой ($14,19 \pm 1,07$ мм) проекциях; диаметр костномозгового канала в прямой ($8,71 \pm 1,72$ мм) и боковой ($6,43 \pm 1,11$ мм) проекциях; толщина корковой пластинки ($3,48 \pm 0,56$ мм). Выявлена высокая корреляционная взаимосвязь между наружным диаметром середины диафиза и диаметром костномозгового канала (в прямой проекции); заметная корреляционная взаимосвязь между длиной кости и наружным диаметром (в прямой и боковой проекциях); умеренная корреляционная взаимосвязь между наружным диаметром и диаметром костномозгового канала (боковая проекция), наружным диаметром и толщиной корковой пластинки (в прямой и боковой проекциях), а также между длиной кости и толщиной корковой пластинки (боковая проекция). Овцы нередко используются при выполнении доклинических испытаний по разработке и тестированию имплантатов для замещения обширных дефектов диафиза длинных костей. С целью стандартизации условий эксперимента *in vivo*, полученные значения размеров анатомических структур середины диафиза большой берцовой кости овцы позволили определить оптимальные поперечные типоразмеры для изготовления разрабатываемых образцов имплантатов. При этом определили, что необходимо основываться на поперечных размерах участка кости в соответствии с рентгеновскими изображениями на боковой проекции. Поперечные размеры имплантируемого изделия не должны превышать $14,19 \pm 1,07$ мм и не должны быть равны или быть меньше $6,43 \pm 1,11$ мм. Выявленные значения размеров середины диафиза большой берцовой кости взрослой овцы можно использовать при разработке, изготовлении и доклиническом тестировании в экспериментах *in vivo* новых имплантатов для замещения обширного дефекта диафиза длинной кости.

Ключевые слова: большеберцовая кость, овца, доклинические испытания, значения, рентгенограмметрия, обширный дефект диафиза кости, поперечные размеры имплантата.

Для цитирования: Кононович Н.А., Дерингер А.Д., Черепанов О.С., Шастов А.Л., Шаров А.В. Рентгенограмметрическое исследование диафиза большеберцовых костей овец в норме для разработки и тестирования новых ортопедических конструкций // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 48-54. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_48

Введение. В настоящее время как в России, так и за рубежом одним из приоритетных направлений научно-технологического развития в сфере медицины, а именно в травматологии и ортопедии, является поиск эффективных технологий замещения обширных дефектов диафиза костей конечностей [1, 2]. В этом плане классическими принято считать методики, подразумевающие использование собственных репаративных возможностей организма, в частности основанные на принципах чрескостного дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову [3, 4]. Основным их недостатком является продолжительность периода лечения и сложности в выполнении. Широко используются способы возмещения недостающего участка кости ауто- или аллотрансплантатами [5, 6, 7]. Однако в случаях значительной протяженности костного дефекта при ауто- или аллотрансплантации доступность донорского участка кости может быть ограничена, а аллотрансплантация несет риски передачи инфекционных и других заболеваний.

Учитывая эти обстоятельства достаточную перспективность и востребованность получили имплантаты из искусственных материалов (металлов, композитов из биodeградируемых полимеров и др.), подтверждение эффективности и безопасности которых требует предвари-

тельного выполнения доклинических испытаний на животных. При этом стандартизация условий эксперимента позволяет снизить вариативность и увеличивает степень достоверности полученных результатов [8, 9, 10]. Очевидно, что тестовые образцы изделий должны быть идентичны по размерным и структурным характеристикам.

Для изготовления серии образцов новых имплантатов (одинаковых по размеру и структуре) требуется знание референсных значений размеров замещаемого участка кости. Нередко подобного рода новые конструкции в экспериментах *in vivo* тестируют на крупных лабораторных животных, в том числе овцах, а моделирование костного дефекта выполняют в области середины диафиза большой берцовой кости [11, 12, 13]. В доступной литературе нет четких сведений о морфометрических характеристиках данного сегмента тазовой конечности у овец, в частности его диафизарной области.

Цель исследования – по рентгенограммам определить анатомические размеры диафиза большеберцовой кости у взрослых клинически здоровых овец, для последующей разработки, изготовления и тестирования в экспериментах *in vivo* новых имплантатов для замещения обширного дефекта длинной кости.

Условия, материалы и методы. Перед началом экспериментального исследования было принято решение о том, что для определения оптимальных поперечных размеров новых разрабатываемых имплантатов будут использоваться наименьшие поперечные размеры середины диафиза большеберцовых костей (предполагаемая область моделирования дефекта кости) взрослых беспородных клинически здоровых овец, определяемые по рентгенографическим изображениям сегмента в двух стандартных проекциях (прямой и боковой).

Для достижения основной цели осуществили рентгенограмметрическое исследование большеберцовых костей 43 клинически здоровых взрослых беспородных овец обоего

пола, в том числе без визуально определяемых патологических состояний костно-мышечной системы. Возраст животных варьировал от 1 до 2 лет. Животные были приобретены у разных поставщиков.

На рентгенограммах, выполненных в боковой и прямой проекции (рис. 1) в середине диафиза большеберцовой кости измеряли: наружный диаметр диафиза, диаметр костномозгового канала, толщину корковой пластинки. Дополнительно на рентгенограммах, выполненных в боковой проекции, измеряли длину большеберцовой кости. Другие авторы, для измерения длины данного сегмента у экспериментальных животных, также использовали боковую рентгеновскую проекцию [14].

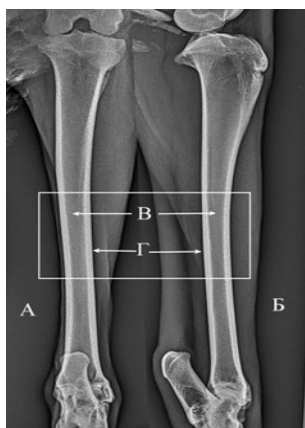


Рисунок 1 – Рентгенограммы большой берцовой кости взрослой овцы: А – прямая проекция; Б – боковая проекция; В – костномозговой канал; Г – корковая пластинка; прямоугольной рамкой выделена середина диафиза кости.

Рентгенографию осуществляли с помощью рентгеновской системы Premium VET (TOSHIBA (Rotanode) Model E7239. N: 10G749, Япония) и системы цифровой рентгенографии с плоскопанельным детектором CANON CXDI-401C COMPACT (Canon Inc. Medical Equipment Group, Япония).

Измерения выполняли при помощи специализированного программного обеспечение «Hi-scene». Полученные количественные данные объединяли и подвергали статистической обработке с использованием методов параметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводили с использованием надстройки AtteStat версии 13.1 к электронным таблицам Excel (2016, 16.0.5278.1000). При статистической обработке количествен-

ных данных с использованием критерия Шапиро-Уилка определили нормальный характер распределения выборок, что позволило в последующем использовать параметрические методы статистики. Полученные количественные данные объединяли в вариационные ряды, в которых методами описательной статистики проводили расчет средних арифметических величин (M), стандартных отклонений (SD), медиан (Me) и 1-3 квартилей ($Q1-Q3$). При сравнении средних величин в нормально распределенных совокупностях количественных данных рассчитывали t -критерий Стьюдента. Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$. Дополнительно, с целью изучения связи между представленными количественными данными, использовался коэффициент корреляции r_{xy} Пирсона. Значения коэффициента корреляции Пирсона интерпретировали в соответствии со шкалой Чеддока (табл. 1).

Таблица 1 - Шкала Чеддока

	Значения коэффициента корреляции Пирсона					
	менее 0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99
Характеристика тесноты корреляционной связи	связь отсутствует	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая

При определении коэффициента корреляции Пирсона, автоматически рассчитывалась статистическая значимость корреляционной связи с помощью t-критерия. Перед началом исследования все животные содержались в одинаковых условиях вивария на стандартном сбалансированном рационе при свободном доступе к воде в течение 45 суток и больше. При содержании животных соблюдали требования ГОСТ Р 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур». ГОСТ 34088-2017 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными». Также соблюдали требования Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей, и Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 по охране животных, используе-

мых в научных целях.

Результаты и обсуждение. В результате выполненного рентгенограмметрического исследования определили длину большеберцовой кости, наружный диаметр и диаметр ее костномозгового канала, а также толщину корковой пластинки в середине диафиза у взрослых клинически здоровых беспородных овец не зависимо от пола (табл. 2). Анализ полученных количественных данных показал, что некоторые изучаемые размерные параметры большеберцовых костей в середине диафиза у взрослых овец имеют статистически значимые отличия в зависимости от проекции рентгенографического изображения. В частности, наружный диаметр и диаметр костномозгового канала середины диафиза в прямой проекции были на 3,5 мм и на 2,3 мм больше соответственно, чем в боковой проекции. Толщина корковой пластинки в данной области на рентгенографических изображениях в двух стандартных проекциях не имела достоверных различий (табл. 2).

Таблица 2 - Анатомические размеры большеберцовой кости взрослой беспородной овцы в середине диафиза

Рентгенограмметрический параметр	Проекция	M±SD	Me (Q1-Q3)
Длина большеберцовой кости (мм)	Боковая	226,12±13,75	222 (217-234)
Наружный диаметр в середине диафиза (мм)	Прямая	17,68±2,01*	17,4 (16,4-18,9)*
	Боковая	14,19±1,07	14,1 (13,5-14,9)
Диаметр костномозгового канала в середине диафиза (мм)	Прямая	8,71±1,72*	8,4 (7,4-9,6)*
	Боковая	6,43±1,11	6,2 (5,5-7,2)
Толщина корковой пластинки в середине диафиза (мм)	Прямая	3,72±0,57	3,8 (3,3-4,0)
	Боковая	3,48±0,56	3,5 (3,1-3,8)

Примечание: * - различия показателя прямой проекции со значениями боковой проекции, $p < 0,05$.

С использованием коэффициента корреляции Пирсона определили положительную взаимосвязь между изучаемыми параметрами разной степени выраженности (табл. 3).

Результаты исследования показали, что высокую положительную статистически значимую линейную взаимосвязь имеют между собой параметры: наружный диаметр диафиза и диаметр костномозгового канала в сагиттальных рентгенографических проекциях (прямая задняя или прямая передняя), отражающие размерные характеристики исследуемой области с латеральной и медиальной поверхностей большеберцовой кости. При этом, те же параметры на фронтальных проекциях (направление рентгеновского луча справа налево или слева направо), демонстрирующие переднюю и заднюю поверхности большеберцовой кости, имеют умеренную статистически достоверную взаимосвязь. Диаметр костномозгового канала в прямой и боковой проек-

циях от наружного диаметра диафиза на этом же уровне в этих же проекциях составляет 49,3% (1,0;2,03) и 45,3% (1,0;2,21) соответственно.

Заметную, статистически значимую корреляционную взаимосвязь имеют размерные характеристики наружных диаметров середины диафиза фронтальных (боковая проекция) и сагиттальных (прямая проекция) рентгенографических изображений с длиной большеберцовой кости.

Выполненное рентгенограмметрическое исследование показало, что для определения размерных характеристик экспериментальных образцов имплантата для замещения циркулярного дефекта середины диафиза большеберцовой кости взрослой клинически здоровой овцы необходимо использовать размерные характеристики изображений рентгенограмм, выполненных во фронтальной проекции (боковой).

Таблица 3 - Корреляция рентгенограмметрических характеристик середины диафиза большеберцовой кости взрослой овцы

Рентгенограмметрические параметры переменных	Коэффициент корреляции r_{xy}	Теснота корреляционной связи
Наружный диаметр в середине диафиза, прямая проекция	0,72*	Высокая
Диаметр костномозгового канала в середине диафиза, прямая проекция		
Наружный диаметр в середине диафиза, боковая проекция	0,34*	Умеренная
Диаметр костномозгового канала в середине диафиза, боковая проекция		
Наружный диаметр в середине диафиза, прямая проекция	0,35*	Умеренная
Толщина корковой пластинки, прямая проекция		
Наружный диаметр в середине диафиза, боковая проекция	0,32*	Умеренная
Толщина корковой пластинки, боковая проекция		
Длина большеберцовой кости	0,61*	Заметная
Наружный диаметр в середине диафиза, прямая проекция		
Длина большеберцовой кости	0,65*	Заметная
Наружный диаметр в середине диафиза, боковая проекция		
Длина большеберцовой кости	0,26	Слабая
Диаметр костномозгового канала в середине диафиза, прямая проекция		
Длина большеберцовой кости	0,21	Слабая
Диаметр костномозгового канала в середине диафиза, боковая проекция		
Длина большеберцовой кости	0,23	Слабая
Толщина корковой пластинки, прямая проекция		
Длина большеберцовой кости	0,35*	Умеренная
Толщина корковой пластинки, боковая проекция		

Примечание: * - статистическая значимость корреляционной связи, $p < 0,05$.

Это связано с тем, что наружный диаметр и диаметр костномозгового канала середины диафиза кости на изображениях рентгенограмм выполненных в боковой проекции достоверно меньше аналогичных параметров изображений в прямой проекции на 19,74% и 26,18% соответственно. При этом физиологически нормальные анатомические пропорции наружного диаметра обследуемого участка середины диафиза большеберцовой кости в боковой проекции ($14,19 \pm 1,07$ мм) по отношению к длине сегмента ($226,12 \pm 13,75$) у овец составили 1,0 : 15,9. К тому же эти параметры имели заметную положительную статистически значимую корреляционную связь между собой.

Физиологически нормальные анатомические пропорции диаметра костномозгового канала в обследуемой области ($6,43 \pm 1,11$ мм) к наружному поперечному диаметру диафиза кости ($14,19 \pm 1,07$ мм) на боковой проекции

составили 1,0 : 2,21. Между ними была определена положительная умеренная статистически значимая корреляционная взаимосвязь.

Согласно литературным данным при замещении обширного диафизарного дефекта рост костной ткани как со стороны надкостницы, так и эндооста направлен от концов костных отломков к центру дефекта [5, 11, 15]. Соответственно, новые разрабатываемые имплантируемые медицинские изделия, предназначенные для замещения дефектов диафиза длинных костей, должны иметь типоразмеры и другие конструктивные характеристики, которые смогут обеспечивать возможность продольного роста костных структур в дистальном (от верхнего отломка к нижнему) и проксимальном (от нижнего отломка к верхнему) направлениях, а также в глубь имплантата. Предположили, что обеспечение таких условий возможно в случаях, когда попереч-

ные размеры разрабатываемых имплантатов не будут превышать диаметр замещаемого участка диафиза кости и не будут равными или меньшими диаметру костномозгового канала (для предотвращения миграции имплантата в костномозговой канал). Это позволило сделать ниже приведенные выводы.

Выводы. В результате выполненного рентгенограмметрического исследования определили значения размеров середины диафиза большой берцовой кости взрослой беспородной овцы, которые можно использовать при разработке, изготовлении и доклиническом тестировании в экспериментах *in vivo*

новых имплантатов для замещения обширного дефекта диафиза длинной кости.

- Определили, что при изготовлении серии тестовых образцов имплантатов для замещения обширного дефекта середины диафиза большой берцовой кости взрослой беспородной овцы и с целью стандартизации условий эксперимента: 1) необходимо основываться на поперечных размерах замещаемого участка кости в соответствии с рентгеновскими изображениями боковой проекции; 2) для овец поперечные размеры имплантата не должны превышать $14,19 \pm 1,07$ мм, и не должны быть равны или быть меньше $6,43 \pm 1,11$ мм.

Литература

1. Замещение обширного диафизарного дефекта бедренной кости с применением аддитивных технологий / В. П. Волошин, С. А. Ошкуков, А. Г. Галкин [и др.] // Вестник Ивановской медицинской академии. 2020. Т. 25. № 2. С. 51–56. EDN: JWPNNRY
2. Bone defect treatment in regenerative medicine: exploring natural and synthetic bone substitutes A. Santoro, A. Voto, L. Fortino [et al.] // International journal of molecular sciences. 2025. Vol. 26. №. 7. P. 3085. <https://doi.org/10.3390/ijms26073085>
3. Сравнение методов транспорта кости и острого укорочения при лечении пациентов с огнестрельными дефектами диафиза большеберцовой кости / Д. В. Давыдов, М. Н. Нелин, А. А. Артемьев [и др.] // Гений ортопедии. 2025. Т. 31, №. 6. С. 695–706. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-6-695-706>
4. Опыт замещения дефектов длинных костей на основе сочетанного применения внеочагового чрескостного остеосинтеза и остеокондуктивных материалов в клинической практике / Л. Б. Резник, Д. Ю. Борзунов, Д. С. Моховиков [и др.] // Политравма. 2017. № 2. С. 16–22. EDN: ZFPWFR
5. Замещение обширных диафизарных дефектов длинных костей конечностей / А. П. Барабаш, Л. А. Кесов, Ю. А. Барабаш [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2014. №. 2(72). С. 93–99. EDN: SIWBRX
6. Замещение обширных дефектов большеберцовой кости у детей / Д. Ю. Гранкин, С. И. Голяна, Н. В. Авдейчик [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 5. С. 36. <https://doi.org/10.17513/spno.33002>
7. Complications Rate and Hip Function After Revision of Infected Hip Arthroplasty with Bone Defects using Bone Allografts: A Systematic Review and Meta-Analysis / M. Samei, S.M.J. Mortazavi, M. Sahebi [et al.] // Archives of Bone and Joint Surgery. 2025. Vol. 13. No. 9. P. 537-549. <https://doi.org/10.22038/ABJS.2025.90232.4092>
8. Advances in 3D-printed scaffold technologies for bone defect repair: materials, biomechanics, and clinical prospects / J. Sun, C. Chen, B. Zhang [et al.] // BioMedical Engineering Online. 2025. Vol. 24. No. 1. P. 51. <https://doi.org/10.1186/s12938-025-01381-w>
- 9 Scaffolds for bone healing: concepts, materials and evidence / P. Lichte, H. C. Pape, T. Pufe [et al.] // Injury. 2011. Vol. 42. No. 6. pp. 569-573. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.03.033>
10. Моделирование повреждений костных структур в экспериментах на животных / А. Ш. Ананьева, Л. М. Бараева, И. М. Быков [и др.] // Инновационная медицина Кубани. 2021. №1(21). С. 47–55. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-47-55>
11. Эффективность использования 3D-имплантатов с биоактивными свойствами для замещения обширных дефектов костей: экспериментальное исследование А. В. Попков, Н. А. Кононович, Е. Н. Горбач [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2021. Т. 27. №. 1. С. 37–52. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-37-52>
12. 3D bio-printed scaffolds and smart implants: evaluating functional performance in animal surgery models / A. S. Vickram, S. S. Infant, S. Manikandan [et al.] // Annals of Medicine and Surgery. 2025. Vol. 87. No. 6. pp. 3618-3634. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000003333>
13. Enhanced bone formation in locally-optimised, low-stiffness additive manufactured titanium implants: an in silico and in vivo tibial advancement study / J. M. Shum, B. C. Gadowski, S. J. Tredinnick [et al.] // Acta biomaterialia. 2023. Vol. 156. pp. 202-213. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.04.006>
14. Analysis of association between morphometric parameters of growth plate and bone growth of tibia in mice and humans / K. Wilson [et al.] // Cartilage. 2021. Vol. 13. No.2. pp. 315S-325S. <https://doi.org/10.1177/1947603519900800>
15. Особенности остеогенеза при замещении циркулярного дефекта диафиза костей голени с использованием коллаген-апатитного композита "Литар" (экспериментальное исследование) / Н. А. Кононович, Е. Н. Горбач, Т. А. Силантьева [и др.] // Забайкальский медицинский вестник. 2019. № 4. С. 69–77. <https://doi.org/10.52485/19986173-2019-4-69>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема проекта: «Материалы и технологии для проектирования и создания имплантатов», регистрационный номер 124121700064-4.

Работа выполнена в рамках диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5. Биологические науки, 1.5.5. Физиология человека и животных (соискатель: аспирант 2 года обучения Дерингер А.Д.).

Сведения об авторах:

Кононович Наталья Андреевна* – кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: n.a.kononovich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8908>

Дерингер Артем Дмитриевич – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: johnny_anderson@mail.ru
 Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Россия
 Черепанов Олег Сергеевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ocherepanov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7914-0783>
 Курганский государственный университет, г. Курган, Россия
 Шастов Александр Леонидович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, e-mail: alshastov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7434-1404>
 Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Россия
 Шаров Артем Владимирович – кандидат химических наук, проректор по научной работе, e-mail: sharov84@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2262-6330>
 Курганский государственный университет, г. Курган, Россия.

RADIOGRAPHIC STUDY OF NORMAL SHEEP TIBIAL DIAPHYSIS FOR DEVELOPMENT AND TESTING OF NEW ORTHOPEDIC DESIGN

N. A. Kononovich, A. D. Deringer, O. S. Cherepanov, A. L. Shastov, A. V. Sharov

Abstract. The article presents the results of a radiographic study of the diaphysis's middle of tibiae of 43 adult mongrel sheep. The following parameters were determined: length (226.12 ± 13.75 mm); outer diameter in the frontal (17.68 ± 2.01 mm) and lateral (14.19 ± 1.07 mm) projections; the diameter of the medullary canal in frontal (8.71 ± 1.72 mm) and lateral (6.43 ± 1.11 mm) projections; the thickness of cortical plate (3.48 ± 0.56 mm). A high correlation was revealed between the outer diameter of diaphysis's middle and the diameter of medullary canal (in frontal projection); a noticeable correlation between the bone length and the outer diameter (in the frontal and lateral projections); a moderate correlation between the outer diameter and the diameter of medullary canal (lateral projection), the outer diameter and the thickness of cortical plate (in frontal and lateral projections), and between the bone length and the thickness of cortical plate (lateral projection). Sheep are often used in preclinical trials to develop and test implants to replace extensive defects in the diaphysis of long bones. To standardize in vivo experimental conditions, the obtained values for dimensions of anatomical structures of the mid-diaphysis of the sheep tibia allowed us to determine optimal transverse dimensions for the fabrication of the implant prototypes. It was determined that the transverse dimensions of the bone section should be based on X-ray images on the lateral projection. The transverse dimensions of implanted device should not exceed 14.19 ± 1.07 mm and should not be equal to or less than 6.43 ± 1.11 mm. Identified reference values for the mid-diaphysis dimensions of the adult sheep tibia can be used in the development, fabrication and preclinical testing of new implants for filling extensive long bone diaphysis defects in vivo.

Key words: tibia, sheep, preclinical testing, reference values, radiogrammetry (X-ray), extensive diaphysis defect, implant transverse dimensions.

For citation: Kononovich N.A., Deringer A.D., Cherepanov O.S., Shastov A.L., Sharov A.V. Radiographic study of normal sheep tibial diaphysis for development and testing of new orthopedic design. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 48-54. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_48

References

1. Voloshin VP, Oshkukov SA, Galkin AG. [Replacement of an extensive diaphyseal defect of the femur using additive technologies]. Vestnik Ivanovskoy meditsinskoy akademii. 2020; Vol.25. 2. 51-56 p. EDN: JWPNNRY
2. Santoro A, Voto A, Fortino L. Bone defect treatment in regenerative medicine: exploring natural and synthetic bone substitutes. International journal of molecular sciences. 2025; Vol.26. 7. 3085 p. <https://doi.org/10.3390/ijms26073085>
3. Davydov DV, Nelin MN, Artemev AA. [Comparison of bone transport and acute shortening methods in the treatment of patients with gunshot defects of the tibial diaphysis]. Genii ortopedii. 2025; Vol.31. 6. 695-706 p. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-6-695-706>
4. Reznik LB, Borzunov DYU, Mokhovikov DS. [Experience in replacing long bone defects using combined use of extrafocal transosseous osteosynthesis and osteoconductive materials in clinical practice]. Politravma. 2017; 2. 16-22 p. EDN: ZFPWFR
5. Barabash AP, Kesov LA, Barabash YuA. [Replacement of extensive diaphyseal defects of long bones of the extremities]. Travmatologiya i ortopediya Rossii. 2014; 2(72). 93-99 p. EDN: SIWBRX
6. Grankin DYU, Golyana SI, Avdeychik NV. [Replacement of extensive tibial defects in children]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2023; 5. 36. <https://doi.org/10.17513/spno.33002>
7. Samei M, Mortazavi SMJ, Sahebi M. Complications rate and hip function after revision of infected hip arthroplasty with bone defects using bone allografts: a systematic review and meta-analysis. Archives of Bone and Joint Surgery. 2025; Vol.13. No.9. 537-549 p. <https://doi.org/10.22038/ABJS.2025.90232.4092>
8. Sun J, Chen C, Zhang B. Advances in 3D-printed scaffold technologies for bone defect repair: materials, biomechanics and clinical prospects. BioMedical Engineering Online. 2025; Vol.24. No.1. 51 p. <https://doi.org/10.1186/s12938-025-01381-w>
9. Lichte P, Pape HC, Pufe T. Scaffolds for bone healing: concepts, materials and evidence. Injury. 2011; Vol.42. No.6. 569-573 p. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.03.033>
10. Ananeva ASH, Baraeva LM, Bykov IM. [Modeling of bone structure damage in animal experiments]. Innovatsionnaya meditsina Kubani. 2021; 1(21). 47-55 p. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-47-55>
11. Popkov AV, Kononovich NA, Gorbach EN. [Efficiency of using 3D implants with bioactive properties to replace extensive bone defects: an experimental study]. Travmatologiya i ortopediya Rossii. 2021; Vol.27. 1. 37-52 p. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1-37-52>
12. Vickram AS, Infant SS, Manikandan S. 3D bio-printed scaffolds and smart implants: evaluating functional performance in animal surgery models. Annals of Medicine and Surgery. 2025; Vol.87. No.6. 3618-3634 p. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000003333>
13. Shum JM, Gadowski BC, Tredinnick SJ. Enhanced bone formation in locally-optimised, low-stiffness additive manufactured titanium implants: an in silico and in vivo tibial advancement study. Acta biomaterialia. 2023; Vol.156. 202-213 p. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.04.006>
14. Wilson K. Analysis of association between morphometric parameters of growth plate and bone growth of tibia in mice and humans. Cartilage. 2021; Vol.13. No.2. 315S-325S p. <https://doi.org/10.1177/1947603519900800>

15. Kononovich NA, Gorbach EN, Silanteva TA. [Features of osteogenesis during the replacement of a circular defect of diaphysis of the tibia using the collagen-apatite composite "Litar" (experimental study)]. Zabaikalskiy meditsinskiy vestnik. 2019; 4. 69-77 p. [https://doi.org/ 10.52485/19986173-2019-4-69](https://doi.org/10.52485/19986173-2019-4-69)

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. The study was carried out with financial support from Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Project topic: materials and technologies for design and creation of implants, registration number 124121700064-4.

Authors:

Kononovich Natalya Andreevna* – Ph.D. of Veterinary Sciences, leading researcher, e-mail: n.a.kononovich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8908>

Deringer Artem Dmitrievich – post-graduate student, junior researcher, e-mail: johnny_anderson@mail.ru

National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov, Kurgan, Russia.

Cherepanov Oleg Sergeevich – Ph.D. of Physics and Mathematics, senior researcher, e-mail: ocherepanov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7914-0783>

Kurgan State University, Kurgan, Russia.

Shastov Aleksandr Leonidovich – Ph.D. of Medical Sciences, senior researcher, e-mail: alshastov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7434-1404>

National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov, Kurgan, Russia.

Sharov Artem Vladimirovich – Ph.D of Chemistry, Vice-Rector for Research, e-mail: sharov84@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2262-6330>

Kurgan State University, Kurgan, Russia.

ВЛИЯНИЕ СОЕВОВОГО ИНГИБИТОРА ТРИПСИНА НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В УСЛОВИЯХ ВОДНОЙ И ПИЩЕВОЙ ДЕПРИВАЦИИ У КРЫС**И. В. Кузьмина, С. М. Толпыго, Н. В. Тарабрина**

Реферат. Показано, что такие протеазы как тромбин, трипсин и катепсин G, играют ключевую роль не только в процессе расщепления белков во внеклеточном пространстве, но и в регуляции различных физиологических процессов. Их функции опосредуются взаимодействием с рецепторами, активируемыми протеазами (PARs), которые широко экспрессируются в различных органах и тканях. Сериновые протеазы, циркулирующие в крови, обычно не проявляют своей ферментативной активности из-за наличия белков-ингибиторов, что предотвращает их взаимодействие с PARs. В настоящее время также известны экзогенные ингибиторы протеаз, такие как соевый ингибитор трипсина (СИТ), который может замедлять процессы гемостаза, фибринолиза и агрегации тромбоцитов. Ранее проведенные исследования показали взаимосвязь между биохимическими показателями крови и активностью трипсина — основного агониста PAR2 — в крови, при водной и пищевой депривации на фоне введения СИТ. Однако влияние введения СИТ на гематологические показатели при различных формах депривации остаётся недостаточно изученным. В связи с этим, в данном исследовании показано действие СИТ на гематологические параметры у крыс при водной и пищевой депривации. Было выявлено, что при водной депривации на фоне дополнительного введения СИТ наблюдалось повышение уровня лейкоцитов на 38% ($p<0,05$), гемоглобина на 13%, гематокрита на 11% и снижение количества тромбоцитов на 14%. В то же время при пищевой депривации происходили противоположные изменения, при которых прослеживалось снижение количества лейкоцитов на 20%, гемоглобина на 5%, гематокрита на 8% и тромбоцитов на 25% ($p<0,05$). Таким образом, гематологические показатели являются значимыми информативными показателями при оценке компенсаторно-адаптационных процессов у крыс в условиях метаболического стресса (голод и жажда), а введение СИТ позволяет уменьшить его негативные последствия.

Ключевые слова: трипсин, соевый ингибитор трипсина, сериновые протеазы, гематологические показатели, депривация, крысы.

Для цитирования: Кузьмина И.В., Толпыго С.М., Тарабрина Н.В. Влияние соевого ингибитора трипсина на гематологические показатели в условиях водной и пищевой депривации у крыс // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 55-61. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_55

Введение. Традиционно основная функция протеаз таких, как тромбин, трипсин, катепсин G и др. — расщепление белков во внеклеточном пространстве. Однако в настоящее время установлено, что их биологическая роль в организме этим не ограничивается. В многочисленных исследованиях показано, что протеазы играют важную роль в регуляции физиологических процессов [1, 2]. Это опосредуется взаимодействием протеаз с особым классом рецепторов, сопряженных с G-белком, — так называемых рецепторов, активируемых протеазами (proteinase-activated receptors, PARs) [3].

PARs широко экспрессируются в различных системах органов, включая сердечно-сосудистую, опорно-двигательную, дыхательную, желудочно-кишечную, иммунную и центральную нервную системы [4]. PARs участвуют в регуляции физиологических процессов, таких как свёртывание крови, воспаление, сосудистый тонус, заживление ран и др. [5, 6, 7].

В последние годы особое внимание уделяется участию PARs в развитии воспалительных и аутоиммунных заболеваний. Выявлено, что генетическая деактивация PAR2, одного из четырех типов PARs, основным агонистом которых является трипсин, снижает воспалительный ответ в различных моделях патологических состояний. В настоящее время это легло в основу интенсивного изучения фармакологического ингибирования PAR2 для разработки терапевтических средств при воспалениях [8].

Показано, что гиперактивация PAR2, как правило, сопровождающаяся повышенной активностью сериновых протеаз в крови, это является ключевым регулятором воспалительных процессов при заболеваниях почек, воспалении дыхательных путей и патологического ремоделирования сосудов [9, 10, 11]. Обнаружено, что PAR2 модулируют острые и хронические воспалительные процессы в ЖКТ и суставов, как у людей, так и у животных [11, 12, 13].

Установлено, что иммунная система играет ключевую роль в развитии и регуляции воспалительных, пролиферативных и репаративных механизмов, функционировании центральной нервной системы и обменных процессов [14]. Продemonстрировано, что существует взаимосвязь между пищеварительной и иммунной системами на всех этапах иммунного ответа [15]. Выявлено, что такие физиологические стрессорные факторы, как голод и жажда также значительно влияют на иммунные процессы в организме [16].

Ранее в наших экспериментах было обнаружено, что ограничение доступа к воде достоверно увеличивает активность трипсина в крови у крыс, а ограничение корма снижает данный показатель по сравнению с животными, имеющими свободный доступ к корму и воде [17]. Одновременно было отмечено, что имеются различия в содержании форменных элементов крови у крыс в условиях водной и пищевой депривации. На фоне жажды у животных

наблюдала тенденцию к увеличению эритроцитов и уровня гемоглобина, а также увеличение общего количества лейкоцитов преимущественно за счет увеличения эозинофилов. В условиях пищевой депривации регистрировали снижение уровня лейкоцитов, выраженное уменьшение концентрации моноцитов и снижение гематокрита. Это, по-видимому, отражает адаптационно-компенсаторные процессы в организме в условиях голодания [18].

Нейтрофилы являются первичными эффекторными клетками врожденного иммунного ответа, которые первыми мигрируют к очагам воспаления [19]. При этом, нейтрофилы выделяют целый ряд сериновых протеаз (нейтрофильная эластаза, катепсин G и др.), увеличение активности которых интенсифицирует воспаление путем вовлечения PARs [20].

Известно, что сериновые протеазы (трипсин, тромбин и др.), циркулирующие в крови, не проявляют свою ферментативную активность благодаря наличию соответствующих белков-ингибиторов, которые снижают их преждевременную и/или чрезмерную активацию, либо полностью их инактивируют [21].

Наряду с этим обнаружено, что имеются также экзогенные ингибиторы протеаз, одним из которых является – соевый ингибитор трипсина (СИТ). Выявлено, что СИТ замедляет процессы гемостаза препятствуя свертыванию крови, фибринолизу и агрегации тромбоцитов. Ингибиторы трипсина воздействуют на некоторые биохимические параметры, связанные с голоданием, и рассматриваются как потенциальные кандидаты перспективные в плане лечения ожирения и метаболического синдрома [22].

Ранее нами была выявлена взаимосвязь активности трипсина и биохимических показателей крови при водной и пищевой депривации на фоне введения СИТ [23]. Показано, что введение СИТ в этих условиях частично ингибирует активность трипсина, тем самым, препятствуя развитию нарушений обменных процессов в организме.

Однако вопрос о том, нормализует ли введение СИТ сдвиги гематологических показателей, в том числе и характеризующих иммунореактивность организма, в условиях метаболического стресса (голод, жажда) остаётся недостаточно изученным.

В связи с этим целью данного исследования явилось изучение основных гематологических показателей у крыс в состоянии жажды и голода на фоне введения СИТ.

Условия, материалы и методы. Эксперименты были выполнены на лабораторных крысах-самцах популяции «Wistar», с массой тела 250-300 г, подразделенных на 3 группы (по 7 животных в каждой). Животных содержали в виварии в поликарбонатных клетках на подстилке из деревянных опилок, получали автоклавированный стандартный экструдированный корм и профильтрованную водопроводную воду. Все эксперименты

проводили в соответствии с приказом Минздрава РФ № 199 от 1.04.2016 г. «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», в соответствии с требованиями Всемирного общества защиты животных (WSPA) и Европейской конвенции о защите экспериментальных животных, а также одобренного протокола комиссии по биомедицинской этике ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина» от 01.02.2023 года.

Контрольная группа имела свободный доступ к корму и воде. В опытной группе 1 животным в течение суток ограничивали доступ к воде, а в опытной группе 2 – к корму на фоне однократного внутривентрального введения 0,5 мл 1% раствора СИТ Sigma T9008 у всех групп крыс отбирали кровь для анализа гематологических показателей. После этого животным предоставляли свободный доступ к воде и корму и через час снова отбирали пробы крови для анализа.

Кровь для анализа отбирали из хвостовой вены, используя вакуумные пробирки с антикоагулянтом (КЗ-ЭДТА). Гематологический анализ крови проводили на ветеринарном автоматическом гематологическом анализаторе DF50Vet производства компании Dymind Biotech (KHP) с использованием соответствующих наборов реагентов.

Статистическую обработку данных проводили по алгоритмам программ Statistica 8.0 и Excel. Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро-Уилка, что позволило использовать при статистической обработке результатов t критерий Стьюдента для малых групп, изменения показателей считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований показали, что введение СИТ значительно влияет на гематологические показатели животных при различных видах депривации.

На фоне водной депривации количество лейкоцитов увеличивалось до $22,5 \pm 2,49 \times 10^9/\text{л}$ (на 38%) ($p < 0,05$), а при пищевой депривации снижалось — до $13,1 \pm 1,69 \times 10^9/\text{л}$ (на 20%) относительно значений контрольной группы (рис. 1А). После предоставления свободного доступа к воде и корму общее количество лейкоцитов продолжало оставаться сниженным: $14,3 \pm 0,49 \times 10^9/\text{л}$ (на 12%) и $12,2 \pm 1,22 \times 10^9/\text{л}$ (на 25%) ($p < 0,05$) соответственно по сравнению с контрольными значениями. Данные о различных изменениях общего количества лейкоцитов при водной и пищевой депривации, по-видимому, обусловлены тем, что водная депривация является более сильным стрессорным фактором по сравнению с пищевой. Следует отметить, что жажда сопровождается гиперактивацией ренин-ангиотензиновой системы, сопряженной с интенсивным усилением провоспалительных механизмов [24]. Вероятно, использованные в исследовании дозы СИТ недостаточны для компенсации данной иммунной реакции на стресс.

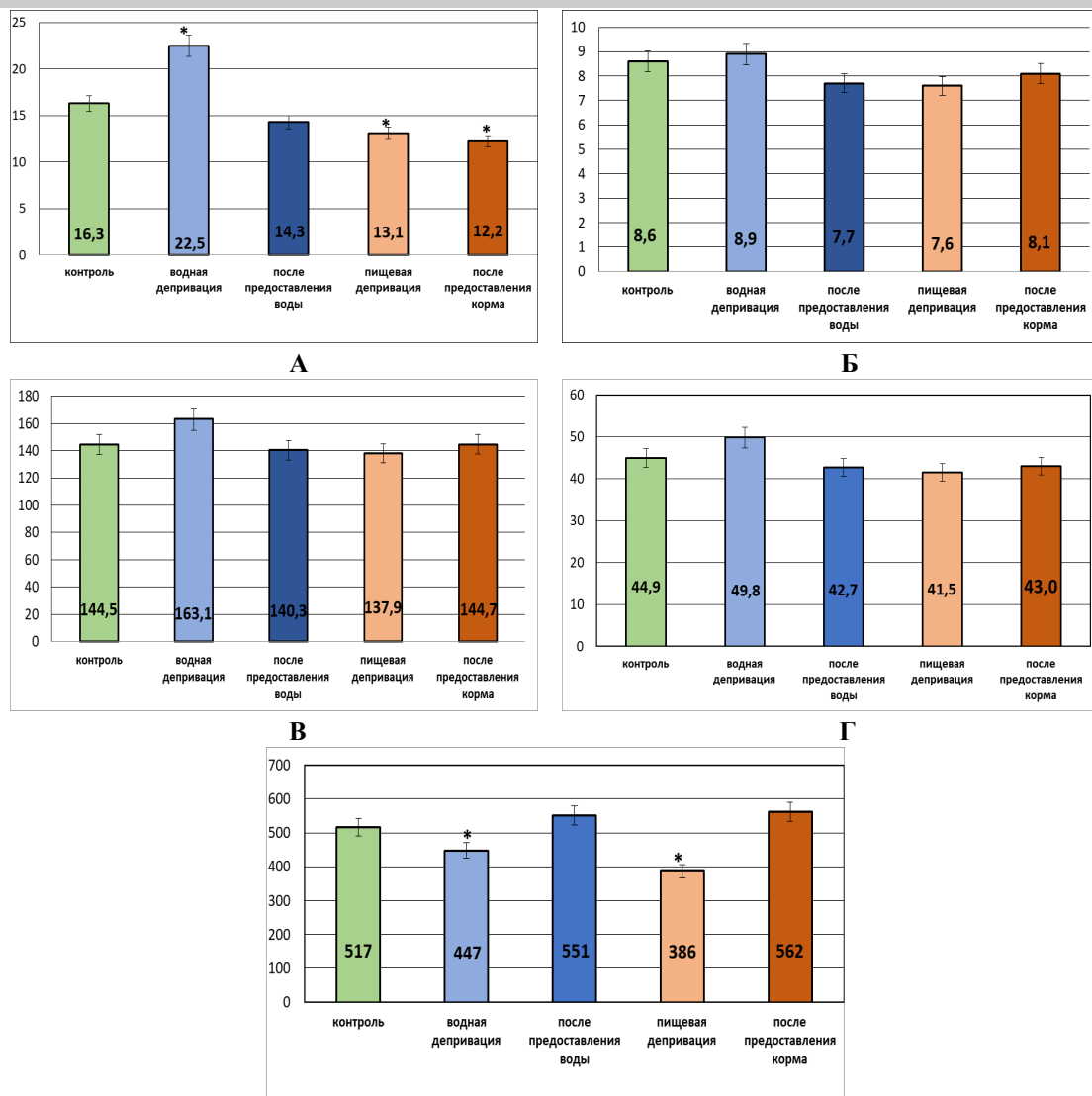


Рисунок 1 – А - содержание общего количества лейкоцитов, 10⁹/л, Б - содержание ретроцитов, 10¹²/л, В – содержание гемоглобина, г/л, Г – содержание гематокрита, %, Д – содержание тромбоцитов, 10⁹/л в крови крыс при водной и пищевой депривации на фоне предварительного введения СИТ

Примечание: * $p < 0,05$ - по сравнению с недепривированным контролем

Водная депривация на фоне СИТ привела к увеличению уровня гемоглобина до $163 \pm 8,5$ г/л (на 13%), что можно рассматривать как адаптивный ответ организма на дегидратацию. С другой стороны, снижение уровня гемоглобина на 5% в условиях голодания связано с нехваткой железа, необходимого для эффективной транспортировки кислорода (рис. 1В). Этот процесс можно объяснить метаболическими изменениями, происходящими в организме при ограничении поступления питательных веществ, что приводит к уменьшению общего количества циркулирующих эритроцитов до $7,6 \pm 0,36 \times 10^{12}$ /л (на 11%) (рис. 1Б) и, как результат, уровня гемоглобина. Аналогичные изменения были зафиксированы в уровне гематокрита (рис. 1Г). При водной депривации наблюдалась тенденция к увеличению до 49,8%, тогда как при пищевой де-

привации данный показатель снижался на 8% относительно контрольных значений. После предоставления воды и корма уровень гематокрита продолжал оставаться сниженным на 5% и 4% соответственно в сравнении с контролем.

Введение СИТ в условиях метаболического стресса привело к изменениям в уровне тромбоцитов (рис. 1Д). Водная и пищевая депривация вызвали снижение количества тромбоцитов до $447 \pm 53,8 \times 10^9$ /л (на 14%) и до $386 \pm 59,4 \times 10^9$ /л (25%) ($p < 0,05$) по сравнению с контрольной группой. После предоставления воды и корма уровень тромбоцитов вернулся к значениям, близким к контрольным.

При анализе компонентов лейкоцитарной формулы были обнаружены значительные изменения их процентного содержания в условиях водной и пищевой депривации на фоне введения СИТ.

Данные, полученные в ходе экспериментов, свидетельствуют о существенном снижении процентного содержания нейтрофилов на 27% ($p<0,05$) и 43% ($p<0,05$), а также моноцитов на 52% ($p<0,05$) и 35% ($p<0,05$) соответственно, по сравнению с контрольными показателями (рис. 2).

Известно, что количество нейтрофилов, которые ранее традиционно считались первой линией защиты от инфекций и практически не рассматривались в контексте регуляции обмена веществ, может меняться в зависимости от циркадных ритмов и метаболических состояний [25].

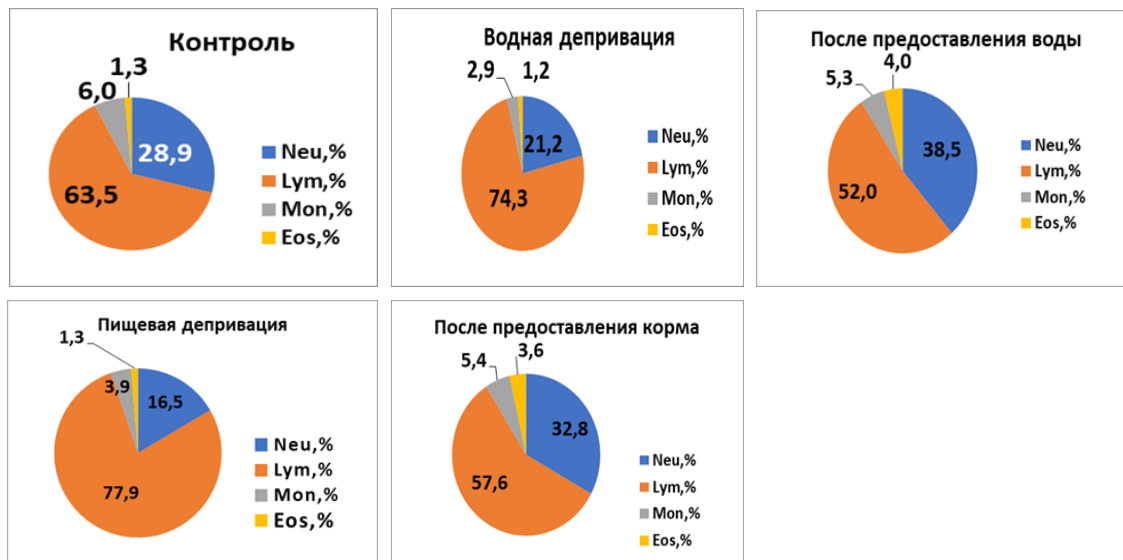


Рисунок 2 – Процентное содержание в крови крыс нейтрофилов (Neu),%, лимфоцитов (Lym), %, моноцитов (Mon), эозинофилов (Eos),% при водной и пищевой депривации, а также после подкрепления

Известно, что количество нейтрофилов, которые ранее традиционно считались первой линией защиты от инфекций и практически не рассматривались в контексте регуляции обмена веществ, может меняться в зависимости от циркадных ритмов и метаболических состояний [25].

В нейтрофилах во внутриклеточных гранулах и везикулах хранятся белки, которые при стимуляции нейтрофилов перемещаются на поверхность клетки и высвобождаются в фагоцитарные вакуоли или во внеклеточное пространство, среди этих белков основные - протеолитические ферменты, в том числе сериновые протеазы, которые являются основными компонентами и высвобождаются в очагах воспаления [26]. В последние годы стало ясно, что сериновые протеазы нейтрофилов действуют как регуляторы клеточной сигнализации и иммунной регуляции [27]. Так, показано, что сериновые протеазы, вырабатываемые нейтрофилами, влияют на активность PAR2, либо сигнализируя о воспалении усиливая их активацию, либо подавляют активность PAR2, через обезоруживание рецептора [28]. Введение СИТ на фоне метаболического стресса приводит к уменьшению количества нейтрофилов и тем самым свидетельствует о уменьшении интенсивности воспалительного ответа за счет снижения активности трипсина в кро-

ви на фоне жажды и голода [17].

Значимое снижение количества моноцитов на фоне введения СИТ в наших исследованиях может быть связано со снижением активности PAR2, что согласуется с данными, где дефицит PAR2 связан с ослаблением атеросклероза и снижает прогрессирование поражений сосудов за счет подавления инфильтрации моноцитами [29].

Важно отметить, что процентное содержание эозинофилов не продемонстрировало достоверных изменений в условиях метаболического стресса, вызванного жаждой и голодом. Последующее предоставление воды и корма привело к статистически значимому увеличению уровня нейтрофилов на 33% ($p<0,05$) и 14%, а также к повышению уровня эозинофилов в 3,1 ($p<0,05$) и 2,8 раза ($p<0,05$) по сравнению с контрольными значениями (рис.2).

Выводы. Таким образом, можно полагать, гематологические показатели крови – одни из информативных показателей в оценке уровня адаптации крыс в условиях метаболического стресса, а введение СИТ позволяет уменьшить негативные последствия голода и жажды.

Описанные изменения клеточного состава крови отражают модулирующее воздействие иммунных процессов при компенсации метаболических изменений, связанных с жаждой и голодом.

Литература

1. Zhao P., Metcalf M., Bunnett N.W. Biased signaling of protease-activated receptors // Front Endocrinol (Lausanne). 2014 May 13; 5: 67. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00067>
2. Chandrabalan A., Ramachandran R. Molecular mechanisms regulating Proteinase-Activated Receptors

- (PARs) // FEBS J. 2021 Apr; 288(8): 2697-2726. <https://doi.org/10.1111/febs.15829>
3. Proteinase-activated receptors: transducers of proteinase-mediated signaling in inflammation and immune response / M. Steinhoff, J. Buddenkotte, V. Shpacovitch, [et al.] // *Endocr Rev.* 2005 Feb; 26(1): 1-43. <https://doi.org/10.1210/er.2003-0025>
 4. Protease-Activated Receptors (PARs): Biology and Therapeutic Potential in Perioperative Stroke / T. Mavridis, T. Choratta, A. Papadopoulou [et al.] // *Transl Stroke Res.* 2025 Jun; 16(3):933-951. <https://doi.org/10.1007/s12975-024-01233-0>
 5. Lee H., Hamilton J.R. Physiology, pharmacology, and therapeutic potential of protease-activated receptors in vascular disease // *Pharmacol Ther.* 2012 May; 134(2): 246-59. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2012.01.007>
 6. Protease-activated receptors in neuronal development, neurodegeneration, and neuroprotection: thrombin as signaling molecule in the brain / T. Rohatgi, F. Sedehizade, K. G. Reymann [et al.] // *Neuroscientist.* 2004 Dec; 10(6): 501-12. <https://doi.org/10.1177/1073858404269955>
 7. Proteinase-activated receptors (PARs) - focus on receptor-receptor-interactions and their physiological and pathophysiological impact / F. Gieseler, H. Ungefroren, U. Settmacher [et al.] // *Cell Commun Signal.* 2013 Nov; 11: 86. <https://doi.org/10.1186/1478-811X-11-86>
 8. Activation of PAR2 promotes high-fat diet-induced renal injury by inducing oxidative stress and inflammation / S. Ha, Y. Yang, B.M. Kim [et al.] // *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.* 2022 Oct 1; 1868(10): 166474. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2022.166474>
 9. PAR2-mediated cellular senescence promotes inflammation and fibrosis in aging and chronic kidney disease / S. Ha, H. W. Kim, K. M. Kim [et al.] // *Aging Cell.* 2024 Aug; 23(8): e14184. <https://doi.org/10.1111/acel.14184>
 10. β -Arrestin-biased proteinase-activated receptor-2 antagonist C781 limits allergen-induced airway hyperresponsiveness and inflammation / H. V. Schiff, C. M. Rivas, W. P. Pederson [et al.] // *Br J Pharmacol.* 2023 Mar; 180(5): 667-680. <https://doi.org/10.1111/bph.15903>
 11. Habibi A., Ruf W., Schurgers L. Protease-activated receptors in vascular smooth muscle cells: a bridge between thrombo-inflammation and vascular remodeling // *Cell Commun Signal.* 2025 Jan; 31: 23(1): 57. <https://doi.org/10.1186/s12964-025-02066-6>
 12. Expression of Proteinase-Activated Receptor 2 During Colon Volvulus in the Horse / C. Lambertini, A. Zannoni, N. Romagnoli [et al.] // *Front Vet Sci.* 2020 Nov 27; 7:589367. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.589367>
 13. The expression of protease-activated receptor 2 and 4 in the colon of irritable bowel syndrome patients. / J. H. Zhao, L. Dong, H. T. Shi [et al.] // *Dig Dis Sci.* 2012 Jan; 57(1): 58-64. <https://doi.org/10.1007/s10620-011-1827-3>
 14. Immune tolerance regulation is critical to immune homeostasis / L. Han, T. Wu, Q. Zhang [et al.] // *J. Immunol. Res.* 2025; 2025: 5006201. DOI: <https://doi.org/10.1155/jimr/5006201>
 15. Nutrition and immune system: from the Mediterranean diet to dietary supplementary through the microbiota / L. Barrea, G. Muscogiuri, E. Frias-Toral [et al.] // *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2021; 61(18): 3066-3090. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1792826>
 16. Berrio J. P., Hestehave S., Kalliokoski O. Reliability of sucrose preference testing following short or no food and water deprivation-a Systematic Review and Meta-Analysis of rat models of chronic unpredictable stress // *Transl Psychiatry.* 2024 Jan 19; 14(1): 39. <https://doi.org/10.1038/s41398-024-02742-0>
 17. Kuzmina I. V., Ovchinnikova N. V., Tolpygo S. M. Activity of the proteolytic enzyme trypsin in rat serum under conditions of water and food deprivation // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2023; 175 (5): 540-544. <https://doi.org/10.47056/0365-9615-2023-175-5-540-544>
 18. Кислова И. В., Овчинникова Н. В., Толпыго С. М. Показатели периферической крови у крыс в условиях жажды и голода // *Патогенез.* 2022. Т. 20. №3. С. 96-97 <https://doi.org/10.25557/2310-0435.2022.03.96-97>
 19. Neutrophils as critical orchestrators of chronic inflammation / K. Torfs, G. Vermeersch, M. Gouwy [et al.] // *Cell Mol Immunol.* 2026 Feb; 23(2): 123-149. <https://doi.org/10.1038/s41423-025-01380-w>
 20. Targeting neutrophil serine proteases in bronchiectasis / J. D. Chalmers, M. A. Mall, S. H. Chotirmall [et al.] // *Eur Respir J.* 2025 Jan 2; 65(1): 2401050. <https://doi.org/10.1183/13993003.01050-2024>
 21. Zavasnik-Bergant T. Cystatin protease inhibitors and immune functions // *Front. Biosci.* 2008. Vol. 1. № 13. P. 4625-4637. <https://doi.org/10.2741/3028>
 22. Trypsin inhibitors: promising candidate satietogenic proteins as complementary treatment for obesity and metabolic disorders? / V. Cristina Oliveira de Lima, G. Piuvezam, B. Leal Lima Maciel [et al.] // *J Enzyme Inhib Med Chem.* 2019 Dec; 34(1): 405-419. <https://doi.org/10.1080/14756366.2018.1542387>
 23. Effect of Soybean Trypsin Inhibitor on Biochemical Parameters of the Blood under Conditions of Water and Food Deprivation in Rats / I. V. Kuzmina, S. M. Tolpygo, B. B. Shoibonov [et al.] // *Bull Exp Biol Med.* 2025 Jan; 178(3): 319-322. <https://doi.org/10.1007/s10517-025-06329-7>
 24. Gironacci M.M., Bruna-Haupt E. Unraveling the crosstalk between renin-angiotensin system receptors // *Acta Physiol (Oxf).* 2024 May; 240(5): e14134. <https://doi.org/10.1111/apha.14134>
 25. Neutrophils preserve energy storage in sympathetically activated adipocytes / S. Son, C. Xu, H. Fu [et al.] // *Nature.* 2026 Feb; 650(8102): 718-726. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09839-6>
 26. Kettritz R. Neutral serine proteases of neutrophils // *Immunol Rev.* 2016 Sep; 273(1): 232-48. <https://doi.org/10.1111/imr.12441>
 27. Meyer-Hoffert U., Wiedow O. Neutrophil serine proteases: mediators of innate immune responses // *Curr Opin Hematol.* 2011 Jan; 18(1): 19-24. <https://doi.org/10.1097/MOH.0b013e32834115d1>
 28. Neutrophil-derived serine proteases induce FOXA2-mediated autophagy dysfunction and exacerbate colitis-associated carcinogenesis via protease activated receptor 2 / J. Yuan, J. Ma, F. Zhang, T. Wang [et al.] // *Autophagy.* 2025 Oct; 21(10): 2130-2147. <https://doi.org/10.1080/15548627.2025.2489335>
 29. PAR2 (Protease-Activated Receptor 2) Deficiency Attenuates Atherosclerosis in Mice / S. M. Jones, A. Mann, K. Conrad [et al.] // *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2018 Jun; 38(6): 1271-1282. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.117.3100822>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ. Госзадание FGFW-2022-0002

Сведения об авторах:

Кузьмина Ирина Викторовна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фармакологии кровообращения, e-mail: kuzmina_iv@academpharm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6399-6886>
Толпыго Светлана Михайловна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории фармакологии психических заболеваний, e-mail: tolpygo_sm@academpharm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7061-6706>

Тарабрина Наталья Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории фармакологии кровообращения, e-mail: tarabrina_nv@academpharm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9877-2161>

ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий», г. Москва, Россия

EFFECTS OF SOYBEAN TRYPSIN INHIBITOR ON HEMATOLOGICAL PARAMETERS UNDER WATER AND FOOD DEPRIVATION IN RATS

I. V. Kuzmina, S. M. Tolpygo, N. V. Tarabrina

Abstract. Proteases such as thrombin, trypsin and cathepsin G have been shown to play a key role not only in protein breakdown in the extracellular space, but also in the regulation of various physiological processes. Their functions are mediated by interactions with protease-activated receptors (PARs), which are widely expressed in various organs and tissues. Serine proteases circulating in the blood typically exhibit no enzymatic activity due to the presence of inhibitory proteins, which prevents their interaction with PARs. Currently, exogenous protease inhibitors are also known, such as soybean trypsin inhibitor, which can slow down the processes of hemostasis, fibrinolysis and platelet aggregation. Previous studies have shown a relationship between blood biochemical parameters and the activity of trypsin, the main PAR2 agonist, in the blood during water and food deprivation against the background of soybean trypsin inhibitor administration. However, effect of soybean trypsin inhibitor administration on hematological parameters under various forms of deprivation remains poorly understood. In this regard, this study demonstrates the effect of soybean trypsin inhibitor on hematological parameters in rats under water and food deprivation. It was found that during water deprivation against the background of additional soybean trypsin inhibitor administration, an increase in leukocyte levels by 38% ($p < 0.05$), hemoglobin by 13%, hematocrit by 11% and a decrease in platelet count by 14% were observed. At the same time, food deprivation resulted in opposite changes, with a 20% decrease in leukocyte count, 5% in hemoglobin, 8% in hematocrit and 25% in platelets ($p < 0.05$). Thus, hematological parameters are significant informative indicators for assessing compensatory and adaptive processes in rats under metabolic stress (hunger and thirst), and the introduction of STI can reduce its negative consequences.

Key words: trypsin, soybean trypsin inhibitor, serine proteases, hematological parameters, deprivation, rats.

For citation: Kuzmina I.V., Tolpygo S.M., Tarabrina N.V. Effects of soybean trypsin inhibitor on hematological parameters under water and food deprivation in rats. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 55-61. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_55

References

1. Zhao P, Metcalf M, Bunnett NW. Biased signaling of protease-activated receptors. Front Endocrinol (Lausanne). 2014; May 13. 5. 67 p. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00067>
2. Chandrabalan A, Ramachandran R. Molecular mechanisms regulating Proteinase-Activated Receptors (PARs). FEBS J. 2021; Apr. 288(8). 2697-2726 p. <https://doi.org/10.1111/febs.15829>
3. Steinhoff M, Buddenkotte J, Shpacovitch V. Proteinase-activated receptors: transducers of proteinase-mediated signaling in inflammation and immune response. Endocr Rev. 2005; Feb. 26(1). 1-43 p. <https://doi.org/10.1210/er.2003-0025>
4. Mavridis T, Choratta T, Papadopoulou A. Protease-Activated Receptors (PARs): Biology and therapeutic potential in perioperative stroke. Transl Stroke Res. 2025. Jun. 16(3). 933-951 p. <https://doi.org/10.1007/s12975-024-01233-0>
5. Lee H, Hamilton JR. Physiology, pharmacology, and therapeutic potential of protease-activated receptors in vascular disease. Pharmacol Ther. 2012 May. 134(2). 246-59 p. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2012.01.007>
6. Rohatgi T, Sedehezade F, Reymann KG. Protease-activated receptors in neuronal development, neurodegeneration and neuroprotection: thrombin as signaling molecule in the brain. Neuroscientist. 2004; Dec. 10(6). 501-12 p. <https://doi.org/10.1177/1073858404269955>
7. Gieseler F, Ungefroren H, Settmacher U. Proteinase-activated receptors (PARs) - focus on receptor-receptor-interactions and their physiological and pathophysiological impact. Cell Commun Signal. 2013; Nov. 11. 86 p. <https://doi.org/10.1186/1478-811X-11-86>
8. Ha S, Yang Y, Kim BM. Activation of PAR2 promotes high-fat diet-induced renal injury by inducing oxidative stress and inflammation. Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis. 2022; Oct 1. 1868(10). 166474 p. <https://doi.org/10.1016/j.bbdis.2022.166474>
9. Ha S, Kim HW, Kim KM. PAR2-mediated cellular senescence promotes inflammation and fibrosis in aging and chronic kidney disease. Aging Cell. 2024; Aug. 23(8). e14184 p. <https://doi.org/10.1111/acel.14184>
10. Schiff HV, Rivas CM, Pederson WP. β -Arrestin-biased proteinase-activated receptor-2 antagonist C781 limits allergen-induced airway hyperresponsiveness and inflammation. Br J Pharmacol. 2023; Mar. 180(5). 667-680 p. <https://doi.org/10.1111/bph.15903>
11. Habibi A, Ruf W, Schurgers L. Protease-activated receptors in vascular smooth muscle cells: a bridge between thrombo-inflammation and vascular remodeling. Cell Commun Signal. 2025; Jan. 31. 23(1). 57 p. <https://doi.org/10.1186/s12964-025-02066-6>
12. Lambertini C, Zannoni A, Romagnoli N. Expression of Proteinase-Activated Receptor 2 during colon volvulus in the horse. Front Vet Sci. 2020; Nov 27. 7. 589367 p. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.589367>
13. Zhao JH, Dong L, Shi HT. The expression of protease-activated receptor 2 and 4 in the colon of irritable bowel syndrome patients. Dig Dis Sci. 2012; Jan. 57(1). 58-64 p. <https://doi.org/10.1007/s10620-011-1827-3>
14. Han L, Wu T, Zhang Q. Immune tolerance regulation is critical to immune homeostasis. J. Immunol. Res. 2025; 5006201 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/jimr/5006201>
15. Barrea L, Muscogiuri G, Frias-Toral E. Nutrition and immune system: from the Mediterranean diet to dietary supplementation through the microbiota. Crit Rev Food Sci Nutr. 2021; 61(18). 3066-3090 p. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1792826>
16. Berrio JP, Hestehave S, Kalliokoski O. Reliability of sucrose preference testing following short or no food and water deprivation-a Systematic Review and Meta-Analysis of rat models of chronic unpredictable stress. Transl Psychiatry. 2024; Jan 19. 14(1). 39 p. <https://doi.org/10.1038/s41398-024-02742-0>

17. Kuzmina IV, Ovchinnikova NV, Tolpygo SM. Activity of the proteolytic enzyme trypsin in rat serum under conditions of water and food deprivation. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2023; 175 (5). 540-544 p. <https://doi.org/10.47056/0365-9615-2023-175-5-540-544>
18. Kislova IV, Ovchinnikova NV, Tolpygo SM. [Peripheral blood parameters of rats under conditions of thirst and hunger]. *Patogenez*. 2022; Vol.20. 3. 96-97 p. <https://doi.org/10.25557/2310-0435.2022.03.96-97>
19. Torfs K, Vermeersch G, Gouwy M. Neutrophils as critical orchestrators of chronic inflammation. *Cell Mol Immunol*. 2026; Feb. 23(2). 123-149 p. <https://doi.org/10.1038/s41423-025-01380-w>
20. Chalmers JD, Mall MA, Chotirmall SH. Targeting neutrophil serine proteases in bronchiectasis. *Eur Respir J*. 2025; Jan 2. 65(1). 2401050 p. <https://doi.org/10.1183/13993003.01050-2024>
21. Zavasnik-Bergant T. Cystatin protease inhibitors and immune functions. *Front. Biosci*. 2008; Vol.1. 13. 4625-4637 p. <https://doi.org/10.2741/3028>
22. Cristina Oliveira de Lima V, Piuvezam G, Leal Lima Maciel B. Trypsin inhibitors: promising candidate satietogenic proteins as complementary treatment for obesity and metabolic disorders? *J Enzyme Inhib Med Chem*. 2019; Dec. 34 (1). 405-419 p. <https://doi.org/10.1080/14756366.2018.1542387>
23. Kuzmina IV, Tolpygo SM, Shoibonov BB. Effect of soybean trypsin inhibitor on biochemical parameters of the blood under conditions of water and food deprivation in rats. *Bull Exp Biol Med*. 2025; Jan. 178(3). 319-322 p. <https://doi.org/10.1007/s10517-025-06329-7>
24. Gironacci MM, Bruna-Haupt E. Unraveling the crosstalk between renin-angiotensin system receptors. *Acta Physiol (Oxf)*. 2024; May. 240 (5). e14134. <https://doi.org/10.1111/apha.14134>
25. Son S, Xu C, Fu H. Neutrophils preserve energy storage in sympathetically activated adipocytes. *Nature*. 2026; Feb. 650(8102). 718-726 p. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09839-6>
26. Kettritz R. Neutral serine proteases of neutrophils. *Immunol Rev*. 2016; Sep. 273(1). 232-48 p. <https://doi.org/10.1111/imr.12441>
27. Meyer-Hoffert U, Wiedow O. Neutrophil serine proteases: mediators of innate immune responses. *Curr Opin Hematol*. 2011; Jan. 18(1). 19-24 p. <https://doi.org/10.1097/MOH.0b013e32834115d1>
28. Yuan J, Ma J, Zhang F, Wang T. Neutrophil-derived serine proteases induce FOXA2-mediated autophagy dysfunction and exacerbate colitis-associated carcinogenesis via protease activated receptor 2. *Autophagy*. 2025; Oct. 21 (10). 2130-2147 p. <https://doi.org/10.1080/15548627.2025.2489335>
29. Jones SM, Mann A, Conrad K. PAR2 (Protease-Activated Receptor 2) deficiency attenuates atherosclerosis in mice. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2018; Jun. 38 (6): 1271-1282 p. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.117.3100822>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. This work was supported by Ministry of Education and Science of the Russian Federation. State Contract FGFW-2022-0002.

Authors:

Kuzmina Irina Viktorovna* – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of Laboratory of Circulation Pharmacology, e-mail: kuzmina_iv@academpharm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6399-6886>

Tolpygo Svetlana Mikhaylovna – Ph.D. of Medical Sciences, leading researcher of Laboratory of Mental Disorders' Pharmacology, e-mail: tolpygo_sm@academpharm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7061-6706>

Tarabrina Natalya Vladimirovna – junior researcher of Laboratory of Circulation Pharmacology, e-mail: tarabrina_nv@academpharm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9877-2161>

Federal Research Center of Original and Advanced Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russia.

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИНАМИКА ГИПОФАРИНГЕАЛЬНЫХ ЖЕЛЁЗ РАБОЧИХ ПЧЁЛ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К АКТИВНОМУ СЕЗОНУ

Ю. Н. Кутлин, А. Г. Маннапов

Реферат. Морфофункциональная динамика гипофарингеальных (глоточных) желез рабочих пчёл *Apis mellifera* L. среднерусской породы исследована в весенний период с 20 марта по 15 июня с использованием последовательной морфометрии и интегральной балльной оценки. Применялись стандартизованная выборка (36 пчел в пробе, две подгруппы по 18 особей), световая и электронная микроскопия, щелочная диссоциация для подсчёта альвеол и балльная шкала развития по методике Гесса. Получены статистически значимые ($p \geq 0,99$; $p \geq 0,999$) данные о реконструкции секреторной ткани: среднее число альвеол выросло с 115,60 до 246,52 шт., длина альвеолы — с 144,28 до 230,32 мкм, ширина — с 138,44 до 189,68 мкм, диаметр выводного протока — с 6,52 до 9,26 мкм, интегральный балл развитости — с 2,90 до 3,94. Наиболее интенсивный прирост отмечен в ранний весенний период между 20 марта и 12 апреля. Результаты свидетельствуют о сочетании гипертрофии и организационного увеличения секреторной площади, одновременном расширении выводных протоков и высокой однородности выборки (низкий коэффициент изменчивости), что отражает адаптацию семей к возрастанию потребности в маточном молочке при интенсивном выращивании расплода. Новизна исследований состоит в комплексном количественном изучении сезонной динамики гипофарингеальных желез, в пяти фиксированных временных точках, с учётом организационно-технологических факторов содержания. Полученные данные имеют практическое значение для оптимизации подкормки и ветеринарно-технологических мероприятий на пасеках.

Ключевые слова: гипофарингеальная железа, ультраструктура секретирующие клетки, ацинус, альвеолы.

Для цитирования: Кутлин Ю.Н., Маннапов А.Г. Морфофункциональная динамика гипофарингеальных желез рабочих пчёл при переходе к активному сезону // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 62-68. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_62

Введение. Сезонная динамика морфофункционального состояния гипофарингеальных (глоточных) желез рабочих пчел напрямую определяет способность семьи производить корм для личинок и, как следствие, влияет на воспроизводство и продуктивность пасеки. В период после выхода расплода из ячеек наблюдается быстрая изменения секреторной ткани, сопровождающаяся изменением количества и размеров альвеол, толщины секреторного эпителия и просвета выводных протоков. Эти морфометрические параметры служат объективными показателями функциональной готовности к интенсивному выращиванию расплода и образованию «пчелиного молочка» [1, 2].

Изучение временных закономерностей гипофарингеальных желез имеет практическое значение для разработки оптимальных графиков подкормки и ветеринарно-технологических мероприятий, направленных на повышение продуктивности и устойчивости семей в разные периоды сезона [3, 4].

Несмотря на имеющиеся исследования, описывающие общие тенденции сезонной активности гипофарингеальных желез у различных таксонов пчел рода *Apis* в разных климатических зонах, количественные характеристики динамики морфометрических показателей среднерусской породы пчел в конкретные фиксированные сроки после выхода из зимовки изучены недостаточно [5, 6]. В литературе часто описываются отдельные наблюдения или даются качественные характеристики, тогда как систематическое количественное

сопоставление динамики числа альвеол, линейных размеров и диаметра выводного протока с интегральной оценкой степени развития желез на одних и тех же выборках в разные периоды проводится редко. Кроме того, не всегда учитывается влияние организационно-технологических условий содержания (однородность ульев, режим подкормки, отбор проб из разных семей) на воспроизводимость морфометрических данных, что затрудняет практическое применение результатов на пасеках [7, 8, 9].

Научная новизна данной работы заключается в проведении комплексного количественного анализа сезонной динамики гипофарингеальных желез рабочих пчел среднерусской породы в пять строго фиксированных сроков после выхода из зимовки (с 20 марта по 15 июня) с применением стандартизированной методики отбора проб, морфометрии и интегральной балльной оценки развития желез. Полученные данные позволяют оптимизировать сроки и состав подкормок, ветеринарно-технологические мероприятия и мониторинг готовности семей к интенсивному выращиванию расплода — в частности, указывают на критический период активизации желез в интервале с 20 марта по 12 апреля и необходимость усиленной поддержки семей в этот период.

Гипофарингеальная железа у рабочих пчел она состоит из множества мелких трубочек, заканчивающихся альвеолами — маленькими овально-мешковидными структурами, образованными секреторными клетками. Альвеолы

имеют тонкие выводные протоки, через которые секрет попадает в ротовую полость пчелы. Морфологически альвеолы являются элементарными структурными единицами секреторных отделов железы формирующих

ее паренхиму. Ацинус — это более крупная структурная единица, которая объединяет несколько альвеол, имеющих общий выводной проток, представлен на рисунках 1-4 [10].

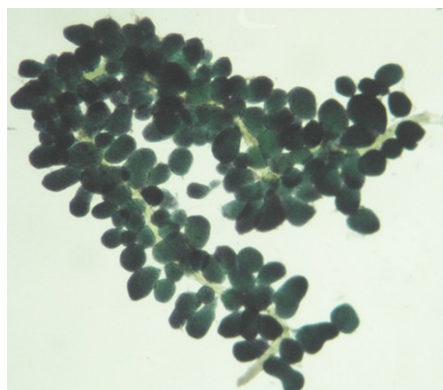


Рисунок 1 - Правая половина глоточной железы. Окраска азаном по Гейденгайну. Ув. 120.

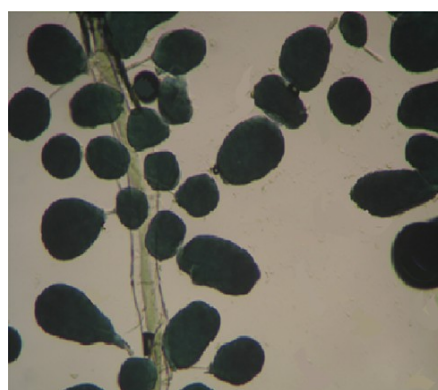


Рисунок 2 - Альвеолы — маленькие овально-мешковидные структуры. Ув. 180.

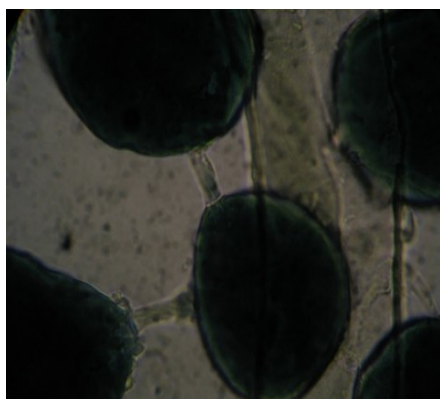


Рисунок 3 - Объединение альвеол в ацинусы. Ув. 200

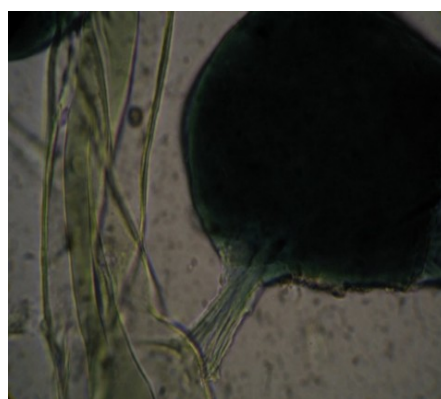


Рисунок 4 - Ацинусы. Ув. 300.

Цель исследования — количественная оценка сезонной динамики морфофункционального состояния гипофарингеальных желез рабочих пчел (*Apis mellifera L.*, среднерусская порода) в весенний период с 20 марта по 15 июня, с помощью последовательной морфометрии и интегральной балльной оценки.

Условия, материалы и методы. В соответствии с поставленной целью проведено морфологическое исследование гипофарингеальных желёз рабочих пчёл весенней генерации среднерусской пород, включающее анализ гистологической структуры и ультраструктуры. Пробы отбирали в пять строго фиксированных сроков: 20 марта (исходная группа, перезимовавшие пчёлы), 12 апреля, 3 мая, 24 мая и 15 июня 2023 и 2024 годов.

Исследования выполнялись на кафедре частной зоотехнии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, пробы отбирались на пасеках Бирского района Республики Башкортостан, электронная микроскопия проводилась в Российском центре глазной и пластической хирургии (г. Уфа).

Образцы отбирали из семей с 9–10 улочками и матками в возрасте 1,5 года. Весенний

генерацию в ульях было по 7-8 кг кормового меда. Каждая проба состояла из 36 пчел и делилась на две равные группы по 18 особей. Первая группа подвергалась щелочной диссоциации для подсчета альвеол, вторая — использовалась для морфологических и ультраструктурных исследований.

Для световой морфологии использовали полутонкие срезы ультратома, окрашенные эозином и метиленовым синим, а также парафиновые срезы, обработанные гематоксилином и эозином, азуром II с эозином. Количество и площадь ацинусов, а также соотношение соединительной ткани и паренхимы определяли с помощью окулярной сетки по методике Г.Г. Автандилова (1973), полученные количественные данные приводились в процентах [10, 11].

Для электронной микроскопии головы пчел (рис. 5-8) разрезали на фрагменты площадью примерно 1 мм² и фиксировали в 2% растворе глутарового альдегида на фосфатном буфере Миллони (pH 7,2–7,4) в течение 2 часов, затем трижды промывали тем же буфером и дополнительно фиксировали в 1% растворе тетроксид осмия на аналогичном буфе-

ре в течение 1 часа. Образцы обезживали в спиртах возрастающей концентрации и в абсолютном ацетоне, затем заливали в эпон-812 по стандартной методике. Ультратонкие срезы готовили на ультрамикротоме LKB-III (Швеция), контрастировали 2% раствором

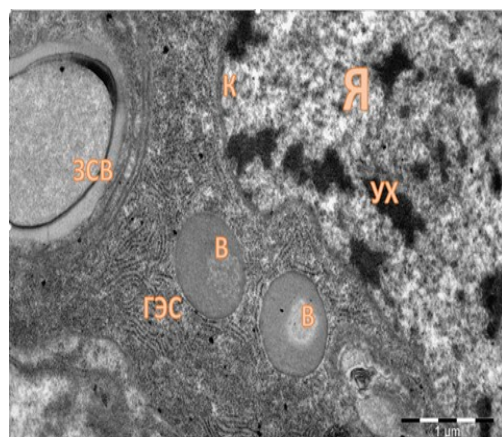


Рисунок 5 - Ультраструктура секреторной клетки акинуса гипофарингеальной железы рабочей пчелы в конце зимовки.

В рисунке 5 и 6 показано ультраструктурная организация секреторной клетки рабочей пчелы в конце зимовки. Срез секреторной клетки акинуса, в которой преобладает крупное ядро (Я) с выраженной зональной структурой хроматина, содержит в основном эухроматин, но с локальными плотными участками (УХ). Такое распределение указывает на пониженный, остаточный уровень транскрипционной активности, часть генетического материала «конденсирована» и недоступна для интенсивного транскрибирования.

Кариолема (К) четко просматривается, без явных крупноочаговых разрывов на данном участке изображения. Гранулярная эндоплазматическая сеть (ГЭС) представлена цистернами и пучками мембран с прикрепленными рибосомами, но их плотность и выраженность снижены по сравнению с активным секреторным состоянием - это отражает ослабление белоксинтетической функции. Везикулы (В) и зрелые секреторные везикулы (ЗСВ) в цитоплазме присутствуют отдельные везикулы различной электронной плотности, однако их количество невелико по сравнению с периодом высокой секреторной активности. На рисунке 6 показан участок цитоплазмы секреторной клетки с выраженной вакуолизацией и многочисленными мембранными структурами, часть из которых разрушается. На снимке присутствуют как элементы гранулярной эндоплазматической сети (ГЭС), так и агранулярного (АЭС). АЭС выглядит как скопление мембранных цистерн без рибосом, отдельные участки эндоплазматической сети вакуолизированы и фрагментированы. Это свидетельствует о нарушении и начале деградации синтетической функции клетки. Встречаются везикулы и зрелые везикулы, часть из

уриилацетата и цитратом свинца по Рейнольдсу и фотографировали в электронном микроскопе Jem-1011 (Jeol, Япония) при увеличении 2500–25000 в Российском центре глазной и пластической хирургии в лаборатории морфологии (г. Уфа).

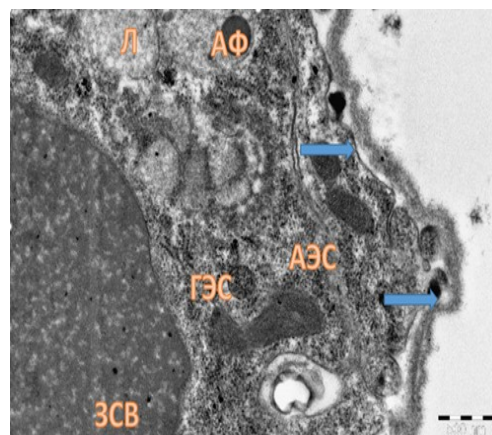


Рисунок 6 - Ультраструктура секреторной клетки акинуса гипофарингеальной железы рабочей пчелы в конце зимовки.

них может иметь разную электронную плотность - это остаточные и частично деградировавшие секреторные структуры.

Присутствуют округлые мембранные структуры с электронно-плотным содержимым - аутофагосомы и лизосомоподобные тельца. Они указывают на активные процессы аутофагом, т.е. лизосомальной деградации внутриклеточных компонентов. Часто видны слипшиеся клетки и остаточные тельца.

По периферии клетки отмечены локальные разрывы плазматической мембраны и мелкие пузырьки (на изображении обозначены стрелками).

Выраженная вакуолизация цитоплазмы - большие пространства (вакуоли) с различным содержимым, что характерно для деградации органелл и накопления продуктов распада.

Оба изображения демонстрируют морфологию секреторной клетки в состоянии пониженной функциональной активности и активной переработки внутриклеточных компонентов в конце зимовки. Подчеркивает снижение транскрипционно-синтетической активности (уплотнение хроматина, уменьшение размеров ГЭС и количества секреторных элементов).

На рисунке 7 и 8 показаны ультраструктурная организация секреторной клетки акинуса гипофарингеальной железы рабочей пчелы весенней генерации. Секреторная клетка с непрерывным циклом секреции компонентов маточного молочка, видно активное формирование, созревание и экзоцитоз секреторных гранул. Показано существенное увеличение и накопление, зрелые секреторные везикулы (ЗСВ), зрелых электронно-плотных секреторных гранул (ЭПСГ) различной величины, преимущественно в апикальной зоне цитоплазмы.

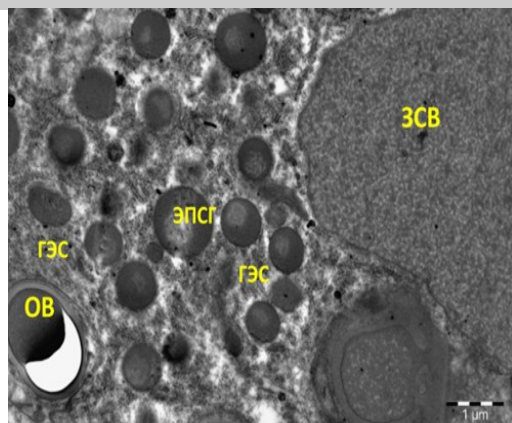


Рисунок 7 - Ультраструктурная организация секреторной клетки ацинуса гипофарингеальной железы пчелы весенний группы.

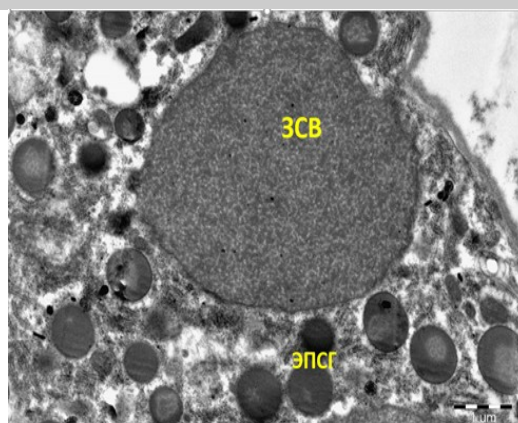


Рисунок 8 - Ультраструктурная организация секреторной клетки ацинуса гипофарингеальной железы пчелы весенний группы.

Интегральная оценка развитости для суммарной характеристики состояния железы применяли балльную шкалу развитости по методике Гесса: 1 — выраженная атрофия; 2 — слабая развитость; 3 — средняя развитость; 4 — высокая развитость. Баллы присваивали слепым образом по заранее описанным морфологическим критериям (размер альвеол, плотность расположения, выраженность секреторного эпителия и диаметр протока). Все оценки выполнялись двумя независимыми экспертами, при расхождении менее 10% проводилось повторное обсуждение и пересмотр.

Обработку данных проводили с применением стандартного пакета для статистического анализа. Для каждой группы рассчитывали среднее (М) и стандартную ошибку среднего (m), а также коэффициент вариации (Cv, %).

Уровни статистической значимости задавались как: $p \geq 0,99$, - высоко значимо; $p \geq 0,999$ - крайне значимо.

Результаты и обсуждение. В таблице представлены динамические изменения морфометрических показателей альвеол гипофарингеальной (глотовой) железы рабочих пчёл среднерусской породы в последовательные весенне-летние сроки: 20 марта (перезимовавшие), 12 апреля, 3 мая, 24 мая и 15 июня. В исходной группе перезимовавших пчёл (20 марта) среднее число альвеол на единицу составило 115,60 шт., длина секреторной клетки ацинуса — 144,28 мкм, ширина секреторной клетки ацинуса — 138,44 мкм, диаметр выводного протока — 6,52 мкм, степень развитости — 2,90 балла.

Таблица – Динамика гипофарингеальных желез у 9-ти суточных рабочих пчёл после зимовки

Альвеолы железы: показатели	Стат. показатель	Сроки				
		20 марта перезимовавшие (n=18)	12 апреля (n=18)	03 мая (n=18)	24 мая (n=18)	15 июня (n=18)
Количество альвеол, шт.	М	115,60	185,28***	208,32***	218,48***	246,52***
	±m	0,76	1,82	0,79	2,02	1,74
	Cv, %	0,66	0,98	0,38	0,92	0,71
Длина секреторной клетки ацинуса, мкм	М	144,28	219,72***	220,12***	226,80***	230,32***
	±m	1,02	1,51	2,06	1,18	1,22
	Cv, %	0,71	0,69	0,94	0,52	0,53
Ширина секреторной клетки ацинуса, мкм	М	138,44	187,12***	186,88***	188,32***	189,68***
	±m	1,51	1,32	2,22	1,98	1,62
	Cv, %	1,09	0,71	1,19	1,05	0,85
Диаметр выводного протока, мкм	М	6,52	7,12**	8,20***	8,96***	9,26***
	±m	0,18	0,13	0,15	0,23	0,22
	Cv, %	2,76	1,83	1,83	2,57	2,48
Степень развитости, балл	М	2,90	3,72***	3,78***	3,87***	3,94***
	±m	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
	Cv, %	2,07	1,08	0,79	0,52	0,51

Примечание: *** - $p \geq 0,999$; ** - $p \geq 0,99$, по сравнению перезимовавшей группой пчел

В период после выхода из зимовки наблюдался устойчивый и выраженный рост всех исследованных показателей. Уже к 12 апреля среднее количество альвеол увеличилось до 185,28, при этом статистически значимое отличие от показателей перезимовавшей группы было крайне выраженным ($p \geq 0,999$). Аналогичным образом отмечался резкий прирост длины секреторной клетки ацинуса – 219,72 мкм, ее ширины – 187,12 мкм, диаметра выводного протока – 7,12 мкм ($p \geq 0,99$) и степени развития – 3,72 балла. В последующие сроки 3 мая, 24 мая и 15 июня все показатели продолжали расти: количество альвеол — 208,32 → 218,48 → 246,52 шт.; средняя длина секреторной клетки ацинуса — 220,12 → 226,80 → 230,32 мкм; ширина клеток — 186,88 → 188,32 → 189,68 мкм; диаметр выводного протока — 8,20 → 8,96 → 9,26 мкм; интегральный балл развитости — 3,78 → 3,87 → 3,94. В большинстве сравнений с исходной (перезимовавшей) группой различия были статистически высоко значимы ($p \geq 0,999$). В целом полученные данные свидетельствуют о непрерывном восстановлении и дальнейшем укреплении секреторного аппарата гипофарингеальной железы после зимовки.

Наиболее интенсивная перестройка наблюдается в ранневесенний период, с 20 марта по 12 апреля, что свидетельствует о быстром переходе от состояния относительной атрофии к активной секреторной функции при улучшении внешних условий и возрастании потребности в кормлении расплода. Рост количества альвеол со 115,60 до 246,52 к 15 июня свидетельствует не только о гипертрофии отдельных секреторных клеток, но и об организационном увеличении общей секреторной площади железы. Одновременное увеличение длины и ширины секреторной клетки ацинуса альвеол показывает, что рост происходит и по продольному, и по поперечному измерению, то есть альвеолы увеличиваются в объеме, что коррелирует с повышением синтетической способности железы.

Увеличение диаметра выводного протока с 6,52 до 9,26 мкм указывает на морфологиче-

скую адаптацию, облегчающую транспорт и выделение секрета при возрастающей секреции. Значимость прироста уже к 12 апреля ($p \geq 0,99$) показывает, что изменения протоковой системы начинается одновременно с ростом ацинусов.

Рост интегрального балла развитости от 2,90 до 3,94 отражает суммарное улучшение морфофункционального состояния железы. Низкие коэффициенты вариации по всем точкам указывают на высокую однородность выборки и воспроизводимость эффекта.

Быстрая реакция желез в апреле-мае согласуется с биологическими потребностями пчелиной семьи.

С началом выращивания расплода и увеличением потребности в маточном молочке гипофарингеальные клетки испытывают повышенную функциональную нагрузку, что приводит к быстрому увеличению количества и объема альвеол. Полученные данные соответствуют типичной сезонной динамике развития рабочих пчел при переходе от зимнего состояния к активному рабочему периоду. Уровни значимости $p \geq 0,999$ и $p \geq 0,99$ подтверждают высокую статистическую значимость отличий по сравнению с группой пчел, переживших зиму. Это свидетельствует о достоверности зарегистрированных изменений и их характерности для исследуемой популяции при данных условиях содержания и кормления.

Вывод. В период с марта по июнь (весна-лето) гипофарингеальные железы рабочих пчел среднерусской породы заметно восстанавливаются, и их морфологическая и функциональная структура продолжает формироваться. Наиболее интенсивные изменения происходят ранней весной (в апреле), что отражает физиологическую адаптацию семьи к возрастающей потребности в секрете для выращивания расплода. Высокие показатели и их статистическая значимость подчеркивают необходимость регулярного контроля состояния гипофарингеальных желез при оценке готовности пчелиных семей к наиболее активному летнему сезону.

Литература

1. Биологическая активность компонентов пчелиного маточного молочка и пчелиного яда / С. Г. Марданлы, В. В. Помазанов, В. А. Киселева, Я. Б. Нескородов // Фармация и фармакология. 2018. Т. 6. № 5. С. 419-439. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2018-6-5-419-439>. EDN VLOVIO.
2. Войтюк М. М., Виноградов П. Н. Новые технологические решения круглогодичного содержания пчелиных семей в передвижных павильонах // Техника и оборудование для села. 2022. № 5(299). С. 32-35. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-5-32-34>. EDN КМНТUK.
3. Афанасьев В. И. Российское пчеловодство: состояние, тенденции развития и эффективность // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 5(62). С. 128-136. <https://doi.org/10.33938/205-128>. EDN OXMFBB.
4. Регулируемый обогрев расплодной части гнезда пчел при ранневесеннем развитии / В. А. Чучунов, Е. Б. Радзиевский, А. Т. Варакин, В. А. Петрухин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3(81). С. 372-378. — <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-03-41>. EDN FADYQY.
5. Гайфуллина Л. Р., Салтыкова Е. С., Николенко А. Г. Действие имидаклоприда на индивидуальную устойчивость медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.) // Агрохимия. 2017. № 2. С. 40-47. EDN YFSKRP.
6. Зеленина О. В. Взаимосвязь условий медосбора с численностью и продуктивностью пчелиных семей // Аграрный научный журнал. 2025. № 2. С. 88-92. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp88-92>. EDN MBFCUZ.

7. Закономерности развития пчелиных семей, секреции молочка глоточными железами и содержание аминокислот в гемолимфе пчел-кормилиц при подкормке с пребиотиком Orafit Synergy / А. Г. Маннапов, А. А. Худайбердиев, Ю. А. Юлдашбаев, Р. Т. Маннапова // Зоотехния. 2021. № 11. С. 27-32. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.94.70.008>. EDN SMMDNU.

8. Дефенсины в противомикробной защите медоносной пчелы / Р. А. Ильясов, Л. Р. Гайфуллина, Е. С. Салтыкова [и др.] // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2012. Т. 48, № 5. С. 425-432. EDN PBUKRX.

9. Левченко М. А., Левченко А. М. К вопросу о концепции использования электронных систем для своевременного выявления проблем на удаленных пасеках // Ветеринария Кубани. 2025. № 5. С. 43-48. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2025-5-43-48>. EDN ZYGLOB.

10. Кутлин Ю. Н., Маннапов А. Г. Структурная адаптация гипофарингеальной железы осенних пчел в условиях зимнего покоя // Известия Горского государственного аграрного университета. 2025. Т. 62-2. С. 39-47. https://doi.org/10.54258/20701047_2025_62_2_39. EDN XMMXUU.

11. Novel Insight Into the Development and Function of Hypopharyngeal Glands in Honey Bees / S. Ahmad, S. A. Khan, K. A. Khan, J. Li // Front. Physiol. 2021. 11: 615830. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.615830>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Кутлин Юрий Николаевич* – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, экологии и химии, e-mail: yura-0481@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6107-9213>.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия.

Маннапов Альфир Габдуллович – доктор биологических наук, профессор кафедры частной зоотехнии, e-mail: 54alfir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5093-9740>.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

MORPHOFUNCTIONAL DYNAMICS OF HYPOPHARYNGEAL GLANDS OF BEES DURING THE TRANSITION TO THE ACTIVE SEASON

Yu. N. Kutlin, A. G. Mannapov

Abstract. Morphofunctional dynamics of hypopharyngeal (pharyngeal) glands of bees (*Apis mellifera* L.) of Central Russian breed were studied during the spring period from March 20 to June 15 using sequential morphometry and an integrated scoring system. A standardized sample (36 bees per sample, two subgroups of 18 individuals), light and electron microscopy, alkaline dissociation for alveolar counting and a developmental scoring system based on the Hess method were used. Statistically significant ($p \geq 0.99$; $p \geq 0.999$) data on the reconstruction of the secretory tissue were obtained: the average number of alveoli increased from 115.60 to 246.52 pcs., the length of alveoli - from 144.28 to 230.32 μm , the width - from 138.44 to 189.68 μm , the diameter of excretory duct - from 6.52 to 9.26 μm , the integral score of development - from 2.90 to 3.94. The most intensive increase was noted in the early spring period between March 20 and April 12. The results indicate a combination of hypertrophy and organizational increase in the secretory area, simultaneous expansion of the excretory ducts and high homogeneity of the sample (low coefficient of variability), which reflects the adaptation of families to the increasing need for royal jelly during intensive brood rearing. The novelty of research lies in the comprehensive quantitative study of the seasonal dynamics of hypopharyngeal glands at five fixed time points, taking into account organizational and technological factors of management. Obtained data have practical significance for optimizing feeding and veterinary-technological measures in apiaries.

Key words: hypopharyngeal gland, ultrastructure, secreting cells, acinus, alveoli.

For citation: Kutlin Yu.N., Mannapov A.G. Morphofunctional dynamics of hypopharyngeal glands of bees during the transition to the active season. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 62-68. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_62

References

1. Mardanly SG, Pomazanov VV, Kiseleva VA, Neskorodov YaB. [Biological activity of royal jelly and bee venom components]. Farmatsiya i farmakologiya. 2018; Vol.6. 5. 419-439 p. <http://doi.org/10.19163/2307-9266-2018-6-5-419-439>. EDN VLOVIO.

2. Voytyuk MM, Vinogradov PN. [New technological solutions for year-round maintenance of bee colonies in mobile pavilions]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2022; 5(299) 32-35 p. <http://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-5-32-34>. EDN KMHTUK.

3. Afanasev VI. [Russian beekeeping: status, development trends and efficiency]. Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve. 2020; 5(62). 128-136 p. <http://doi.org/10.33938/205-128>. EDN OXMFBB.

4. Chuchunov VA, Radzievskiy EB, Varakin AT, Petrukhin VA. [Adjustable heating of the brood part of bee nest during early spring development]. Izvestiya Nizhnevolszhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2025; 3(81) 372-378 p. <http://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-03-41>. EDN FADYQY.

5. Gayfullina LR, Saltykova ES, Nikolenko AG. [The effect of imidacloprid on individual resistance of honey bees (*Apis mellifera* L.)]. Agrokimiya. 2017; 2. 40-47 p. EDN YFSKRP.

6. Zelenina OV. [Relationship between honey collection conditions and the number and productivity of bee colonies]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2025; 2. 88-92 p. <http://doi.org/10.28983/asj.2025i2pp88-92>. EDN MBCFUZ.

7. Mannapov AG, Khudayberdiev AA, Yuldashbaev YuA, Mannapova RT. [Patterns of development of bee colonies, secretion of royal jelly by the pharyngeal glands and the content of amino acids in the hemolymph of nurse bees fed with the prebiotic Orafit Synergy]. Zootekhnika. 2021; 11. 27-32 p. <http://doi.org/10.25708/ZT.2021.94.70.008>. EDN SMMDNU.

8. Ilyasov RA, Gayfullina LR, Saltykova ES. [Defensins in anti-infection defense of the honey bee]. Zhurnal evolyutsionnoy biokhimii i fiziologii. 2012; Vol.48, 5. 425-432 p. EDN PBUKRX.

9. Levchenko MA, Levchenko AM. [On the concept of using electronic systems for timely detection of problems in remote apiaries]. Veterinariya Kubani. 2025; 5. 43-48 p. <http://doi.org/10.33861/2071-8020-2025-5-43-48>. EDN ZYGLOB.

10. Kutlin YuN, Mannapov AG. [Structural adaptation of the hypopharyngeal gland of autumn bees under winter dormancy conditions]. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025; Vol.62-2. 39-47 p. http://doi.org/10.54258/20701047_2025_62_2_39. EDN XMMXUU.

11. Ahmad S, Khan SA, Khan KA and Li J. Novel insight into the development and function of hypopharyngeal glands in honey bees. Front. Physiol. 2021; 11. 615830. doi: 10.3389/fphys.2020.615830

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Kutlin Yuriy Nikolaevich* – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Biology, Ecology and Chemistry Department, e-mail: yura-0481@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6107-9213>.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia.

Mannapov Alfir Gabdullovich – Doctor of Biological Sciences, Professor of Private Animal Science Department, e-mail: 54alfir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5093-9740>.

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

ЭКЗОКРИННАЯ ФУНКЦИЯ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АМИНОКИСЛОТ В РАЦИОН КУР-НЕСУШЕК**В. В. Лопатина**

Реферат. Целью исследования было изучение влияния низкопротеинового рациона, сбалансированного синтетическими лимитирующими аминокислотами, на экзокринную функцию поджелудочной железы у кур-несушек. Исследование проведено на курах-несушках кросса «Хайсекс Уайт» в возрасте 40 недель и старше с хроническими дуоденальными фистулами, в каждой группе было по 6 птиц. Контрольная группа получала полнорационный комбикорм, опытная — экспериментальный низкопротеиновый рацион на основе пшеницы, сбалансированный синтетическими аминокислотами. Пробы дуоденального химуса отбирали натощак, а также через 1 и 2 часа после кормления. Через 1 час после кормления активность трипсина в дуоденальном химусе кур-несушек в опытной группе превышала показатель контрольной группы на 38,2% ($p < 0,05$). В состоянии натощак и через 2 часа после кормления достоверных межгрупповых различий не выявлено. После кормления в дуоденальном химусе кур-несушек обеих групп отмечалось повышение активности трипсина по сравнению с исходным уровнем, однако через 2 часа в химусе птиц опытной группы наблюдалось ее снижение относительно 1-го часа после кормления. Морфологические показатели крови не различались между контрольной и опытной группами. В биохимическом анализе крови птиц опытной группы выявлены повышение активности щелочной фосфатазы, снижение уровня триглицеридов и ионизированного кальция ($p < 0,05$). Полученные результаты показывают, что использование низкопротеинового рациона, сбалансированного синтетическими аминокислотами, изменяет динамику постпрандиальной ферментативной активности поджелудочной железы и отражает адаптацию пищеварительной системы к изменённому аминокислотному профилю рациона.

Ключевые слова: куры-несушки, поджелудочная железа, экзокринная функция, низкопротеиновый рацион, синтетические аминокислоты, трипсин.

Для цитирования: Лопатина В.В. Экзокринная функция поджелудочной железы при добавлении синтетических аминокислот в рацион кур-несушек // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 69-75. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_6

Введение. Экзокринная функция поджелудочной железы у птиц регулируется нервными и гуморальными механизмами. В ранний период после приема корма секреция панкреатического сока запускается по типу сложнорефлекторной реакции: импульсы от рецепторов ротовой полости поступают в пищевой центр продолговатого мозга, а затем по эфферентным парасимпатическим волокнам передаются к поджелудочной железе. Эта фаза начинается в первые 30 минут после начала кормления и может продолжаться до 90 минут, то есть в то время, когда кормовые массы еще находятся в зобе или желудке [1]. По мере продвижения химуса в двенадцатиперстную кишку возрастает роль гуморальных механизмов регуляции. Как показано в работе V. G. Vertiprakhov et al. (2024), важным звеном этого этапа пищеварения является холецистокинин, стимулирующий секрецию панкреатических ферментов как непосредственно через ацинарные рецепторы, так и опосредованно через энтеропанкреатические рефлексы. Высвобождение холецистокинина и других пептидов обеспечивает адаптацию ферментного состава панкреатического секрета к составу поступившего корма [1].

Выявлено, что отдельные аминокислоты способны участвовать в регуляции метаболических процессов у птицы, включая экспрессию генов, связанных с транспортом аминокислот и белковым обменом [2]. Учитывая регуляторное значение аминокислот, изменение их количественного и качественного состава в рационе потенциально способно модифицировать функциональное состояние поджелудочной железы. В последние десятилетия в птицеводстве активно развивается концепция низкобелковых рационов, аминокислотный профиль которых корректируют за счёт включения синтетических аминокислот [3].

Под синтетическими (кристаллическими, свободными) аминокислотами понимают промышленно полученные аминокислоты, которые вводят в корм в виде отдельных соединений, а не в составе белка кормового сырья. Их использование позволяет точнее балансировать рацион по лимитирующим аминокислотам при снижении общего уровня сырого протеина [3]. Показано, что включение свободных аминокислот позволяет частично заменить традиционные белковые компоненты, в частности соевый шрот, и в ряде случаев снизить содержание сырого протеина без существенного ухудшения продуктивных показателей птицы [4]. Однако в работе R. Barekatain et al. (2023) выявлено, что значительное снижение содержания сырого протеина в рационе у бройлеров, даже при компенсации рациона синтетическими аминокислотами, может сопровождаться ухудшением продуктивности и состояния кишечного барьера [5].

Существенной особенностью синтетических аминокислот, вводимых в рацион в свободной форме, является отличие их пищеварительной и абсорбционной динамики от

белково-связанных форм. Свободные аминокислоты не требуют предварительного протеолитического расщепления, вследствие чего их постпрандиальное появление в плазме может происходить быстрее, чем у аминокислот, поступающих в составе интактного белка [6]. В работе Н. Liu et al. (2024) показано, что форма поступления аминокислот влияет не только на продуктивные показатели, но и на состояние кишечного барьера у кур-несушек, что подчёркивает физиологическое значение характера их поступления [7].

Переход к рациону с пониженным уровнем сырого протеина требует точного определения лимитирующих аминокислот, то есть аминокислот, дефицит которых в наибольшей степени ограничивает синтез белка и продуктивный ответ птицы. Следует учитывать, что набор таких аминокислот зависит от состава рациона и физиологического состояния птицы. В исследованиях с поэтапным исключением аминокислот из низкопротеинового рациона установлено, что дефицит валина, аргинина, изолейцина и глицинового эквивалента существенно влияет на мясную продуктивность бройлеров [8]. В связи с этим расширение перечня промышленно доступных кормовых аминокислот стало важной предпосылкой для более точной балансировки низкопротеиновых рационов и рассматривается как один из ключевых инструментов современных стратегий кормления [9].

При этом в хронических опытах на фистулированных курах показано, что баланс и качество аминокислотного питания способны непосредственно влиять на экзокринную функцию поджелудочной железы. В работе В. Г. Вертипрахова (2015) показано, что коррекция аминокислотного состава рациона за счёт метионина, а также сочетанного введения лизина и метионина до нормативного уровня сопровождалась усилением экзокринной активности поджелудочной железы у птицы [10]. В отдельном исследовании на курах-несушках показано, что изменение уровня валина в рационе сопровождалось повышением активности трипсина в дуоденальном химусе и изменением показателей кишечного всасывания аминокислот, что подтверждает участие отдельных аминокислот в регуляции пищеварительных и абсорбционных процессов у птицы [11].

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых использованию синтетических аминокислот в рационах птицы, большинство из них ориентировано преимущественно на оценку продуктивности, переваримости корма и показателей обмена веществ. В то же время влияние формы поступления аминокислот на динамику ферментативной активности поджелудочной железы в ранний постпрандиальный период остаётся недостаточно изученным. Особенно ограничены данные, полученные в условиях хронического физиологического эксперимента на фистулированных курах, позволяющего непо-

средственно оценивать изменения ферментативной активности дуоденального химуса.

Цель исследования: изучить влияние низкопротеинового рациона, сбалансированного синтетическими лимитирующими аминокислотами, на динамику экзокринной функции поджелудочной железы.

Условия, материалы и методы. Эксперимент проведён на базе вивария ФГБОУ ВО «РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева» в 2026 году с соблюдением принципов гуманного обращения с животными. Объектом исследования служили 12 клинически здоровых кур-несушек кросса «Хайсекс Уайт» в возрасте 40 недель и старше со стабильной яйценоскостью. Птиц содержали в одинаковых условиях, соответствующих зоогигиеническим нормам.

Были сформированы две группы кур-несушек по 6 голов в каждой согласно рекомендациям ВНИТИП (И.А. Егоров и др. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2013. 51 с.).

Контрольная группа получала полнорационный комбикорм, содержащий источники животного белка (рыбную и мясокостную муку) и концентрированные растительные белковые компоненты (подсолнечный жмых и соевый шрот). Уровень сырого протеина в рационе составлял 17%. Опытная группа получала экспериментальный низкопротеиновый рацион на основе пшеницы, лишённый белков животного происхождения и концентрированных растительных белковых компонентов. Рацион дополнительно обогащали лимитирующими синтетическими аминокислотами (лизин, метионин, треонин, триптофан, аргинин, валин и изолейцин) в соответствии с нормами потребности. Содержание сырого протеина в рационе составляло 14%. Формирование опытного рациона осуществляли за счёт увеличения доли зерновых компонентов при исключении концентрированных белковых кормов.

Для изучения влияния опытного рациона на экзокринную функцию поджелудочной железы использовали фистульные технологии. Фистулу устанавливали в начальном отделе двенадцатиперстной кишки напротив впадения панкреатических протоков. Состояние птицы контролировали по поведению и поедаемости корма. Послеоперационный период составлял 5 суток.

Физиологические опыты проводили в утренние часы. Пробы дуоденального химуса отбирали в состоянии натошак, через 1 и 2 часа после кормления. Пробы крови получали из подкрыльцовой вены в состоянии натошак. Продолжительность опыта составила 21 день.

Химус центрифугировали при 7000 оборотов в минуту в течение 5 минут, после чего определяли активность ферментов (трипсина, щелочной фосфатазы) и содержание кальция и фосфора в надосадочной жидкости, предварительно разбавляя её физиологическим

раствором в соотношении 1:10. Активность трипсина в дуоденальном химусе и плазме крови определяли, используя в качестве субстрата нитроанилид бензоил DL-аргинина (BAPNA), кинетическим методом (Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., 2018). Активность щелочной фосфатазы, а также концентрации кальция и фосфора в дуоденальном химусе определяли с использованием стандартных диагностических наборов («ДиаВет», Россия) на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS-3000M (Sinnova, КНР).

В сыворотке крови определяли следующие биохимические показатели: общий белок, глюкозу, триглицериды, холестерин, желчные кислоты, неорганический фосфор и мочевую кислоту с использованием реагентов BioSystems на автоматическом биохимическом анализаторе BioSystems A-15 (Испания). Концентрацию электролитов (калий, натрий, хлор, ионизированный кальций) определяли на анализаторе электролитов i-Smart 30 Vet (Корея).

Клинический анализ крови проводили с использованием цельной крови, стабилизированной гепарином. Гематологические показатели определяли с использованием автоматического ветеринарного гематологического анализатора Mindray BC-60 R Vet (Mindray, КНР). Определяли количество эритроцитов, концентрацию гемоглобина, гематокрит,

средний объем эритроцита, среднее содержание гемоглобина в эритроците, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците и ширину распределения эритроцитов по объему. Общее количество лейкоцитов определяли при микроскопии окрашенных мазков крови. Для этого готовили мазки крови, которые фиксировали в красителе-фиксаторе эозин-метиленовый синий по Май-Грюнвальду (ООО «МиниМед», Россия) с экспозицией 4 минуты, после чего окрашивали азур-эозином по Романовскому (ООО «МиниМед», Россия) с экспозицией 4–6 минут. Микроскопию проводили с использованием микроскопа Olympus CX31 (Olympus, Япония). Подсчет общего количества лейкоцитов проводили при увеличении $\times 400$ в 10 полях зрения.

Статистическую обработку данных проводили с применением методов вариационной статистики. Достоверность различий между опытной и контрольной группами оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования продемонстрировали, что применение у кур-несушек рациона со сниженным уровнем белка, сбалансированного лимитирующими синтетическими аминокислотами, оказывает выраженное влияние на изменение протеолитической активности поджелудочной железы (табл. 1).

Таблица 1 – Активность ферментов и содержание минеральных веществ в дуоденальном химусе кур-несушек (n=12)

Показатель	Период взятия химуса	Группа	
		контрольная	опытная
Активность трипсина, ед/л	натощак	749,3 $\pm$ 22,2	808,8 $\pm$ 26,4
	через 1 час после кормления	943,5 $\pm$ 40,6	1303,9 $\pm$ 30,8*
	через 2 часа после кормления	972,0 $\pm$ 85,2	1045,7 $\pm$ 74,1
Активность щелочной фосфатазы, ед/л	натощак	14635,4 $\pm$ 1654,4	13739,6 $\pm$ 1373,2
	через 1 час после кормления	13800,8 $\pm$ 1861,2	15206,4 $\pm$ 1545,5
	через 2 часа после кормления	12658,1 $\pm$ 1768,6	12100,5 $\pm$ 1692,5
Кальций, ммоль/л	натощак	57,4 $\pm$ 3,3	57,0 $\pm$ 3,3
	через 1 час после кормления	51,9 $\pm$ 3,1	57,4 $\pm$ 3,5
	через 2 часа после кормления	52,9 $\pm$ 2,4	51,8 $\pm$ 2,6
Фосфор, ммоль/л	натощак	11,8 $\pm$ 0,4	11,9 $\pm$ 0,5
	через 1 час после кормления	13,0 $\pm$ 0,5	11,5 $\pm$ 0,4
	через 2 часа после кормления	8,7 $\pm$ 0,4	8,3 $\pm$ 0,4

Примечание: * — различия между группами достоверны при $p < 0,05$

Через 1 час после кормления активность трипсина в дуоденальном химусе кур-несушек опытной группы статистически значимо превышала показатель контрольной группы на 38,2% ($p < 0,05$). В состоянии натошак и через 2 часа после кормления достоверные межгрупповые различия не выявлены. Эти результаты указывают на то, что наблюдаемое усиление протеолитической активности носило кратковременный характер и проявлялось преимущественно в ранний постпрандиальный период.

Одним из возможных механизмов данного эффекта может быть более высокая скорость абсорбции свободных аминокислот по сравнению с белково-связанными формами, что обуславливает их более раннюю доступность для всасывания в проксимальных отделах тонкой кишки и может изменять кинетику взаимодействия с энтероэндокринной регуляцией [3]. Похожие результаты были получены и в работе V. G. Vertiprakhov (2015), где коррекция аминокислотного состава рациона метионином и сочетанием лизина и метионина сопровождалась повышением активности протеолитических ферментов поджелудочной железы птицы [10].

При анализе показателей в пределах каждой группы выявлено, что после кормления активность трипсина в дуоденальном химусе кур-несушек увеличивалась по сравнению с уровнем натошак как в контроле, так и в опыте. Через 2 часа после кормления активность фермента в дуоденальном химусе кур-несушек обеих групп оставалась выше исходного уровня, однако у птиц опытной группы по сравнению с 1-м часом после кормления отмечалось её снижение, что указывает на транзитный характер усиления ферментативной активности.

Активность щелочной фосфатазы, концентрации кальция и фосфора в дуоденальном

химусе кур-несушек статистически значимо не различались между группами во все исследованные интервалы. Это показывает, что изменение аминокислотного профиля рациона преимущественно затрагивает протеолитическое звено пищеварения и не сопровождается выраженными сдвигами минерального состава химуса в ранний постпрандиальный период.

Внутригрупповая динамика содержания фосфора в дуоденальном химусе кур-несушек имела разнонаправленный характер. В химусе птиц контрольной группы после кормления отмечалось кратковременное повышение показателя с последующим снижением через 2 часа, тогда как в опытной группе через 1 час выраженных изменений не наблюдалось, а через 2 часа отмечалось уменьшение концентрации фосфора по сравнению с исходным уровнем. Вероятно, эти изменения отражают постпрандиальную динамику поступления и всасывания фосфора в проксимальных отделах кишечника.

Следует учитывать, что выявленные изменения могут быть обусловлены не только присутствием свободных аминокислот в рационе, но и общим снижением уровня сырого протеина в опытном рационе. Поэтому полученные результаты могут отражать и адаптационную реакцию пищеварительной системы на низкопротеиновый рацион, сбалансированный синтетическими аминокислотами в соответствии с нормами потребности.

Морфологические показатели крови, включая количество эритроцитов, концентрацию гемоглобина, гематокрит, количество лейкоцитов и эритроцитарные индексы (средний объём эритроцита, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, ширина распределения эритроцитов по объёму) не различались между группами, что указывает на отсутствие выраженного влияния экспериментального рациона на систему крови птицы (табл. 2).

Таблица 2 – Морфологические показатели крови кур-несушек ($n=12$)

Показатель	Ед. изм.	Группа	
		контрольная	опытная
Эритроциты	$10^{12}/л$	$2,34 \pm 0,09$	$2,52 \pm 0,04$
Гемоглобин	г/л	$79,0 \pm 1,3$	$82,0 \pm 1,7$
Гематокрит	%	$24,7 \pm 0,4$	$26,3 \pm 0,7$
Средний объём эритроцита	фл	$103,7 \pm 1,4$	$104,5 \pm 0,3$
Среднее содержание гемоглобина в эритроците	пг	$33,7 \pm 0,7$	$32,5 \pm 0,3$
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците	г/л	$323 \pm 4,0$	$309,6 \pm 5,8$
Ширина распределения эритроцитов по объёму	%	$9,9 \pm 0,4$	$9,25 \pm 0,3$
Лейкоциты	$10^9/л$	$11,9 \pm 0,7$	$13,5 \pm 0,6$

Примечание: достоверных межгрупповых различий не выявлено ($p > 0,05$)

В биохимическом анализе крови птиц выявлено статистически значимое повышение щелочной фосфатазы, а также

снижение уровня триглицеридов и ионизированного кальция в опытной группе (табл. 3).

Таблица 3 - Биохимические показатели крови кур-несушек (n=12)

Показатель	Ед. изм.	Группа	
		контрольная	опытная
Активность трипсина	ед/л	102,4±4,5	93,1±3,0
Активность щелочной фосфатазы	ед/л	131,7±2,0	147,9±1,6*
Кальций ионизированный	ммоль/л	1,53±0,02	1,22±0,04*
Фосфор	ммоль/л	0,86±0,03	0,88±0,02
Хлориды	ммоль/л	120,0±0,7	121,3±2,0
Натрий	ммоль/л	151,0±0,7	154,0±2,7
Калий	ммоль/л	3,77±0,05	3,84±0,01
Желчные кислоты	мкмоль/л	25,1±1,0	24,2±0,8
Глюкоза	ммоль/л	11,7±0,3	12,0±0,3
Мочевая кислота	мкмоль/л	212,8±2,2	206,0±2,7
Общий белок	г/л	51,3±1,2	51,3±1,0
Триглицериды	ммоль/л	5,1±0,3	3,9±0,3*
Холестерин	ммоль/л	2,9±0,2	2,7±0,1

Примечание: * — различия между группами достоверны при $p < 0,05$

При этом достоверных различий не было выявлено между контрольной и опытной группами по показателям крови, отвечающим за белковый и углеводный обмен (общий белок, мочевая кислота, глюкоза).

Повышение активности щелочной фосфатазы, а также уменьшение концентрации ионизированного кальция и триглицеридов в крови в опытной группе может отражать особенности минерального и липидного обмена у кур-несушек. Снижение уровня кальция и триглицеридов в крови, вероятно, обусловлено их перераспределением в организме кур-несушек для формирования компонентов яйца. Кроме того, аминокислотный состав рациона может косвенно влиять на метаболические процессы, так как аминокислоты выполняют в организме еще и регуляторную функцию [12].

Современные данные указывают на тесную взаимосвязь белкового и липидного обмена у птицы и возможность перераспределения энергетических потоков при оптимизации аминокислотного профиля [4]. Показано, что у несушек позднего возраста модификация белкового уровня рациона сопровождается снижением печёночных триглицеридов и изменением направленности липидного метаболизма без признаков функциональной декомпенсации [13]. В этих условиях оптимизация аминокислотного профиля способствует более эффективному использованию азота и перераспределению энергетических потоков, что может сопровождаться уменьшением циркулирующих липидных фракций.

В совокупности полученные результаты

указывают на то, что использование низкопротеинового рациона, сбалансированного свободными синтетическими аминокислотами, изменяет характер ранней постпрандиальной ферментативной реакции поджелудочной железы без признаков системной метаболической дестабилизации. Это согласуется с современными данными по физиологии пищеварения птицы, согласно которым экзокринная функция поджелудочной железы характеризуется выраженной динамичностью и зависит от фазы пищеварения и доступности субстратов в просвете кишечника. При этом изменения активности панкреатических ферментов могут проявляться как кратковременные сдвиги во времени, а не как устойчивое повышение на всём протяжении постпрандиального периода [14].

Выводы. В условиях хронического физиологического эксперимента установлено, что использование низкопротеинового пшеничного рациона, сбалансированного по лимитирующим аминокислотам за счёт добавления их синтетических (кристаллических) форм, сопровождается статистически значимым увеличением активности трипсина в дуоденальном химусе кур-несушек через 1 час после кормления. Выявленные изменения носят фазный характер и отражают усиление ранней постпрандиальной реакции поджелудочной железы.

Минеральные показатели и активность щелочной фосфатазы дуоденального химуса кур-несушек статистически значимо не изменились, что указывает на преимущественное влияние опытного рациона на протеолитическое звено пищеварения.

Литература

1. Vertiprakhov V. G., Trukhachev V. I., Sergeenkov N. A. Reflex phase of regulation of pancreatic secretion in poultry after feed intake is associated with gustatory sensations, and neurohumoral-with nutritional value // *Frontiers in Physiology*. 2024. Т. 15. 1341132. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1341132>
2. Dietary isoleucine supplementation enhances growth performance, modulates the expression of genes related to amino acid transporters and protein metabolism, and gut microbiota in yellow-feathered chickens / D. Ruan, Q. L. Fan, S. Zhang [et al.] // *Poultry Science*. 2023. Т. 102, № 9. 102774. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102774>

3. Synthetic and Crystalline Amino Acids: Alternatives to Soybean Meal in Chicken-Meat Production / P. H. Selle, J. C. de Paula Dorigam, A. Lemme [et al.] // *Animals*. 2020. T. 10, № 4. 729. <https://doi.org/10.3390/ani10040729>
4. Progress towards reduced-crude protein diets for broiler chickens and sustainable chicken-meat production / S. Y. Liu, S. P. Macelline, P. V. Chrystal, P. H. Selle // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021. T. 12. 20. C. 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00550-w>
5. Negative consequences of reduced protein diets supplemented with synthetic amino acids for performance, intestinal barrier function, and caecal microbiota composition of broiler chickens / R. Barekatain, P. V. Chrystal, T. Nowland [et al.] // *Animal Nutrition*. 2023. T. 13. C. 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.01.011>
6. Feeding intact proteins, peptides, or free amino acids to monogastric farm animals / F.A. Eugenio, J. van Milgen, J. Duperray [et al.] // *Amino Acids*. 2022. T. 54. C. 157–168. <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03118-0>
7. Effects of different forms of amino acid supplementation on the performance and intestinal barrier function of laying hens fed a low-protein diet / H. Liu, K. Xu, H. Wang [et al.] // *Poultry Science*. 2024. T. 103. 104375. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104375>
8. Assessment of limiting dietary amino acids in broiler chickens offered reduced crude protein diets / C. W. Maynard, M. T. Kidd, P. V. Chrystal [et al.] // *Animal Nutrition*. 2022. T. 10. C. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.11.010>
9. Recent advances in protein and amino acid nutritional dynamics in relation to performance, health, welfare, and cost of production / R. Adhikari, S.J. Rochell, R. Kriseldi [et al.] // *Poultry Science*. 2025. T. 104. 104852. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104852>
10. Vertiprakhov V. G. Pancreatic exocrine function in hens with addition of lysine and methionine to their ration // *Doklady Rossiiskoi Akademii Selskokhozyaistvennykh Nauk*. 2015. № 1–2. C. 59–62. <https://doi.org/10.3103/S1068367415020275>
11. Effects of dietary valine levels on production performance, egg quality, antioxidant capacity, immunity, and intestinal amino acid absorption of laying hens during the peak lay period / H. Jian, S. Miao, Y. Liu [et al.] // *Animals*. 2021. T. 11, № 7. 1972. <https://doi.org/10.3390/ani11071972>
12. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health: a comprehensive review / M. Alagawany, S. S. Elnesr, M. R. Farag [et al.] // *Veterinary Quarterly*. 2021. T. 41, № 1. C. 1–29. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1857887>
13. Porcine bile acids improve performance by altering hepatic lipid metabolism and amino acid metabolism with different protein level diets in late laying hens / R. Xing, K. Fan, Z. Fan [et al.] // *Poultry Science*. 2025. T. 104. 104777. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104777>
14. Ravindran V., Abdollahi M. R. Nutrition and digestive physiology of the broiler chick: State of the art and outlook // *Animals*. 2021. T. 11, № 10. 2795. <https://doi.org/10.3390/ani11102795>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии у него конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторе:

Лопатина Виктория Васильевна - аспирант, ассистент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, e-mail: vikki9604@yandex.com, <https://orcid.org/0009-0000-2562-9137>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

EXOCRINE FUNCTION OF THE PANCREAS IN LAYING HENS FED DIETS SUPPLEMENTED WITH SYNTHETIC AMINO ACIDS

V. V. Lopatina

Abstract. The aim of this study was to evaluate the effect of a low-protein diet balanced with synthetic limiting amino acids on exocrine pancreatic function in laying hens. The study was conducted on Hisex White laying hens aged 40 weeks and older with chronic duodenal fistulas. Each group consisted of six birds. The control group received a complete feed, while the experimental group received an experimental low-protein wheat-based diet balanced with synthetic amino acids. Duodenal chyme samples were collected on an empty stomach, as well as 1 and 2 hours after feeding. One hour after feeding, trypsin activity in the duodenal chyme of laying hens in the experimental group exceeded the control group by 38.2% ($p < 0.05$). No significant intergroup differences were found in the fasting state or 2 hours after feeding. After feeding, an increase in trypsin activity was observed in the duodenal chyme of laying hens of both groups compared to the initial level, but after 2 hours, a decrease was observed in the chyme of birds in the experimental group compared to 1 hour after feeding. Blood morphological parameters did not differ between the control and experimental groups. Biochemical analysis of blood of birds in the experimental group revealed an increase in alkaline phosphatase activity, a decrease in the level of triglycerides and ionized calcium ($p < 0.05$). The obtained results show that the use of a low-protein diet balanced with synthetic amino acids alters the dynamics of postprandial enzymatic activity of the pancreas and reflects the adaptation of the digestive system to the altered amino acid profile of the diet.

Key words: laying hens, pancreas, exocrine function, low-protein diet, synthetic amino acids, trypsin.

For citation: Lopatina V.V. Exocrine function of the pancreas in laying hens fed diets supplemented with synthetic amino acids. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 69-75. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_69

References

1. Vertiprakhov VG, Trukhachev VI, Sergeenkova NA. Reflex phase of regulation of pancreatic secretion in poultry after feed intake is associated with gustatory sensations, and neurohumoral-with nutritional value. *Frontiers in Physiology*. 2024; Vol.15. Article 1341132. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1341132>
2. Ruan D, Fan QL, Zhang S. Dietary isoleucine supplementation enhances growth performance, modulates the expression of genes related to amino acid transporters and protein metabolism, and gut microbiota in yellow-feathered chickens. *Poultry Science*. 2023; Vol.102. 9. Article 102774. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102774>
3. Selle PH, JC. de Paula Dorigam, Lemme A. Synthetic and crystalline amino acids: alternatives to soybean meal in chicken-meat production. *Animals*. 2020; Vol.10. 4. Article 729. <https://doi.org/10.3390/ani10040729>

4. Liu SY, Macelline SP, Chrystal PV, Selle PH. Progress towards reduced-crude protein diets for broiler chickens and sustainable chicken-meat production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; Vol.12. Article 20. 1-13 p. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00550-w>
5. Barekatin R, Chrystal PV, Nowland T. Negative consequences of reduced protein diets supplemented with synthetic amino acids for performance, intestinal barrier function, and caecal microbiota composition of broiler chickens. *Animal Nutrition*. 2023; Vol.13. 216-228 p. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.01.011>
6. Eugenio FA, van Milgen J, Duperray J. Feeding intact proteins, peptides, or free amino acids to monogastric farm animals. *Amino Acids*. 2022; Vol.54. 157-168 p. <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03118-0>
7. Liu H, Xu K, Wang H. Effects of different forms of amino acid supplementation on the performance and intestinal barrier function of laying hens fed a low-protein diet. *Poultry Science*. 2024; Vol.103. Article 104375. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104375>
8. Maynard CW, Kidd MT, Chrystal PV. Assessment of limiting dietary amino acids in broiler chickens offered reduced crude protein diets. *Animal Nutrition*. 2022; Vol.10. 1-11 p. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.11.010>
9. Adhikari R, Rochell SJ, Kriseldi R. Recent advances in protein and amino acid nutritional dynamics in relation to performance, health, welfare, and cost of production. *Poultry Science*. 2025; Vol.104. Article 104852. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104852>
10. Vertiprakhov VG. Pancreatic exocrine function in hens with addition of lysine and methionine to their ration. *Doklady Rossiyskoy Akademii Selskokhozyaystvennykh Nauk*. 2015; 1-2. 59-62 p. <https://doi.org/10.3103/S1068367415020275>
11. Jian H, Miao S, Liu Y. Effects of dietary valine levels on production performance, egg quality, antioxidant capacity, immunity, and intestinal amino acid absorption of laying hens during the peak lay period. *Animals*. 2021; Vol.11. 7. Article 1972. <https://doi.org/10.3390/ani11071972>
12. Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health: a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*. 2021; Vol.41. 1. 1-29 p. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1857887>
13. Xing R, Fan K, Fan Z. Porcine bile acids improve performance by altering hepatic lipid metabolism and amino acid metabolism with different protein level diets in late laying hens. *Poultry Science*. 2025; Vol.104. Article 104777. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104777>
14. Ravindran V, Abdollahi MR. Nutrition and digestive physiology of the broiler chick: state of the art and outlook. *Animals*. 2021; Vol.11. 10. Article 2795. <https://doi.org/10.3390/ani11102795>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Lopatina Victoriya Vasilevna – post-graduate student, Assistant of Animal Physiology, Ethology and Biochemistry Department, e-mail: vikki9604@yandex.com, <https://orcid.org/0009-0000-2562-9137>
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

**ЗООГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ
ПРИМЕНЕНИЯ СОЛИ ФОСФОНΙΑ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ****М. С. Петров, Р. А. Асрутдинова**

Реферат. Исследования проведены на двух группах цыплят-бройлеров в условиях птицекомплекса «Ак Барс»: опытной группе перорально вводили 1% раствор трифенилфосфоний-этилкарбоксилат в дозе 3 мл/гол., контрольная птица получала воду. Изучали условия содержания, которые в целом соответствовали зоогигиеническим требованиям. Концентрация аммиака в воздухе не превышала 3,1 мг/м³ при предельно допустимом уровне 10–15 мг/м³. Относительная влажность была понижена в первые 4 недели (41,0–55,8% при норме 65±5%) и достигла рекомендуемого уровня только к 29-му дню (62,7±2,3%). Кормление в хозяйстве было сбалансированным. Состав комбикормов: сырой протеин – 22,72–18,3%, лизин – 1,46–1,14%, метионин+цистин – 1,11–0,85%, кальций – 0,97–0,74%, фосфор – 0,55–0,49%, жир в финишных рационах – 8,17%. Поение – nipple-система с каплеуловителями. Водосточник: артезианская вода. Мониторинг пяти линий поения в разные возрастные периоды показал, что все nipple работали исправно. Подтекания отсутствовали. Вода для поения характеризовалась повышенной цветностью (36°), допустимой прозрачностью (36 см), слабокислой средой (pH 5,5) и незначительным превышением железа (0,5±0,05 мг/л при норме ≤ 0,3 мг/л). Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса птицы из белых грудных и красных бедренных мышц обеих исследуемых групп показала: pH – 5,4–5,8; проба варкой – прозрачный ароматный бульон; реакция с 5% CuSO₄ – прозрачная; с реактивом Несслера – слабое помутнение с желтовато-зелёным оттенком; бензидиновый тест на пероксидазу – положительный (сине-зелёное окрашивание, переходящее в буро-коричневое), что указывает на отсутствие аммиака и продуктов гнилостного распада. Результаты свидетельствуют об отсутствии отрицательного влияния трифенилфосфоний-этилкарбоксилата на качество мяса кур при данных условиях выращивания.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, микроклимат, кормление, соль фосфония, ветсанэкспертиза мяса, качество воды.

Для цитирования: Петров М.С., Асрутдинова Р.А. Зоогигиенические и ветеринарно-санитарные аспекты применения соли фосфония при выращивании цыплят-бройлеров // Учёные записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 76–80. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_76

Введение. В условиях интенсивного птицеводства создание оптимального микроклимата является ключевым фактором повышения продуктивности и снижения заболеваемости птицы. Поэтому одной из важнейших задач в птицеводстве является создание благоприятных условий в птичниках с целью повышения продуктивности птицы, уменьшения заболеваемости, падежа, а также меньшей выбраковки. Бройлерное производство — высокоэффективная отрасль, однако при промышленных способах выращивания организм птицы функционирует с максимальной нагрузкой, что требует соблюдения зоогигиенических норм [1, 2, 3].

Значительную проблему представляют бактериальные болезни (сальмонеллёз, колибактериоз), распространённые в промышленном птицеводстве и опасные для человека [4, 5, 6]. Было установлено, что использование пищевых антиоксидантов защищает корма от окисления и смягчает некоторые из вредных последствий, связанных с окислительным стрессом, включая улучшение продуктивности, повышение антиоксидантной способности и смягчение последствий теплового и транспортного стресса. Окислительный стресс, возникающий при воздействии стресс-факторов, повреждает ткани и связан с развитием миопатий, поэтому применение антиоксидантов является перспективным направлением [7, 8].

Целью нашей работы было провести зоогигиеническую оценку условий выращивания молодняка птицы, а также ветеринарно-

санитарную экспертизу мяса цыплят-бройлеров при применении соли фосфония.

Условия, материалы и методы. Исследования осуществляли в ООО птицекомплексе «Ак Барс» Зеленодольского филиала Республики Татарстан на двух группах цыплят-бройлеров кросса Кобб-500 по 20 голов в каждой в период с суточного возраста до момента реализации. По достижению поголовья возраста 14 дней цыплятам опытной группы вводили трифенилфосфоний-этилкарбоксилат в течение 5 дней перорально при помощи шприца с зондом, в то время как контрольная группа получала воду. Трифенилфосфоний растворяли в дистиллированной воде, создавая раствор концентрации вещества 1% и вводили в желудок каждой особи в объёме 3 мл.

Вместимость одного исследуемого птичника составляет 30000 голов. Способ содержания птиц - напольный, на глубокой несменяемой подстилке из опилок. Температуру контролировали термометром, относительную влажность - психрометром Ассмана, концентрацию аммиака и других вредных газов – с помощью аспиратора мехового «АМ-5М».

Кормление – автоматические чашечные кормушки. Срок откорма составляет 38–40 дней. Конверсия корма: 1,6–1,7 кг на 1 кг прироста. Кормление цыплят-бройлеров в ООО «Птицеводческий комплекс Ак Барс» осуществляли полнорационными комбикормами, произведёнными ООО «Казанская мельница» и ООО «Государев амбар» по рецептам, соответ-

ствующим возрастным периодам: старт (0–15 дней), рост (16–21 день), финиш 1 (22–33 дня) и финиш 2 (34 дня и старше). Качество комбикормов подтверждено удостоверениями качества и протоколами лабораторных испытаний диагностической лаборатории хозяйства.

Оценку питательности проводили по номенклатуре показателей ГОСТ Р 51851-2001. Крупность размола (проход через сито с отверстиями 2 мм) и твёрдость гранул определяли согласно ГОСТ 13496.8-72 и методике РИ 55-2017 соответственно.

Качество воды оценивали согласно требованиям норматива СанПиН 1.2.3685-21. Поение цыплят-бройлеров осуществляется через ниппельные поилки с каплеуловителями. Высоту ниппельной системы регулировали согласно рекомендациям (Cobb-Vantress. Cobb500 Broiler Performance and Nutrition Supplement: целевые показатели продуктивности и рекомендации по кормлению // Management Guides / Cobb-Vantress): в первые 14 дней выращивания угол спины птицы к полу составлял 35–45°, в последующие две недели — 75–85°. Расход воды контролировали по линиям поения (5 линий в птичнике) в трёх точках (передняя, средняя, задняя части птичника) в

утренние и ночные часы.

Давление в системе поения автоматически поддерживали в пределах, обеспечивающих равномерное поение без избыточного подтекания воды, что предотвращало переувлажнение подстилки.

Исследования мяса по органолептическим и физико-химическим показателям проводили в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: Органолептические исследования мяса проводили согласно ГОСТ Р51944-2002. Физико-химические испытания были проведены согласно ГОСТ 31470-2012 и «Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясопродуктов» (1988 г.).

Результаты и обсуждение. Размеры здания птичника, где проводили исследования параметров микроклимата составили 18×82 м. Замеры проводили на уровне обитания птицы (0,3–0,5 м) от пола в трёх зонах (у притока воздуха, в центре содержания птицы, у вытяжных отверстий).

Рекомендуемые параметры микроклимата для кросса Кобб-500, а также фактические данные, полученные в ходе замеров, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели микроклимата в опытом птичнике

Возраст, день	Рекомендуемая норма			Фактические замеры		
	Температура, °С	Относительная влажность, %	NH ₃ , мг/м ³	Температура, °С	Относительная влажность, %	NH ₃ , мг/м ³
0-7	31-33	65±5	10	32,1±0,6	41,0±3,7	-
8-14	28-30	65±5	10	30,2±0,5	47,6±2,6	2,8±0,41
15-21	24-27	65±5	15	27,6±0,8	53,9±3,8	3,1±0,39
22-28	21-24	65±5	15	23,8±1,1	55,8±2,5	-
29-38	18-21	65±5	20	20,1±1,3	62,7±2,3	-

Анализ таблицы 1 показывает, что температурный режим в течении всего периода выращивания соответствовал нормативным значениям. Концентрация аммиака в период выращивания находилась в предельно-допустимых концентрациях, не превышая 3,1 мг/м³. Влажность воздуха достигла рекомендованных значений лишь к 29 дню содержания, что указывает на умеренную работу вентиляции и состояние подстилки.

Анализ показателей состава комбикормов показал, что фактическое содержание сырого протеина, лизина, метионина+цистина, кальция и фосфора соответствует

рекомендуемым нормам для кросса Кобб-500. Содержание сырого протеина и обменной энергии снижалось с возрастом птицы, что соответствует физиологическим потребностям. Повышенное содержание жира в финишных рационах (8,17%) способствовало эффективному наращиванию мышечной массы в предубойный период. Фактические показатели качества комбикормов представлены в таблице 2. Крупность размола и твёрдость гранул находились в пределах допустимых значений (проход через сито 2 мм не более 10%, твёрдость гранул 2,5–4,2 кг) [9].

Таблица 1 – Показатели качества комбикормов для цыплят-бройлеров (по данным удостоверений ООО «Ак Барс», 2025–2026 гг.)

Показатель	Старт (0–15 дн.)	Рост (16–21 дн.)	Финиш 1 (22–33 дн.)	Финиш 2 (34+ дн.)
Сырой протеин, %	22,72	20,6	19,1	18,3
Сырой жир, %	–	–	8,17	8,17
Сырая клетчатка, %	3,48	4,1	4,5	4,5
Обменная энергия, ккал/100 г	296	298–303	307–317	307
Лизин, %	1,46	1,29	1,14	1,14
Метионин+цистин, %	1,11	0,99	0,85	0,85
Кальций, %	0,97	0,83	0,74	0,74
Фосфор, %	0,55	0,54	0,49	0,49

ВЕТЕРИНАРИЯ

Таким образом, кормление в хозяйстве было сбалансированным и не могло повлиять на различия в продуктивности между группами.

Результаты исследования воды, используемой для поения на птицеводческом предприятии отражены в таблице 3.

Поение – ниппельная система с каплеулови-

телями. Водоисточник: артезианская вода. Мониторинг пяти линий поения в разные возрастные периоды показал, что все ниппели работали исправно. Подтекания отсутствовали. Это подтверждает, что система поения не являлась источником повышенной влажности подстилки и не влияла на микробную обсеменённость.

Таблица 3 — Анализ качества воды на птицеводческом предприятии ООО «Ак Барс»

Показатель	Норматив СанПиН 1.2.3685-21	Фактические показатели воды
Запах, баллы	≤ 2	Отсутствие ощутимого запаха
Вкус и привкус, баллы	≤ 2	1
Цветность, градусы	≤ 20	36
Водородный показатель (pH)	6,0–9,0	5,5
Общая жёсткость, мг-экв/л	≤ 7,0	7,0
Прозрачность, см	20-30	36
Хлориды (Cl ⁻), мг/л	≤ 350	Менее 350
Сульфаты (SO ₄ ²⁻), мг/л	≤ 500	До 100
Железо (Fe), мг/л	≤ 0,3	0,5±0,05
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/л	≤ 45	0,8
Нитриты (NO ₂ ⁻), мг/л	≤ 3,0 (по NO ₂ ⁻)	Менее 0,001
Аммиак (NH ₃), мг/л	≤ 2,0	Менее 0,1
БПК, мгО/л	не более (5,0)	2,0±0,3
Общая минерализация, мг/л	≤ 1000	7,0

Анализ качества воды демонстрирует повышенную цветность воды незначительное повышение уровня железа, что может быть объяснено изношенностью труб, подающих воду на предприятие.

Для проведения ветеринарно-санитарных исследований мяса была отработана схема применения соли фосфония в производственных условиях на молодняке. После достижения возраста реализации, бройлеров умерщвляли. При органолептическом исследовании тушек бройлеров установлено, что все образцы имели свежий вид, без признаков порчи. Слизистые оболочки ротовой полости бледно-розового цвета, незначительной степени увлажнения, без слизи. Запах специфический, свойственный свежему

мясу птицы.

Объектом исследования также служили пробы бедренных и грудных мышц цыплят-бройлеров. Обращая внимание на поверхность тушек отмечено, что все они имели свежий вид без признаков порчи и разложения. Мышцы имели упругую консистенцию, что подтверждалось тестом с надавливанием и последующим быстрым выравниванием за 4-7 секунд. Пробный разрез мышц показал упругость волокон, бледно-розовый цвет, хорошую степень обескровливания. Физико-химические показатели мяса цыплят свидетельствуют о его доброкачественности и безопасности для потребителей (табл. 4).

Таблица 4 — Результаты физико-химического исследования мяса цыплят-бройлеров 38 дневного возраста (ГОСТ 31470-2012)

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Белые мышцы (грудные)		
Прозрачность и аромат бульона пробой варки	Прозрачный, ароматный, сильно выраженный	Прозрачный, ароматный, сильно выраженный
pH мяса, через 24 часа после убоя	5,4	5,5
Реакция с 5% CuSO ₄	Прозрачный бульон	Прозрачный бульон
Качественный тест с реактивом Несслера	Незначительное помутнение и зеленовато-желтый оттенок	Незначительное помутнение и зеленовато-желтый оттенок
Бензидиновый тест на пероксидазу	Сине-зелёный цвет, переходящий в течение 1-2 мин в буро-коричневый	Сине-зелёный цвет, переходящий в течение 1-2 мин в буро-коричневый
Красные мышцы (бедренные)		
Прозрачность и аромат бульона пробой варки	Прозрачный, ароматный, с крупными каплями жира на поверхности	Прозрачный, ароматный, с крупными каплями жира на поверхности
pH мяса, через 24 часа после убоя	5,8	5,8
Реакция с 5% CuSO ₄	Прозрачный бульон	Прозрачный бульон
Качественный тест с реактивом Несслера	Незначительное помутнение и зеленовато-желтый оттенок	Незначительное помутнение и зеленовато-желтый оттенок
Бензидиновый тест на пероксидазу	Сине-зелёный цвет, переходящий в течение 1-2 мин в буро-коричневый	Сине-зелёный цвет, переходящий в течение 1-2 мин в буро-коричневый

Проба варкой характеризует степень помутнения бульона и наличие/отсутствие посторонних запахов, что обуславливается распадом белков, жиров и нуклеотидов в мясе посредством образования пептидов, аминокислот, аммиака, сероводорода, переходящих в бульон.

Из данных таблицы 4 видно, что уровень рН был в пределах нормы во всех образцах, позволяя судить о свежести мяса и отсутствии признаков порчи.

Тест с 5% сернокислой медью признан для выявления гидролиза в тканях. Прозрачный бульон свидетельствует об отсутствии размножения бактерий.

Бензидиновый тест на пероксидазу необходим для определения содержания аммиака в мясе птиц. В результате данного исследования наличие аммиака в мясе не удалось установить, что позволяет предположить его отсутствие.

Качественный тест с реактивом Нesslerа подтверждает все ранее проведенные тесты о свежести мяса.

Полученные результаты полностью согласуются с данными других авторов о том, что применение антиоксидантов не оказывает негативного влияния на качество мяса птицы [7, 8, 10]. Показатели мяса опытной и контрольной групп были идентичны, что позволяет судить об безопасности испытуемого препарата.

Выводы. В ходе эксперимента были определены параметры микроклимата, в

опытном птичнике. Температурный режим на всех этапах выращивания соблюдался. Концентрация аммиака в воздухе была значительно ниже ПДК. Относительная влажность воздуха в первые четыре недели была понижена и достигла рекомендуемого уровня только к 29 дню, что свидетельствует об умеренной работе системы вентиляции и удовлетворительном состоянии подстилки.

Состав полнорационных комбикормов соответствовал физиологическим потребностям цыплят-бройлеров. Содержание сырого протеина, лизина, метионина+цистина, кальция и фосфора в стартовых, ростовых и финишных рационах находилось в пределах рекомендуемых норм. Повышенное содержание жира в финишных рационах способствовало эффективному наращиванию мышечной массы.

Анализ воды, используемой для поения, выявил незначительные отклонения от нормативов СанПиН 1.2.3685-21: повышенную цветность и незначительное превышение содержания железа, что, вероятно, связано с изношенностью трубопроводной системы. Однако эти отклонения не оказали негативного влияния на состояние птицы.

Результаты проведенных органолептических, физико-химических исследований мяса цыплят показали, что тушки, полученные от подопытной птицы, отвечают ветеринарно-санитарным требованиям, предъявляемым к доброкачественному мясу, полученному от здоровых птиц [8, 10, 11].

Литература

1. Курбанова Е. А. Разработка и обоснование зооигиенических мероприятий по повышению продуктивности птиц // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 2. С. 112–118. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-2-112-118>. EDN: XYXFOP.
2. Анализ исследования микроклимата в птицеводческих помещениях / Н. В. Петренко, И. В. Егорова, А. С. Гайда, И. Э. Липкович // АгроЭкоИнфо. 2025. № 3. <https://doi.org/10.51419/202153303>. EDN: IHLMXU.
3. Фисинин В. И. Стратегия инновационного развития птицеводства России // Птицеводство. 2023. № 5. С. 2–8. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-5-2-8>. EDN: OAMXAU.
4. Асрутдинова Р. А., Якупова Л. Ф. Зооигиенические аспекты применения углеводорода сквален и оценка качества мяса цыплят // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 242, № 2. С. 23–28. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-2020-242-2-23-28>. EDN: SZZFXI.
5. Рузина А. В. Бактериологические исследования в птицеводстве для подбора эффективных антимикробных препаратов // Ветеринария. 2025. № 9. С. 27–32. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.27-32>. EDN: LYKSMG.
6. Бактерии рода сальмонелл в кормах для сельскохозяйственных животных / Н. Б. Шадрова, О. В. Прунтова, Г. С. Скитович, О. А. Акулич // Ветеринария сегодня. 2022. Т. 11, № 4. С. 290–295. <https://doi.org/10.31089/9431-2022-11-4-290-295>. EDN: AIEUHP.
7. Остапчук П. С., Зубоченко Д. В., Кувяда Т. А. Роль антиоксидантов и использование их в животноводстве и птицеводстве (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20, № 2. С. 103–117. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>. EDN: VYTALM.
8. Desbrusle A., Welleans A. L. Oxidation in poultry feed: impact on birds and effectiveness of dietary antioxidant reduction strategies // Poultry. 2022. Vol. 1. P. 246–277. <https://doi.org/10.3390/poultry1040022>. EDN: XBDWET.
9. Лукашенко В. А., Лысенко В. П., Голубов И. И. Современные подходы к кормлению бройлеров в условиях промышленного птицеводства // Птица и птицепродукты. 2025. № 1. С. 14–19. <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2025-27-1-14-19>. EDN: ZQRKST.
10. Проблемы антибиотикорезистентности в современном мире / Л. В. Хорошевская, А. П. Хорошевский, М. И. Сложеникина, А. А. Мосолов // Аграрно-пищевые инновации. 2021. Т. 16, № 4. С. 47–54. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-47-54>. EDN: ZIKWTV.
11. Гарипов С. М., Асрутдинова Р. А., Якупова Л. Ф. Ветеринарно-санитарные показатели мяса птицы на фоне применения «Распол» // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 245, № 3. С. 32–37. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-2021-245-3-32-37>. EDN: ZTWXAL.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Петров Михаил Сергеевич* – аспирант, e-mail: mi6elson@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6652-3276>
 Асрутдинова Резиля Ахметовна – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: roza109a@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2214-8017>
 Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

ZOOHYGIENIC AND VETERINARY-SANITARY ASPECTS OF PHOSPHONIUM SALT APPLICATION IN BROILER CHICKEN REARING
M. S. Petrov, R. A. Asrutdinova

Abstract. The study was conducted on two groups of broiler chickens at Ak Bars poultry complex: the experimental group was orally administered a 1% triphenylphosphonium ethyl carboxylate solution at a dose of 3 ml/bird, while the control group received water. Housing conditions studied generally met zoohygienic requirements. Ammonia concentrations in the air did not exceed 3.1 mg/m³, while the maximum permissible level is 10–15 mg/m³. Relative humidity was lowered during the first 4 weeks (41.0–55.8% with the norm of 65±5%) and reached the recommended level only by the 29th day (62.7±2.3%). Feeding on the farm was balanced. Feed composition was as follows: crude protein – 22.72–18.3%, lysine – 1.46–1.14%, methionine + cystine – 1.11–0.85%, calcium – 0.97–0.74%, phosphorus – 0.55–0.49%, fat in finishing rations – 8.17%. Watering was provided by a nipple system with drip collectors. Water source was artesian water. Monitoring of five drinking lines at different age periods showed that all nipples worked properly. No leakage was observed. Drinking water was characterized by a high color (36°), acceptable transparency (36 cm), slightly acidic (pH 5.5) and a slight excess of iron (0.5±0.05 mg/l with a norm of ≤0.3 mg/l). Veterinary and sanitary examination of poultry meat from the white breast and red thigh muscles of both study groups showed the following: pH – 5.4–5.8; boiling test – clear aromatic broth; reaction with 5% CuSO₄ – clear; with Nessler's reagent – slight turbidity with a yellowish-green tint; benzidine peroxidase test – positive (blue-green colour turning brownish-brown), indicating the absence of ammonia and putrefactive decay products. The results indicate the absence of any negative effect of triphenylphosphonium ethyl carboxylate on the quality of chicken meat under the given growing conditions.

Key words: broiler chickens, microclimate, feeding, phosphonium salt, veterinary sanitary inspection of meat, water quality.

For citation: Petrov M.S., Asrutdinova R.A. Zoohygienic and veterinary-sanitary aspects of phosphonium salt application in broiler chicken rearing. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p.76–80. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_76

References

1. Kurbanova E.A. [Development and justification of zoohygienic measures to improve poultry productivity]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; 2. 112–118 p. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-2-112-118>. EDN: XYXFOP.
2. Petrenko NV, Egorova IV, Gayda AS, Lipkovich IE. [Analysis of microclimate research in poultry houses]. AgroEkoInfo. 2025; 3. <https://doi.org/10.51419/202153303>. EDN: IHLMXU.
3. Fisinin VI. [Strategy for innovative development of poultry farming in Russia]. Ptitsevodstvo. 2023; 5. 2–8 p. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-5-2-8>. EDN: OAMXAU.
4. Asrutdinova RA, Yakupova LF. Zoohygienic aspects of hydrocarbon squalene use and evaluation of chicken meat quality]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E.Baumana. 2020; Vol.242. 2. 23–28 p. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-2020-242-2-23-28>. EDN: SZZFXI.
5. Ruzina AV. [Bacteriological studies in poultry farming for the selection of effective antimicrobial drugs]. Veterinariya. 2025; 9. 27–32 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.9.27-32>. EDN: LYKSMG.
6. Shadrova NB, Pruntova OV, Skitovich GS, Akulich OA. [Salmonella bacteria in feed for farm animals]. Veterinariya segodnya. 2022; Vol.11. 4. 290–295 p. <https://doi.org/10.31089/9431-2022-11-4-290-295>. EDN: AIEUHP.
7. Ostapchuk PS, Zubochenko DV, Kuevda TA. [Role of antioxidants and their use in livestock and poultry farming (review)]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2019; Vol.20. 2. 103–117 p. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>. EDN: VYTALM.
8. Desbrusle A, Welleans AL. Oxidation in poultry feed: impact on birds and effectiveness of dietary antioxidant reduction strategies. Poultry. 2022; Vol.1. 246–277 p. <https://doi.org/10.3390/poultry1040022>. EDN: XBDWET.
9. Lukashenko VA, Lysenko VP, Golubov II. [Modern approaches to feeding broilers in industrial poultry farming]. Ptitsa i ptitseprodukty. 2025; 1. 14–19 p. <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2025-27-1-14-19>. EDN: ZQRKST.
10. Khoroshevskaya LV, Khoroshevskiy AP, Slozhenkina MI, Mosolov AA. [Problems of antibiotic resistance in the modern world]. Agrarno-pishchevye innovatsii. 2021; Vol.16. 4. 47–54 p. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-47-54>. EDN: ZIKWTV.
11. Garipov SM, Asrutdinova RA, Yakubova LF. [Veterinary and sanitary indicators of poultry meat against the background of Raspol use]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E.Baumana. 2021; Vol.245. 3. 32–37 p. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-2021-245-3-32-37>. EDN: ZTWXAL.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Petrov Mikhail Sergeevich* – post-graduate student, e-mail: mi6elson@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6652-3276>
 Asrutdinova Rezilya Akhmetovna – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Department of Animal Husbandry Technology, Feeding and Zoohygiene, e-mail: roza109a@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2214-8017>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ВЫЯВЛЕНИЕ РОТАВИРУСА СВИНЕЙ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ**Э. М. Плотникова, М. М. Шакуров, Н. И. Хаммадов, К. В. Усольцев, И. Р. Мухаметшин**

Реферат. Ротавирус – кишечный патоген, вызывающий гастроэнтерит у детей и молодняка животных. Данный возбудитель является причиной значительного экономического ущерба в животноводстве. В настоящее время не существует специфических лекарственных средств для лечения ротавирусной инфекции, поэтому возможности лечения данной болезни остаются ограниченными. В связи с этим разработка технологии изготовления вакцины против ротавирусной инфекции свиней остается актуальной и востребованной. Также в качестве генетического контроля разрабатываемой вакцины необходимо иметь методику для индикации и идентификации ротавируса свиней, основанную на современных молекулярно-генетических методах, таких как ОТ-ПЦР, ПЦР-ПДРФ, секвенирование и др. В качестве объекта исследований использовали патологический материал (образцы легких, селезенки и кишечника), отобранный от павших и вынужденно убитых поросят до 10-12-дневного возраста из неблагополучных по вирусным заболеваниям хозяйств Республик Башкортостан и Татарстан. Для выделения возбудителя ротавируса использовали перевиваемые линии животных клеток SPEV и PK-15. В результате поиска наиболее специфичных генетических локусов ротавируса свиней установлено, что наиболее специфичными генами являются гены VP4, VP6 и VP7, и их можно использовать для индикации и идентификации изучаемого возбудителя. Для каждого из них разработаны специфичные праймерные комбинации с программами постановки ОТ-ПЦР. Проведенный BLASTn-анализ доказал специфичность разработанных праймеров к геному ротавирусов свиней. На вирусных изолятах, адаптированных к клеткам SPEV и PK-15, доказана работоспособность разработанных праймерных комбинаций и программ постановки ОТ-ПЦР для каждого найденного генетического локуса генома ротавируса свиней. Установлен положительный результат при исследовании 12 образцов антигенного материала (из легких, кишечника, селезенки). Разработан алгоритм индикации и идентификации ротавируса свиней с использованием ОТ-ПЦР и ПЦР-ПДРФ.

Ключевые слова: Ротавирус, эпизоотические изоляты, SPEV, PK-15, адаптация, ОТ-ПЦР

Для цитирования: Плотникова Э.М., Шакуров М.М., Хаммадов Н.И., Усольцев К.В., Мухаметшин И.Р. Выявление ротавируса свиней методом полимеразной цепной реакции // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 81-89. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_81

Введение. Ротавирусы являются одной из главных причин вирусной диареи у человека и животных, распространены по всему миру и представляют глобальную проблему для общественного и ветеринарного здравоохранения [1, 2]. Ротавирусы стабильны во внешней среде что приводит к постоянному риску повторного заражения [3].

Ротавирусы относятся к семейству *Reoviridae*, возбудителем ротавирусов являются вирусные частицы с двухцепочечной РНК, геном которых содержит одиннадцать сегментов, кодирующих шесть структурных вирусных белков (VP1-VP4, VP6 и VP7) и шесть неструктурных белков (NSP1-NSP6) [4, 5].

На основе антигенных связей последовательностей VP6 вирус классифицируется по 10 группам (A-J) [6].

У свиней зарегистрировано 5 групп ротавирусов (RVA, RVB, RVC, RVE, RVH), среди которых группы A, B и C встречаются чаще всего, поражают человека и животных. Наибольшую распространенность имеют штаммы RVA, которые являются одной из наиболее значимых причин острой обезвоживающей диареи. Штаммы RVA подвергаются генетическим перестройкам, точечным мутациям, реассортации и рекомбинации во всех 11 сегментах гена, что приводит к появлению большого количества генотипов. Их разнообразие является причиной мультисистемных заболеваний, что

осложняет профилактику ротавирусной инфекции и выбор вакцины [7, 8].

Все ротавирусы имеют общий групповой антиген, который расположен во внутреннем капсиде вириона. Однако ротавирусы различных видов животных и человека имеют свой видоспецифический антиген, расположенный во внешней оболочке капсида [9, 10].

Геном ротавируса высоко вариабелен, что является причиной появления новых линий или сублиний внутри типов. Высокая степень генетической и антигенной вариативности у локально циркулирующих ротавирусов затрудняют понимание его глобального распространения и разработку эффективных методов защиты [11].

Высокий уровень заболеваемости обусловлен периодической сменой доминирующих G [P]-типов ротавируса группы A, генетическим и антигенным.

В настоящее время наиболее перспективным в создании вакцин против ротавирусной инфекции считается молекулярно-биологический подход с использованием рекомбинантных штаммов ротавируса животных и человека.

Стратегия конструирования вакцин строится на основе создания штаммов-реассортантов, содержащих как VP3, так и VP7 ротавирусов разных серотипов [12].

В связи с вышеизложенным с целью генетического контроля разрабатываемой вакцины

необходимо иметь методику для индикации и идентификации ротавируса свиней, основанную на современных молекулярно-генетических методах, таких как ОТ-ПЦР, ПЦР-ПДРФ, секвенирование и др.

Условия, материалы и методы. В качестве объекта исследований использовали вирусосодержащий патологический материал – пробы легких, селезенки и кишечника, взятых от поросят из неблагополучных по вирусным болезням хозяйств Республик Башкортостан и Татарстан. От павших и вынужденно убитых поросят до 10-12-дневного возраста из Республики Башкортостан и Татарстан отобраны образцы сердца, легких, селезенки, печени, желудка, кишечника (с содержимым). Содержимое кишечника поместили в раствор Хенкса (1:10). Отобранные образцы органов и тканей гомогенизировали, из них изготовили 10% вирусные суспензии в растворе Хенкса. После тщательного перемешивания взвеси в течение 30 мин осаждали при 4000 об/мин при температуре +4 °С, фильтровали через мембранные фильтры миллипор (MF-Millipore™) 0,80 и 0,22 мкм. Стерильность фильтратов (безбактериальность) проверяли в соответствии с требованиями ГОСТ 28085-89 на питательных средах МПБ, МПА, Китта-Тароцци, Сабуро. К вирусным суспензиям добавили равные объемы среды Игла-МЕМ с 20 мкг/мл трипсина. Взвеси инкубировали в течение 30 минут при 37 °С, двадцатикратно разбавили средой МЕМ. Флаконы с выращенным монослоем клеток перевиваемых линий SPEV (почки эмбриона свиньи), РК-15 (почки свиньи) с 10% ЭТС (эмбриональная телячья сыворотка), 100 ЕД/мл пенициллина и 100 мкг/мл стрептомицина трижды промывали средой МЕМ для удаления ЭТС. На монослой клеток наносили тестируемые суспензии, инкубировали при 37 °С 60 мин, инокулят удаляли, во флаконы добавляли среду МЕМ с 0,5 мкг/мл трипсина, 100 ЕД/мл пенициллина и 100 мкг/мл стрептомицина. Флаконы инкубировали при 37 °С. Наличие или отсутствие цитопатического действия (ЦПД) в монослоях клеток контролировали при 10- и 20-кратном увеличении объектива светового микроскопа каждые двое суток, сравнивая полученные результаты в опытных флаконах (с внесенной суспензией) с контрольными (без внесения). При отсутствии ЦПД инкубацию продолжали до 10-12 суток. Образцы с наличием ЦПД трижды замораживали при температуре минус 60 °С и оттаивали при комнатной температуре. По 0,2 см³ взвеси переносили в монослой клеток и после соответствующих процедур продолжали инкубирование. Образцы с отрицательным ЦПД инактивировали и подвергали утилизации.

Интенсивность цитопатического действия вирусов в перевиваемых культурах клеток оценивали в крестах. Оценка зависела от того, какая часть клеточного монослоя, по сравнению с контролем, была изменена ротавирусом (четыре креста – изменению подвергся весь монослой в пенициллиновой пробирке или на матрасике, три креста – изменена $\frac{3}{4}$ монослоя, два креста – изменена $\frac{1}{2}$ монослоя, один крест

– изменена $\frac{1}{4}$ монослоя).

Для определения наличия генетического материала ротавирусов применяли ОТ-ПЦР с использованием амплификатора С1000 с оптическим блоком CFX96 (Био-Рад, США), специфических праймеров, наборов реагентов для постановки обратной транскрипции и ПЦР с интеркалирующими агентами (ЗАО «Синтол», г. Москва). Для проведения исследований предварительно выделили нуклеиновые кислоты ротавирусов методом преципитации с использованием набора «Рибо-преп» ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора. Очищенную РНК вируса подвергли обратной транскрипцией в комплементарную дезоксирибонуклеиновую кислоту (кДНК) в присутствии специального фермента обратной транскрипции – ревертазы (ревертазу добавляли после предварительного нагрева до 95 °С и охлаждения до 40 °С) реакционной смеси. Образовавшуюся из РНК-генома полную двухцепочечную кДНК подвергали многократным циклам амплификации с образованием целевых последовательных копий. Для фланкирования целевого участка гена VP6 генома ротавируса в первом раунде амплификации использовали внешние праймеры, с помощью которых обеспечили синтез фрагментов ДНК, содержащих внутри себя целевую последовательность. Во втором раунде амплифицировали специфичные фрагменты ДНК, используя продукты первого раунда в качестве матрицы и внутренние праймеры для запуска процесса амплификации. Для визуализации результатов амплификации использовали горизонтальный электрофорез в 1,8% агарозном геле, а также ПЦР с использованием интеркалирующего красителя Sybre Green. Количественный состав реакционной смеси для одного исследуемого образца составлял: 10-кратный ПЦР-буфер 1-5 мкл; 100 pM каждого раствора прямого и обратного праймера – 0,1 мкл; 0,5 мкл – раствора обратной транскриптазы MMLV; неионизированная вода – 14,3 мкл; матрица РНК/ДНК – 5 мкл. Общий объем реакционной среды – 25 мкл.

Гнездовая полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией на ген VP6 GARV выполнялась в следующей последовательности. До обратной транскрипции смесь праймеров и РНК инкубировали 1 минуту при 95 °С.

Первый раунд с наружными праймерами:

37 °С - 10 мин	
95 °С - 5 мин	
94 °С - 30 сек	} 10 циклов
50 °С - 30 сек	
72 °С - 40 сек	

Второй раунд с внутренними праймерами:
60 °С → 95 °С - построение кривой плавления

95 °С - 5 мин	
94 °С - 30 сек	} 40 циклов (сбор сигнала флуоресценции по каналу FAM)
56 °С - 30 сек	
72 °С - 5 сек	

ния (сбор сигнала флуоресценции по FAM).

Для определения гена VP4 программа амплификации имела вид: 37 °C - 10 мин, 95 °C - 1 мин, (95 °C - 30 сек, 55 °C - 30 сек, 72 °C - 30 сек) - 40 циклов, 72 °C - 5 мин. Сбор сигнала флуоресценции осуществляли по каналу FAM.

Для определения гена VP7 программа амплификации имела вид: 37 °C - 10 мин, 95 °C - 1 мин, (95 °C - 10 сек, 54 °C - 10 сек, 72 °C - 30 сек) - 42 цикла, 72 °C - 5 мин. Сбор сигнала флуоресценции осуществляли по каналу FAM.

До обратной транскрипции смесь праймеров и РНК инкубировали 1 минуту при 95 °C.

Результаты и обсуждение. В начале исследований проведён поиск специфических генетических локусов, которые можно использовать для обнаружения ротавирусов свиней в исследуемом материале методом ПЦР. Среди свиней наиболее часто встречаются ротавирусы групп А, В, Н и С, причем группа А является наиболее изученной и распространенной [13]. Также известно, что ротавирусы внутри группы А классифицируются на основе строения двух поверхностных белков: VP7

(определяет G-генотип) и VP4 (определяет Р-генотип), соответственно и гены, кодирующие эти белки можно использовать для генетической типизации ротавирусов свиней. Согласно проведённому обзору литературы наиболее распространенной комбинацией генотипов среди ротавирусов свиней группы А является G5P [14, 15]. Таким образом, правильно подобранные генетические локусы в качестве мишеней для ПЦР позволят успешно выполнить индикацию и типизацию возбудителя ротавирусной инфекции свиней.

Исходя из вышесказанного, в качестве ДНК-мишеней для индикации и идентификации ротавируса свиней генетической группы А методом ПЦР предложены следующие три специфических участка генома возбудителя ротавирусной инфекции свиней - VP4, VP6 и VP7.

В программе Vector NTI 9.1 выполнен дизайн праймеров, использованных для индикации и типизации ротавируса свиней методом ПЦР, и которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Праймеры для обнаружения генома возбудителя ротавирусной инфекции свиней методом ПЦР

Название праймера	Целевой ген	Нуклеотидная последовательность 5' → 3'	Локализация в гене	Размер ампликона (bp)
F GARV VP6	VP6 (GB ID AB924099)	atggagggttctgtactcattgtca	22 – 45	1223
R GARV VP6		gatcggataccaggtagtagcc	1222 - 1244	
Fn GARV VP6		ggaccagtagttccaccaggtagga	1093 - 1117	
Rn GARV VP6		ctcacttaatacaatgcttctaatgga	1189 - 1216	
F GARV VP4	VP4 (GB ID PX677663)	atggcttcgctcatttatagaca	1 - 23	812
R GARV VP4		atrtctctattataytgcatyctytcca	784 - 812	
F GARV VP7	VP7 (GB ID JX498942)	atgtatggattgaatataccacagttctaa	49 - 79	951
R GARV VP7		taatgaccgtgatcttttggaca	977 - 999	

На рисунках 1-3 показаны расположения разработанных праймеров в целевых нуклеотидных последовательностях (участки генов VP6, VP4 и VP7 геномов ротавируса свиней). Следует отметить, что праймеры на ген VP6 разработаны под «гнездовую» ПЦР. В этом варианте амплификация выполняется в две

стадии – сначала с «наружными» (F GARV VP6 и R GARV VP6), затем с «внутренними» или «гнездовыми» (Fn GARV VP6, Rn GARV VP6) праймерами. Это сделано для повышения чувствительности и специфичности ПЦР. Праймеры на гены VP7 и VP4 созданы для одностадийной ПЦР.

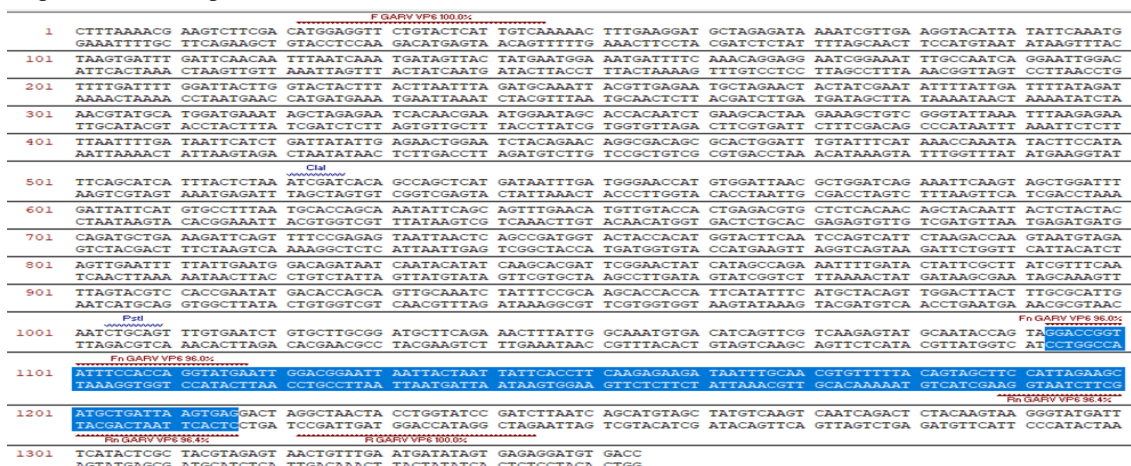


Рисунок 1 – Расположение праймеров для «гнездовой» ПЦР в фрагменте гена VP6 ротавируса А изолят «RVA pig CHN HB 04297 2023 G5P2315» (GB ID AB924099)

F GARV VP4 100.0%	
1	ATGGCTTCGC TCAITTTATAG ACAACTACTT ACTAATTCAT ACACGGTTAA TCTTTCTGAT GAGATTCAAG AGATTGGATC GGTTAAGTCG CAAAATGTTA TACCGAAGCG AGTAAATATC TGITGATGAA TGATTAAGTA TGTGCCAATT AGAAAGACTA CTCTAAGTTC TCTAACCTAG CCAATTACAG GTTTTACAAT
101	CCATAAATCC TGGTCCATTG GCACAAACAG GTTATGCACC AGTCAATTGG GGAGCTGGTG AAACATAATG CTCCACAATC GTTGAACCAT TACTGGATGG GGTATTTTGG ACCAGGTAAA CGTGTITGTC CAATACGTGG TCAGTTAACC CTCCAGCCAC TTTGATTATG GAGGTGTGTA ATGACCTACC
201	TCCATATCAA CCGACAACCT TTAATCCACC AACAAAGTAT TGGGTATTTAC TTGCACCAAC TGTGGAAGGC GTAATAATCC AGGGAACAAA TAATCTGAT AGGTATAGTT GGTGTGTGAA AATTAGGTGG TTGTCAATA ACCCATATG AACGTGGTGG ACACCTTCGG CATTATTAGG TCCCTTGTIT ATTATGACTA
301	AGATGGTGG CTACTATATT GATTGAACCA AACGTACAAA CAACATAATG AACATACACT CTCTTTGGTC AGCAATAAC TTTGTGAGTA GAGAACACAT TCTACCAACC GATGATATAA CTAACCTGGT TTGCATGTTT GTTGATTATC TTGTATGTGA GAGAAACAGG TCGTTTATG AAACAGTCAT CTCTGTGTGA
401	CACAAACACA GTGGAATTC ATTGACGTGA GTAAACTAC ACTAACGGGA AGCTATACGC AGCACGGTCC ATTGTTTTCT ACGCCAATAT TATATGCTGT GTGTTTGTGT CACCTTTAAG TAACGTGACT CATTITGATG TGATTGOCCT TCGATATGCG TCGTGCCAGG TAACAAAAGA TCGGGTTTTA ATATACGACA
501	AATGAAATTC AGTGGTAGGA TATACACATA TAATGGAATC ACGCCAAATG CAACCAACAGG ATACTATTCT ACCACCAATT ATGACACAGT AAATATGACA TTACTTTAAG TCACCATCT ATATGTGTAT ATTACCTTGA TCGGTITGTC GTTGTGTGCC TATGATAAGA TGGTGGTTAA TACTGTGCTA TTATACTGT
601	TCGTTTTGTG ATTTTATAT TATACCAAGA AATCAAGAAG AAAAATGCAC TGAATATATC AATCATGGAT TGCCCTCTAT ACAAATACA AGAACGTTG AGCAAAACAC TAAATATATA ATATGTTCT TTAGTCTTCT TTTTACGTTG ACTTATATAG TTAGTACCTA ACGGAGGATA TGTTTATGTT TCTTTCACAC
701	TACCAATGTC TCTATCGGCT AGAGAAATAG TACATACAAG AGCTCAAGTT AATGAAGACA TTGTCTGTTT AAAAACTTCA CTCTGGAAGG AAATGCAATA ATGTCACAG AGATAGCCGA TCTCTTTATC ATGTATGTTC TCGAGTTCAT TTACTTCTGT AACAGCAAG TTTTGAAGT GAGACCTTTC TTACGTTAT
R GARV VP4 89.7%	
801	TAACAGAGAT ATACAGATAA GATTCAAATT TGATAAAACA ATTATTAAG CTGGAGGATT GGGGTATAAA TGGTCAGAAA TATCTTTTAA ACCGATCAC ATTGTCTCTA TATGTCTATT CTAAGTTTAA ACTATTTTGT TAATAATTC GACCTCCTAA CCCCATATT ACCAGTCTTT ATAGAAAAAT TGGCTAGTGG
R GARV VP4 89.7%	
901	TATCAGTACA CATACACTAG AGATGGAGAA CAAATTACAG CGCATACTAC GTGCTCAGTT AATGGAGTCA ATAATTTTAT TTATATGGT GGTTCATTAC ATAGTCAATG GTATGTGATC TCTACCTCTT GTTTAATGTC GCGTATGATG CACGAGTCAA TTACCTCAGT TATTAAAAAT AATATTACCA CCAAGTAATG

Рисунок 2 – Расположение праймеров для ПЦР в фрагменте гена VP4 ротавируса свиней А штамм «RVA/HUN/Pig/142_11» ген VP4 (GB ID PX677663)

F GARV VP7 100.0%	
1	GGCTTTTAAA GAGAGAAATT CCGTTTGGCT AGCGGTTAGC TCTTTTAA GTATGTTTAC GATTTGTTAC CTCTCTGATA TCAATAATT CCGAAATTTT CTCTCTTAAA GGCACCAACG TCGCCCAATG AGGAAATTA CATACCATAA CTTATATGGT GTCAAGATTG GAAAGACTAT AGTTATTAAT
101	TATTGAACAT CATATTAAAA TCACCTAACA GTGCAATGGA CTTTATAATT TATCGATTTC TTCTACTTAT TGCTATTGTG TCACCATTTG TTAACAACAT ATAACTTGAT GTATAATTTT AGTGATTGAT CACGTTCACCT GAATATATTA ATAGCTAAGG AAGATGAATA ACGATAACAC AGTGGTAAAC AATTITGTGT
201	AAATATGGA ATTAATTTAC CAATCACTGG CTCCATGGAC ACAGCATATG CAATTCCTGC ACAGCAAGAA ACATTTTAA CTCAACCGT ATGCTTATAT TTTAACTCTT TAATTAAGTG GTTAGTGACC GAGGTACCTG TGTCTGATAC GTTTAAGCAG TGTCTGTTCT TGTAAAAATT GAAGTTTGGG TACGAATATA
301	TATCTTACTA AAGCATCAAC TCAAAATTGA GACACGGAAT GGAAAAACAC TCTGTCTCAA TTATCTTTGA CTAAGGGGGT GCCCACTGGA TCAGCTTATT ATAGGATGAC TTCGTAGTTG AGTTTAACTT CTGTGCTTAA CTTTITTTGT AGACAGAGTT AATAAGAACT GATTCCCTAC CGGTGACCT AGTCAGATAA
401	TTAAAGATA TACCGATATC CTTTCAATTT CAATTGACCC AGCACTTTAC TGTGATTATA ATGTTGTACT GATGAAGTAT GATTCAACGT TAGATTAGA AATTTCTTAT ATGGCTATAG CGAAGTAAAA GTTAACCTGGG TGTCTGAAATG ACATTAATAT TACAACATGA CTACTTCATA CTAAGTTGCA ATCTCAATCT
501	TATGCTGAA TTGGCTGATT TGAATCTAAA TGAATGGTTA TGAATGCCAA TGCATATAAC ATTATATTAT TATCAGCAAA CAGATGAAGC GAATAATGG ATACAGACTT AACCGACTAA ACTAAGATT ACTTACCAAT ACATTGGGT ACCTATATG TAAATATAAT ATAGTCGTTT GTCTACTTGC CTTAATTACC
601	ATATCGATGG GACAATCTG TACCATAAAA GTATGTCCAT TGAATACACA GACTTTAGGA ATAGGTTGTA CTACTACAAA TGCACGACA TTTGAAGAAG TATAGTACC CTGTTAGAAC ATGGTATTTT CATACAGGTA ACTTATGTGT CTGAATCTCT TATCCCAACT GATGATGTTT ACCTCGCTGT AAATCTTCTC
701	TGGCTACAGG TGAAAAATTA GTAATAACCG ATGCTGTTGA TGGTGTGAAT CATAACTTGA ATGTAACATC AAATACCTGT ACATATTAGA ATGTGAAGAA ACCGATGCC ACTTTTAAAT CATTATTGGC TACAGCAACT ACCACACTTA GTATTTGAAC TACATTGATG TTTATGGACA TGCTAATCTT TAACATTCTT
801	GTATAGGACA AGAGAAAATG TAGCAATTAT ACAAGTTGGT GGTCTGGGAG TGTATAGATAT TACGGGGGAT CCAACTACTA CACCACAAAC TGAGCGTATG CAATCTGGT TCTCTTTTAC ATCGTTAATA TGTTCACCA CCGAGCCCTT ACATCTTATA ATGCCGCCCTA GGTGATGATG GTGGTGTGTT ACTCGCATAC
901	ATGCGAGTAA ATGGGAAGAA ATGGTGGCAA GTTTTCTACA CAGTGGTGA TATCATTAAT CAGATTGTAC AAGTTATGTC CAAAAGATCA ACATCATTA TAGCTCATT TAACCTTCTT TACCACCGTT CAAAAGATGT GTCAACATCT AATGTAATTA GTCTAACATG TTCAATACAG GTTTTCTAGT GCTAGTAAAT
R GARV VP7 98.7%	
1001	ACTCAGCAGC TTTTACTAT AGAGTCTGAT ATATCTTAGG TTAGAAGTGT ATGATGTGAC C TGAGTCGTCG AAAAATGATA TCTCAGACTA TATAGAAATCC AATCTTGACA TACTACACTG G

Рисунок 3 – Расположение праймеров для ПЦР в фрагменте гена VP7 ротавируса свиней А изолят «YA1011» ген VP7 (GB ID JX498942)

Проведённый BLASTn-анализ показал, что разработанные вышеперечисленные праймеры являются строго специфичными для целевых генетических локусов VP6, VP4 и VP7 генома ротавирусов свиней, так как идентичность и покрытость на целевые нуклеотидные последовательности у них находились в диапазоне от 95 до 100%.

Таким образом, чтобы обнаружить и идентифицировать ротавирусы свиней по генотипам в исследуемом патологическом материале предлагается следующий алгоритм постановки ОТ-ПЦР:

1 стадия – реакция обратной транскрипции с образцами выделенной РНК;

2 стадия – обнаружение генома ротавируса свиней генетической группы А с помощью «гнездовой» ПЦР с праймерами на ген VP6;

3 стадия – амплификация по гену VP4 и ПДРФ-анализ (или секвенирование по Сэнгеру);

4 стадия - амплификация по гену VP4 и ПДРФ-анализ (или секвенирование по Сэнгеру);

5 стадия – анализ и обработка полученных

результатов.

Далее была выполнена экспериментальная часть работы. От павших поросят до 10-12-дневного возраста с признаками диареи из Республик Башкортостан и Татарстан в 10% раствор Хенкса были отобраны образцы органов и тканей – легкие, селезенка, лимфоузлы, тонкий отдел кишечника (с содержимым), печень, желудок, тимус, поджелудочная железа и др. Вирусные изоляты в течение 25 пассажей подвергались адаптации к клеткам перевиваемых линий SPEV и РК-15. Из двенадцати образцов, проявивших наиболее выраженное цитопатическое действие, выделена РНК, которая затем была преобразована в кДНК. Полученная кДНК амплифицирована с использованием комбинаций специфических праймеров, разработанных для ПЦР с генами ротавируса группы А - VP6, VP4 и VP7.

ПЦР-анализу были подвергнуты образцы: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 19, 23 и 27 (n=12). Для обнаружения генома ротавирусов по локусу VP6 использован гнездовой формат ПЦР с праймерами F GARV VP6, R GARV VP6, Fn GARV VP6 и Rn GARV VP6 с детекцией

результатов с помощью горизонтального электрофореза в 1,8% агарозном геле. Для индикации по генам VP4 и VP7 использованы одностадийные ПЦР с использованием праймеров F GARV VP4, R GARV VP4, F GARV VP7 и R

GARV VP7 с фиксацией результатов путём построения кривой накопления флуоресцентного сигнала по каналу FAM.

Полученные результаты представлены на рисунках 4, 5 и 6, а также в таблице 2.

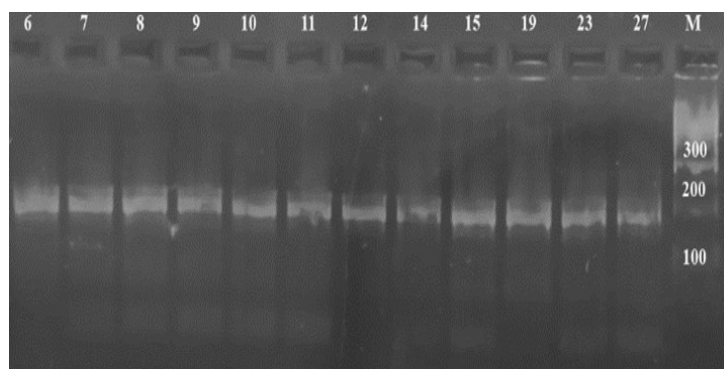


Рисунок 4 – Результаты 2 раунда «гнездовой» ПЦР на ген VP6. Примечание: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 19, 23 и 27 – исследуемые образцы, М – маркер молекулярного веса (100 – 1000 bp)

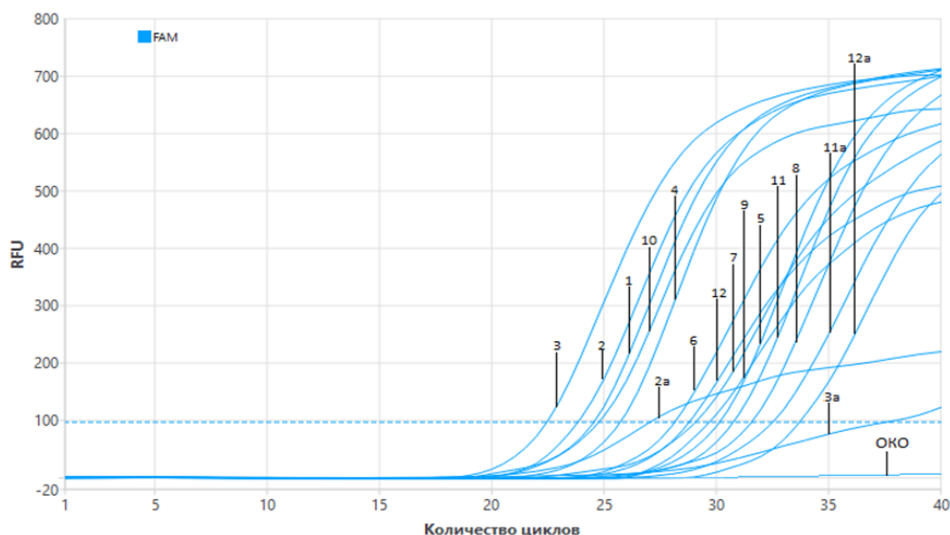


Рисунок 5 – ПЦР-анализ исследуемых РНК-образцов ротавируса по гену VP4 путём построения кривой накопления флуоресцентного сигнала по каналу FAM.

Примечания: ОКО – отрицательный контрольный образец, 1 – 12 - исследуемые образцы; 2а, 3а, 11а, 12а – образцы РНК, выделенные без добавления ингибиторов РНК-аз.

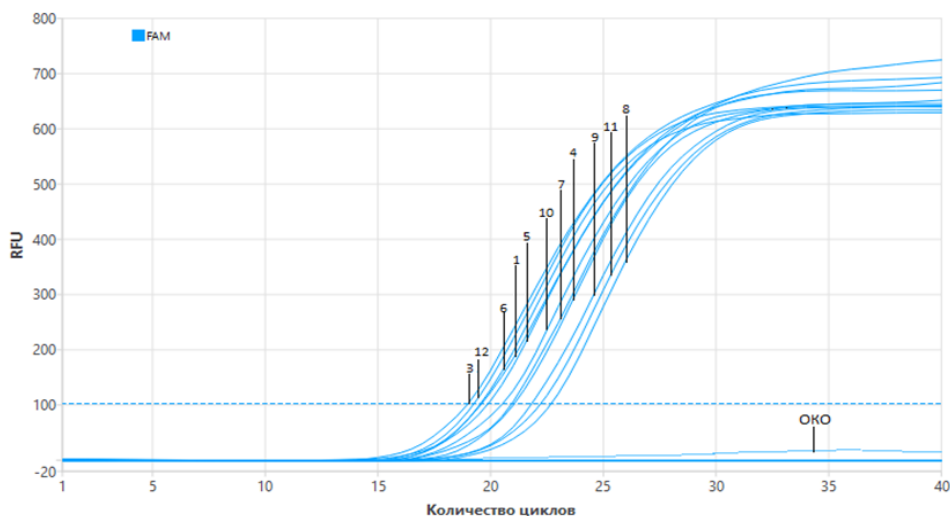


Рисунок 6 – ПЦР-анализ исследуемых РНК-образцов ротавируса по гену VP7 путём построения кривой накопления флуоресцентного сигнала по каналу FAM.

Примечания: ОКО – отрицательный контрольный образец, 1, 3 – 12 - исследуемые образцы

Таблица 2 – Результаты ПЦР по различным целевым генетическим локусам

Образец	Исследуемый материал	Используемая культура клеток	Ген VP6, ПЦР с ЭФ. детекцией	Ген VP4, ПЦР с исп. интрекалир. красителя (количество циклов, Ct)	Ген VP7, ПЦР с исп. интрекалир. красителя (количество циклов, Ct)
1	ткань легких поросенка из ООО «Башкирская мясная компания»	PK-15	+	24,5	19,5
2	ткань легких поросенка из ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	24,0	н/о
3	ткань кишечника от поросенка из ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	22,5	18,5
4	ткань кишечника, ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	26,1	21,5
5	ткань легких поросенка, ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	30,2	20,1
6	ткань легких поросенка, ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	26,5	19,5
7	ткань легких поросенка, ООО «Башкирская мясная компания»	PK-15	+	28,9	22,0
8	ткань легких от поросенка из ООО «Башкирская мясная компания»	PK-15	+	32,3	22,5
9	ткань легких поросенка, ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	29,1	22,7
10	ткань селезенки поросенка, ООО «Башкирская мясная компания»	SPEV	+	24,3	21,0
11	ткань кишечника поросенка, ООО «Камский Бекон»	PK-15	+	31,5	23,3
12	ткань селезенки поросенка, ООО «Камский Бекон»	SPEV	+	28,1	18,5

Из полученных результатов ПЦР следует, что во всех исследуемых образцах в клетках перевиваемых линий PK-15 и SPEV (кроме отрицательного контрольного образца (ОКО)) обнаружена вирусная рибонуклеиновая кислота возбудителя ротавируса свиней. Амплификация прошла успешно со всеми разработанными комбинациями праймеров к целевым локусам (VP4, VP6 и VP7) генома ротавируса свиней, кроме 2 исследуемого образца по гену VP7, что, по-видимому, связано влиянием на ПЦР различных ингибиторов, которые могут присутствовать в анализируемой пробе. Также можно предполагать, что наибольшее количество РНК-матрицы содержится в образце № 3 (ткань кишечника от поросенка, ООО «Камский Бекон»), так как в этом образце пороговый цикл (C_t), при котором проба считается положительной, составил 22,5 по гену VP4 и 18,5 по VP7 (наименьшее из всех полученных значений). Наименьшее количество РНК, по-видимому, содержится в образце № 8 (ткань легких от поросенка, ООО «Башкирская мясная компания») – в клетках PK-15, так как значение порогового цикла (C_t) в этом образце максимальное, как по гену VP4 – 32,3, так и по VP7 – 22,5. Также при выделении РНК из образцов, а также при постановке

обратной транскрипции в исследуемый образец необходимо добавлять ингибитор РНК-аз, так данные энзимы ферментируют выделяемую РНК, снижая чувствительность метода. В этом можно убедиться на примере образцов 2а, 3а, 11а и 12а (рис. 5), в которые преднамеренно при выделении РНК и постановке обратной транскрипции не добавили ингибиторы РНК-аз. Наблюдаются торможение реакции, что проявляется более поздними пороговыми циклами.

Таким образом, адаптированные к животным клеткам с подтвержденной специфичностью по трём генетическим локусам (VP4, VP6 и VP7) методом ОТ-ПЦР вирусные изоляты использованы в качестве исходного материала при конструкции экспериментальных серий противовирусной вакцины.

Выводы. В результате поиска наиболее специфичных генетических локусов ротавируса свиней установлено, что наиболее специфичными генами являются гены VP4, VP6 и VP7, и их можно использовать для индикации и идентификации изучаемого возбудителя. Для каждого из них разработаны специфичные праймерные комбинации с программами постановки ОТ-ПЦР. Проведённый BLASTn-анализ доказал специфичность разработанных

праймеров к геному ротавирусов свиней. На вирусных изолятах, адаптированных к клеткам SPEV и PK-15, доказана работоспособность разработанных праймерных комбинаций и программ постановки ОТ-ПЦР для каждого найденного генетического локуса генома ротавируса свиней.

От павших поросят с признаками инфекционной диареи до 10-12-дневного возраста из свиноводческих хозяйств Республики Башкортостан и Татарстан в 10% раствор Хенкса отобраны образцы органов и тканей. Вирусные изоляты в течение 25 пассажей подвергали адаптации к клеткам

перевиваемых линий SPEV и PK-15. Двенадцать образцов с высоким инфекционным титром исследовали в полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР). Результаты ОТ-ПЦР подтвердили наличие РНК-ротавируса свиней во всех исследованных образцах. Адаптированные к животным клеткам с подтверждённой специфичностью по трём генетическим локусам (VP4, VP6 и VP7) методом ОТ-ПЦР вирусные изоляты использованы в качестве исходного материала при конструкции экспериментальных серий противовирусной вакцины.

Литература

1. Isolation, Genomic Characterization, and Immunogenicity Evaluation of a G9P[23] Porcine Rotavirus Strain / Z. Wang, W. Huang, G. Yan [et al.] // *Veterinary Sciences*. 2025. Vol. 12. No. 2. P. 180. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020180>. EDN XRCOGS.
2. Molecular Characterization and Pathogenicity Analysis of Porcine Rotavirus A / Ya. Lv, Ze. Tong, J. Liu [et al.] // *Viruses*. 2024. Vol. 16. No. 12. P. 1842. <https://doi.org/10.3390/v16121842>. EDN JNKADO.
3. Julian T. R. Environmental transmission of diarrheal pathogens in low and middle income countries. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*. 2016. Vol. 18, No. 8. P. 944-55. <https://doi.org/10.1039/c6em00222f>.
4. Isolation and possibility of vertical transmission of G9P[23] and G12P[7] group A rotavirus strains in pigs / Ya. Li, Ch. Gao, L. Wu [et al.] // *Porcine Health Management*. 2025. Vol. 11. No. 1. P. 32. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00445-6>. EDN HJGDOP.
5. Rotavirus research: 2014–2020 / S. Caddy, G. Papa, A. Borodavka, U. Desselberger // *Virus Research*. 2021. Vol. 304. P. 198499. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198499>. EDN FTPIDA.
6. Identification of Putative Novel Rotavirus H VP7, VP4, VP6 and NSP4 Genotypes in Pigs / E. Ferrari, G. Vignola, C. Bertasio [et al.] // *Viruses*. 2024. Vol. 16, No. 1. P. 68. <https://doi.org/10.3390/v16010068>. EDN CLSXHM.
7. Isolation, Genomic Characterization and Evolution of Six Porcine Rotavirus A Strains in a Pig Farming Group / Zh. Zhang, Ch. Wu, Yu. Chen [et al.] // *Veterinary Sciences*. 2024. Vol. 11. No. 9. P. 436. <https://doi.org/10.3390/vetsci11090436>. EDN QBWHYC.
8. Великжанина Е. И., Сашина Т. А., Новикова Н. А. Реассортантные штаммы Rotavirus A (Sedoreoviridae: Rotavirus: Rotavirus A): роль ротавирусов животных в возникновении новых вариантов ротавируса человека // *Вопросы вирусологии*. 2025. Т. 70, № 2. С. 105-116. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-306>. EDN PFCBAZ.
9. Sadiq A., Khan Ja. Rotavirus in developing countries: molecular diversity, epidemiological insights, and strategies for effective vaccination // *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1297269>. EDN TTLTKD.
10. Махмутов А. Ф., Спиридонов Г. Н. Применение ассоциированной вакцины и гипериммунной сыворотки при смешанной форме инфекционной диареи новорожденных поросят // *Ветеринарный врач*. 2021. № 1. С. 30-37. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-30-38>. EDN QAPWED.
11. Выделение и изучение эпизоотических изолятов ротавируса свиней / Э. М. Плотникова, М. А. Ефимова, К. Т. Ишмухаметов [и др.] // *Инновационные решения актуальных вопросов биологической, токсикологической и радиационной безопасности для АПК: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 65-летию ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»*, Казань, 11–12 сентября 2025 года. Казань: ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», 2025. С. 143-144. EDN DYIPVB.
12. Отбор высокоиммуногенных штаммов ротавирусов свиней, выделенных из органов пораженных вирусами животных / Э. М. Плотникова, И. Р. Мухаметшин, М. М. Шакуров [и др.] // *Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2025. Т. 264, № 4. С. 71-76. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-4-264-71>.
13. Vlasova A., Amimo J., Saif L. Porcine Rotaviruses: Epidemiology, Immune Responses and Control Strategies // *Viruses*. 2017. Vol. 9. No. 3. P. 48. <https://doi.org/10.3390/v9030048>.
14. Predominance of Porcine P[23] Genotype Rotaviruses in Piglets with Diarrhea in Northern Thailand / S. Okitsu, P. Khamrin, A. Thongprachum [et al.] // *Journal of clinical microbiology*. 2011. Vol. 49, No. 1. P. 442-445. <https://doi.org/10.1128/jcm.02263-10>.
15. Review of group A rotavirus strains reported in swine and cattle / H. Papp, B. László, F. Jakab [et al.] // *Veterinary microbiology*. 2013. Vol. 165. No. 3-4. P. 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.03.020>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Плотникова Эдие Миначетдиновна* - доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной контроля и радиозоологии, e-mail: adiya.2397031@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8445-2922>
 Шакуров Муланур Махсutowич - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной контроля и радиозоологии, e-mail: shakurov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2563-5948>,
 Хаммадов Наиль Ильдарович - кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетического анализа, e-mail: nikhammadov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5669-1486>
 Усольцев Константин Валерьевич - кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетического анализа, e-mail: ukv3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5279-9836>

Мухаметшин Ильшат Ришатович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной контроля и радиозоологии, e-mail: muhamet_il@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0102-922X>
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань, Россия.

DETECTION OF PORCINE ROTAVIRUS BY POLYMERASE CHAIN REACTION

E. M. Plotnikova, M. M. Shakurov, N. I. Khammadoy, K. V. Uoltsev, I. R. Mukhametshin

Abstract. Rotavirus is an intestinal pathogen that causes gastroenteritis in children and young animals. This pathogen causes significant economic losses in livestock production. Currently, there are no specific drugs for treatment of rotavirus infection, so treatment options for this disease remain limited. Therefore, development of a vaccine against porcine rotavirus infection remains relevant and in demand. A method for detecting and identifying porcine rotavirus based on modern molecular genetic methods, such as RT-PCR, PCR-RFLP, sequencing, and others, is also necessary for genetic control of the vaccine being developed. Pathological material (samples of lungs, spleen and intestines) collected from dead and slaughtered piglets aged 10-12 days from farms in the Republics of Bashkortostan and Tatarstan with high viral disease rates was used for the study. SPEV and RK-15 continuous animal cell lines were used to isolate the rotavirus pathogen. A search for the most specific genetic loci of porcine rotavirus revealed that the VP4, VP6 and VP7 genes are the most specific, and they can be used to detect and identify the pathogen under study. Specific primer combinations with RT-PCR programs were developed for each of these loci. BLASTn analysis confirmed the specificity of developed primers to the porcine rotavirus genome. Using viral isolates adapted to SPEV and RK-15 cells, the performance of developed primer combinations and RT-PCR programs for each identified genetic locus of the porcine rotavirus genome was demonstrated. A positive result was obtained in the analysis of 12 antigen samples (from the lungs, intestines and spleen). An algorithm for the detection and identification of porcine rotavirus using RT-PCR and PCR-RFLP was developed.

Key words: rotavirus, epizootic isolates, SPEV, RK-15, adaptation, RT-PCR

For citation: Plotnikova E.M., Shakurov M.M., Khammadoy N.I., Uoltsev K.V., Mukhametshin I.R. Detection of porcine rotavirus by polymerase chain reaction. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 81-89. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_81

References

1. Wang Z, Huang W, Yan G. Isolation, genomic characterization and immunogenicity evaluation of a G9P[23] porcine rotavirus strain. *Veterinary Sciences*. 2025; Vol.12. No.2. 180 p. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020180>. EDN: XRCOGS.
2. Lv Ya, Tong Ze, Liu J. Molecular characterization and pathogenicity analysis of porcine rotavirus A. *Viruses*. 2024; Vol.16. No.12. 1842 p. <https://doi.org/10.3390/v16121842>. EDN: JNKADO.
3. Julian TR. Environmental transmission of diarrheal pathogens in low and middle income countries. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*. 2016; Vol.18. No.8. 944-55 p. <https://doi.org/10.1039/c6em00222f>.
4. Li Ya, Gao Ch, Wu L. Isolation and possibility of vertical transmission of G9P[23] and G12P[7] group A rotavirus strains in pigs. *Porcine Health Management*. 2025; Vol.11. No.1. 32 p. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00445-6>. EDN: HJGDOP.
5. Caddy S, Papa G, Borodavka A, Desselberger U. Rotavirus research: 2014-2020. *Virus Research*. 2021; Vol.304. 198499 p. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198499>. EDN: FTPIDA.
6. Ferrari E, Vignola G, Bertasio C. Identification of putative novel rotavirus H VP7, VP4, VP6 and NSP4 genotypes in pigs. *Viruses*. 2024; Vol.16. No.1. 68 p. <https://doi.org/10.3390/v16010068>. EDN: CLSXHM.
7. Zhang Zh, Wu Ch, Chen Yu. Isolation, genomic characterization and evolution of six porcine rotavirus A strains in a pig farming group. *Veterinary Sciences*. 2024; Vol.11. No.9. 436 p. <https://doi.org/10.3390/vetsci11090436>. EDN: QBWHYC.
8. Velikzhanina EI, Sashina TA, Novikova NA. [Reassortant strains of Rotavirus A (Sedoreoviridae: Rotavirus: Rotavirus A): the role of animal rotaviruses in the emergence of new variants of human rotavirus]. *Voprosy virusologii*. 2025; Vol.70. 2. 105-116 p. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-306>. EDN: PFCBAZ.
9. Sadiq A, Khan JA. Rotavirus in developing countries: molecular diversity, epidemiological insights and strategies for effective vaccination. *Frontiers in Microbiology*. 2024; Vol.14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1297269>. EDN: TTLTKD.
10. Makhmutov AF, Spiridonov AG, Spiridonov GN. [Use of an associated vaccine and hyperimmune serum for mixed form of infectious diarrhea in newborn piglets]. *Veterinarnyy vrach*. 2021; 1. 30-37 p. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-30-38>. EDN: QAPWED.
11. Plotnikova EM, Efimova MA, Ishmukhametov KT. [Isolation and study of epizootic isolates of porcine rotavirus. Innovative solutions to current issues of biological, toxicological and radiation safety for agro-industrial complex]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu FGBNU FTsTRB-VNIVI, Kazan, 11-12 sentyabrya 2025 goda*. Kazan: FGBNU FTsTRB-VNIVI. 2025; 143-144 p. EDN: DYIPVB.
12. Plotnikova EM, Mukhametshin IR, Shakurov MM. [Selection of highly immunogenic strains of porcine rotaviruses isolated from organs of virus-infected animals]. *Uchenye zapiski Kazanskoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2025; Vol.264. 4. 71-76 p. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-4-264-71>.
13. Vlasova A, Amimo J, Saif L. Porcine rotaviruses: epidemiology, immune responses and control strategies. *Viruses*. 2017; Vol.9. No.3. 48 p. <https://doi.org/10.3390/v9030048>.
14. Okitsu S, Khamrin P, Thongprachum A. Predominance of porcine P[23] genotype rotaviruses in piglets with diarrhea in Northern Thailand. *Journal of clinical microbiology*. 2011; Vol.49. No.1. 442-445 p. <https://doi.org/10.1128/jcm.02263-10>.
15. Papp H, Laszlo B, Jakab F. Review of group A rotavirus strains reported in swine and cattle. *Veterinary microbiology*. 2013; Vol.165. No.3-4. 190-199 p. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.03.020>.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Plotnikova Edie Minachetdinovna* - Doctor of Veterinary Sciences, chief researcher of Radiation Monitoring and Radioecology Laboratory, e-mail: adiya 2397031@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8445-2922>
Shakurov Mulanur Makhmutovich – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of Radiation Monitoring and Radioecology Laboratory, e-mail: shakurov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2563-5948>
Khammadoy Nail Ildarovich – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher of Molecular Genetic Analysis Laboratory, e-mail: nikhammadoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5669-1486>

ВЕТЕРИНАРИЯ

Usoltsev Konstantin Valerevich – Ph.D. of Veterinary Sciences, leading researcher of Molecular Genetic Analysis Laboratory, e-mail: ukv3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5279-9836>

Mukhametshin Ilshat Rishatovich - Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of Radiation Monitoring and Radioecology Laboratory, e-mail: muhamet_il@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0102-922X>
Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia.

НАРАБОТКА БИОМАССЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Г. Н. Спиридонов, А. Ф. Махмутов, В. В. Евстифеев, А.А. Саматова, Л. Ш. Дуплева

Реферат. В настоящей статье изложены результаты экспериментальных исследований, направленных на получение высокоиммуногенных антигенных компонентов ассоциированной вакцины для специфической профилактики желудочно-кишечных заболеваний телят. С применением широкого спектра элективных питательных сред осуществлена наработка биомассы бактерий *Cl. perfringens* серотипов А, С, D; *E. coli*, синтезирующих адгезивные антигены K99, A20; *Streptococcus*; *Salm. enteritidis* и *Salm. dublin* для изготовления ассоциированной вакцины против анаэробной энтеротоксемии, эшерихиоза, сальмонеллеза и стрептококкоза телят. Научно обоснованы и оптимизированы параметры инаktivации бактериальных клеток и продуцируемых ими экзотоксинов, используемых для конструирования препарата. Девитализацию культур производственных штаммов проводили с использованием раствора формальдегида в контролируемых термостатных условиях при температурном оптимуме от 37 до 38 °С. Исследования проведены с использованием питательных сред для выращивания микроорганизмов и *in vivo* на лабораторных животных (белых мышах). Экспериментально доказано, что полная девитализация бактерий *Cl. perfringens*, *Salm. enteritidis* и *Salm. dublin* и их токсинов под сочетанным действием тепла и инаktivанта происходит через 240 ч, *E. coli* – через 120 ч, *Streptococcus* – через 72 ч. Мониторинг чистоты полученных бактериальных суспензий осуществляли посредством световой микроскопии мазков, окрашенных по Граму, а контроль полноты инаktivации – культуральным методом путем высева проб на элективные и дифференциально-диагностические среды: ГРМ-агар, ГРМ-бульон, кровяной ГРМ-агар, среду Китта-Тароцци, агар Сабуро. Констатируется отсутствие пролиферации микроорганизмов на питательных средах при их инкубации в условиях термостата в течение 10 сут. Это свидетельствует об их абсолютной стерильности и пригодности для последующего конструирования ассоциированного биопрепарата.

Ключевые слова: инаktivация, возбудитель, вакцина, антиген, бактерия.

Для цитирования: Спиридонов Г.Н., Махмутов А.Ф., Евстифеев В.В., Саматова А.А., Дуплева Л.Ш. Нарботка биомассы производственных штаммов бактерий для изготовления лечебно-профилактических препаратов // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2026. Том 266 (2). С. 90-95. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_90

Введение. Желудочно-кишечные патологии новорожденных телят представляют собой одну из наиболее актуальных и экономически детерминированных проблем в современном животноводстве [1, 2, 3]. Особую сложность в клинической и эпизоотологической практике представляют заболевания смешанной этиологии, характеризующиеся синергическим патогенетическим воздействием полимикробных ассоциаций. В этиопатогенезе данных инфекций принимают участие вирусы, бактерии, простейшие (*Cryptosporidium parvum*, *Coccidia spp.*), а также грибы (*Candida spp.*, проявляющиеся преимущественно при выраженных иммунодефицитах) [4, 5, 6]. Синергизм инфекционных агентов на фоне транзиторных иммунодефицитных состояний, обусловленных алиментарными факторами (в частности, дефицитом колострального иммунитета), критически снижает естественную резистентность организма телят. Превентивные стратегии в отношении желудочно-кишечных заболеваний полиэтиологичной природы базируются на комплексном подходе, включающем оптимизацию зоогигиенических параметров содержания и нутритивного статуса животных, а также обязательную реализацию программ специфической иммунопрофилактики с использованием высокоэффективных моно- и поливалентных (ассоциированных) вакцинных препаратов [7, 8, 9].

Цель работы – разработка ассоциированного вакцинного препарата для специфической профилактики желудочно-кишечных инфекций телят, сконструированного на основе наиболее этиологически значимых антигенов возбудителей. Для достижения указанной цели на начальном этапе были сформулированы следующие задачи:

- наработать биомассу бактерий *Cl. perfringens*, *E. coli*, *Streptococcus*; *Salm. enteritidis* и *Salm. dublin* для изготовления лечебно-профилактических препаратов;

- оптимизировать и валидировать режимы девитализации (инаktivации) биомассы производственных штаммов, а также алгоритмы контроля чистоты бактериальных культур и верификации полноты их инаktivации.

Условия, материалы и методы. При изготовлении ассоциированной вакцины против анаэробной энтеротоксемии, эшерихиоза, сальмонеллеза и стрептококкоза телят использовали производственные штаммы *Cl. perfringens*: № 28 (серотип А), № 392 (серотип С), № 213 (серотип D); два штамма *E. coli*: «КВ-1» (синтезирующий адгезивный антиген K99) и «ПЗ-3» (синтезирующий адгезивный антиген A20), два штамма сальмонелл, выделенные от больных сальмонеллезом телят: *Salm. enteritidis* «АБП-17» и *Salm. dublin* «СН-16», а также патогенный штамм «АА-24» *Streptococcus*.

Наращивание биомассы производственных штаммов микроорганизмов осуществляли с применением стандартизированных питательных сред: тиогликолевой среды, ГРМ-агара и ГРМ-бульона, обеспечивающих оптимальные ростовые характеристики патогенов.

Результаты и обсуждение. Культивирование производственных штаммов *E. coli*, *Salmonell.* и *Streptococcus* с целью накопления клеточной массы проводили на плотных питательных средах (ГРМ-агар, кровяной ГРМ-агар). Для наращивания биомассы *Cl. perfringens* применяли тиогликолевую среду, при этом строгие анаэробные условия культивирования обеспечивали посредством

герметизации поверхности среды слоем стерильного медицинского вазелинового масла.

В процессе конструирования ассоциированной вакцины критическим этапом являлась экспериментальная отработка и валидация режимов девитализации клеточной биомассы производственных штаммов и детоксикации продуцируемых ими экзотоксинов.

Инаktivация культур производственных штаммов *Cl. perfringens* осуществляли раствором формальдегида. Результаты исследований по определению оптимального режима инаktivации бактериальных клеток *Cl. perfringens* и их токсинов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты исследований по установлению режима инаktivации бактерий *Cl. perfringens*

Концентрация формалина, %	Срок инаktivации, ч				
	24	48	72	96	120
	Наличие роста в тиогликолевой среде				
0,3	+	+	+	–	–
0,5	+	+	+	–	–
0,7	+	+	–	–	–

Примечания: (+) – отмечается рост микроорганизмов, (–) – отсутствует рост микроорганизмов

Исходя из данных таблицы 1, полная потеря жизнеспособности бактерий *Cl. perfringens* под воздействием формальдегида регистрируется через 96 ч при температурном оптимуме от 37 до 38 °С.

Параллельно проводили *in vivo* исследования по определению кинетики трансформации экзотоксинов *Cl. perfringens* в безопасный анатоксин. Биопробы осуществляли на 36 белых мышах, разделенных на 3 группы (по 12 особей). Животные каждой группы были дополнительно разделены на 4 подгруппы (по 3

особи), которым вводили образцы анатоксинов *Cl. perfringens*, отобранные на различных сроках инаktivации. Животным первой группы инъектировали токсин *Cl. perfringens* штамма 28 после 72, 120, 168 и 240 ч инаktivации в дозе 0,5 см³. Аналогичным образом животным 2-й и 3-й групп вводили инаktivированные токсины штаммов № 392 и № 213 соответственно. Клиническое наблюдение за лабораторными моделями вели на протяжении 240 ч. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента по установлению срока перехода токсинов *Cl. perfringens* в анатоксин

Группа животных	Токсин штамма <i>Cl. perfringens</i>	Срок инаktivации токсина, ч			
		72	120	168	240
		Сохранность белых мышей, голов			
I	№ 28	0	0	1	3
II	№ 392	0	0	2	3
III	№ 213	0	0	2	3

Анализ данных, представленных в таблице 2, свидетельствует о 100%-ной выживаемости лабораторных животных в группах, иммунизированных токсином после его 240-часовой экспозиции с инаktivантом. Следовательно, полная детоксикация экзотоксина *Cl. perfringens* и его структурная трансформация в иммуногенный анатоксин под сочетанным воздействием термического фактора и формальдегида достигается при термостатировании в течение 240 ч.

Накопление бактериальной массы производственных штаммов *E. coli* осуществляли на плотной среде ГРМ-агар в условиях термостатирования при от 37 до 3 °С. По истечении 48 ч инкубирования бактериальный газон *E. coli* элюировали с поверхности агара изотониче-

ским раствором хлорида натрия с последующим внесением формальдегида. В ходе эксперимента тестировались различные концентрационно-временные параметры инаktivации. Концентрация формальдегида в суспензии варьировала от 0,3 до 0,7%, а время экспозиции в термостате составляло 24, 48, 72, 96 и 120 ч. Результаты оценки жизнеспособности представлены в таблице 3.

Исходя из результатов, отраженных в таблице 3, абсолютная девитализация клеток *E. coli* констатируется через 96 ч экспозиции при конечной концентрации формальдегида в диапазоне от 0,3 до 0,7%. В качестве оптимального и технологически обоснованного режима инаktivации утверждена экспозиция длительностью 96 ч при концентрации инаktivанта 0,5%.

Таблица 3 – Результаты эксперимента по установлению режима инактивации бактерий *E. coli*

Концентрация формалина, %	Срок инактивации, ч				
	24	48	72	96	120
	Наличие роста на ГРМ-агаре				
0,3	+	+	+	–	–
0,5	+	+	+	–	–
0,7	+	+	–	–	–

Примечания: (+) – отмечается рост микроорганизмов, (–) – отсутствует рост микроорганизмов

Дополнительно *in vivo* изучали сроки конверсии экзо- и эндотоксинов *E. coli* в анатоксин. Биопробы проводили на 36 белых мышах, распределенных на 4 группы по 9 особей, с последующим разделением на 3 подгруппы. Животным 1-й подгруппы инъецировали токсин, обработанный 0,3% формальде-

гидом, 2-й и 3-й подгрупп – токсины, инаktivированные 0,5% и 0,7% раствором соответственно. Результаты исследований (табл. 4) подтверждают, что полная детоксикация токсического комплекса *E. coli* и его стабильный переход в анатоксин завершается через 120 ч при температурном режиме от 37 до 38 °С.

Таблица 4 – Результаты эксперимента по установлению сроков перехода токсинов *E. coli* в анатоксин

Концентрация формалина, %	Срок исследования, ч			
	24	72	120	168
	Сохранность белых мышей			
0,3	0	1	3	3
0,5	0	2	3	3
0,7	0	2	3	3

Наработку биомассы патогенных изолятов *Salm. enteritidis* и *Salm. dublin* проводили на ГРМ-агаре при стандартных условиях термостатирования (от 37 до 38 °С). Через 48 ч культивирования бактериальную массу элюировали изотоническим раствором и подвергали

химической девитализации формальдегидом. Тестировался широкий спектр режимов инактивации: концентрация агента составляла 0,3; 0,5 и 0,7%, время экспозиции – 24, 48, 72, 120, 168, 216 и 240 ч. Результаты бактериологического контроля представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты эксперимента по установлению режимов инактивации *Salm. enteritidis* и *Salm. dublin*

Концентрация формалина, %	Наименование штамма	Срок инактивации, ч						
		24	48	72	120	168	216	240
		Наличие роста на ГРМ-агаре						
0,3	<i>Salm. enteritidis</i>	+	+	+	+	+	+	–
	<i>Salm. dublin</i>	+	+	+	+	+	+	–
0,5	<i>Salm. enteritidis</i>	+	+	+	+	+	+	–
	<i>Salm. dublin</i>	+	+	+	+	+	–	–
0,7	<i>Salm. enteritidis</i>	+	+	+	+	+	–	–
	<i>Salm. dublin</i>	+	+	+	+	–	–	–

Примечания: (+) – отмечается рост микроорганизмов, (–) – отсутствует рост микроорганизмов

Данные таблицы 5 иллюстрируют, что абсолютная потеря репродуктивной способности культур сальмонелл достигается через 240 ч термостатирования при концентрации формальдегида в диапазоне от 0,3 до 0,7%. В качестве референсного (оптимального) режима инактивации для промышленного масштабирования определена экспозиция 240 ч (10 сут.) при конечной концентрации инактиванта 0,5%.

Накопление бактериальной массы производственного штамма «АА-24» *Streptococcus* осуществляли на ГРМ-агаре, обогащенном 5%-ой дефибрированной кровью барана,

путем инкубирования при температуре от 37 до 38 °С. Спустя 48 ч бактериальную массу стрептококков элюировали и инаktivировали формальдегидом. В ходе эксперимента валидировались различные концентрационно-временные параметры инактивации (табл. 6).

Валидацию контаминационной чистоты полученных бактериальных суспензий *Cl. perfringens*, *E. coli*, *Salm. enteritidis*, *Salm. dublin* и *Streptococcus* осуществляли посредством световой микроскопии препаратов, окрашенных по Граму. Верификацию полноты инактивации проводили культуральным методом путем посева проб биомасс на дифферен-

циально-диагностические среды: ГРМ-агар, ГРМ-бульон, кровяной ГРМ-агар, среду Китта-Тароцци, агар Сабуру. Установлено отсутствие пролиферации микроорганизмов во всех исследуемых образцах при их инкубации в термостате в течение 10 сут. Полученные результаты неопровержимо свидетельствуют об абсолютной стерильности и авирулентности антигенного материала, что подтверждает его безопасность и пригодность для конструирования ассоциированной вакцины.

Таким образом, желудочно-кишечные патологии неонатального молодняка крупного рогатого скота продолжают занимать лидирующие позиции в структуре нозологического профиля инфекционных болезней, обуславливая существенный экономический ущерб животноводческой отрасли. Ретроспективный и текущий эпизоотологический мониторинг, реализуемый специалистами ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», достоверно подтверждает доминирование в хозяйствах Среднего Поволжья микст-инфекций, ассоциированных с *Cl. perfringens*, *Salm. enteritidis*, *Salm. dublin*, *E. coli* и *Streptococcus spp.* [10, 11]. Эффективное купирование эпизоотического процесса диктует безальтернативную необходимость внедрения комплексных программ специфической иммунопрофилактики. В данном контексте разработка поливалентной вакцины против анаэробной энтеротоксемии, эшерихиоза, сальмонеллеза и стрептококкоза телят выступает научно обоснованным и стратегически приоритетным направлением. На текущем этапе исследований нами успешно осуществлено масштабирование стандартизированной биомассы производственных штаммов и научно валидированы протоколы их химической девитализации, что формирует фундаментальный базис для последующего проектирования технологического регламента промышленного производства биопрепарата. Вегетативные клетки *Streptococcus* продемонстрировали наивысшую чувствительность к бактерицидному действию формальдегида (элиминация жизнеспособности за 72 ч), тогда как грамотрицательные патогены *Salm. enteritidis* и *Salm. dublin* пролонгированной экспозиции длительностью 240 ч (10 сут). В отношении

Cl. perfringens и *E. coli* критическим аспектом выступала не только бактерицидная эффективность (достигаемая за 96 ч), но и полнота конверсии их токсического комплекса. Трансформация экзо- и эндотоксинов в иммуногенный, но ареактогенный анатоксин потребовала 240 ч для клостридиальных агентов и 120 ч для эшерихий.

Выбор прецизионных режимов инактивации (0,5% формальдегида при температурном оптимуме от 37 до 38 °С) детерминирован необходимостью достижения строгого баланса между гарантированной элиминацией патогенных свойств микроорганизмов, полной детоксикацией их токсинов и максимальным сохранением нативной конформации протективных антигенов. Чрезмерно агрессивные режимы инактивации (повышение концентрации агента или температурного фона) способны индуцировать необратимую денатурацию белковых детерминант, нивелируя иммуногенный потенциал препарата, тогда как суббактерицидная экспозиция сопряжена с рисками реверсии токсичности.

Выводы. В ходе проведенных исследований успешно наработана стандартизированная биомасса производственных штаммов *Cl. perfringens*, *Salm. enteritidis*, *Salm. dublin*, *E. coli* и *Streptococcus*, предназначенная для конструирования поливалентной вакцины против желудочно-кишечных инфекций телят. Экспериментально обоснованы и валидированы оптимальные параметры химической девитализации клеточных суспензий и детоксикации экзотоксинов с использованием 0,5% раствора формальдегида при температурном оптимуме от 37 до 38 °С. Доказано, что полная инактивация патогенов и трансформация их токсинов в безопасные анатоксины достигается дифференцированно: для *Cl. perfringens* и *Salmonella spp.* – через 240 ч экспозиции, для *E. coli* – через 120 ч, для *Streptococcus* – через 72 ч. Бактериологический контроль подтвердил абсолютную стерильность и авирулентность полученных антигенов, что гарантирует их безопасность и пригодность для промышленного производства высокоэффективных ассоциированных биопрепаратов.

Литература

1. Оппортунистические инфекции у животных: причины распространения и меры профилактики / Т. В. Герунов, Л. К. Герунова, В. И. Плешакова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10. С. 152–160. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-152-160>
2. Видовой состав клостридий, выделенных от сельскохозяйственных животных на территории отдельных регионов РФ / А. В. Супова, А. В. Капустин, Н. В. Пименов [и др.] // Сборник трудов научно-практической конференции: Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения. Москва, 2022. С. 305–307. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z22-27>
3. Иммуная защита телят в зависимости от качества молозива / В. Г. Семенов, Е. П. Симурзина, Д. А. Никитин [и др.] // Ветеринарный врач. 2023. № 2. С. 33–40. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_2_33
4. Данилюк А. В., Капустин А. В. Распространенность и видовое разнообразие клостридий - возбудителей анаэробных инфекций крупного рогатого скота // Труды Всероссийского НИИ Экспериментальной ветеринарии имени Я.Р. Коваленко. Москва, 2019. Т. 81. С. 19–26. <https://doi.org/10.30917/ATT-PRINT-2019-10>
5. Изучение эпизоотической ситуации в Приволжском Федеральном округе по анаэробной энтеротоксемии и пастереллезу крупного рогатого скота / Т. Р. Гайнутдинов, Я. М. Курбангалеев, Э.М., Плотнокова [и др.] // Ветеринарный врач. 2025. № 3. С. 66–74. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_3_66

6. Изучение биологических особенностей изолятов *Aeromonas veronii*, выделенных с территории Ульяновской области / А. А. Ломакин, Н. А. Феоктистова, А. В. Мاستиленко [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4(66). 109-114. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-4-109-114>.

7. Метлева А. С., Хакимзянова М. Н., Сионихин Е. Е. Клинические признаки и патологоанатомические изменения при клостридиозной энтеротоксемии кроликов // Ветеринария сегодня. 2024; 13(3): 234-241. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-234-241>

8. Феоктистова Н. А., Антонов Е. В., Баранов А. В. Биологические характеристики бактериофагов *Proteus*, кандидатных для фаготерапии // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (70). С. 140-145. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2025-2-140-145>

9. Шемельков Е. В., Иванов Е. В., Алипер Т. И. Эффективность применения вакцины против некробактериоза животных УНГОВАК-FN // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2 (66). С. 149-155. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-2-149-155>

10. Махмутов А. Ф., Спиридонов А. Г., Спиридонов Г. Н. Применение ассоциированной вакцины и гипериммунной сыворотки при смешанной форме инфекционной диареи новорожденных поросят // Ветеринарный врач. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-30-38>

11. Spiridonov A. Clinical trial results of an associated vaccine against cattle clostridiosis and escherichiosis / A. Spiridonov, G. Spiridonov, A. Makhmutov [et al.] // BIO Web of Conferences 113, 02011 (2024). <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411302011>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Спиридонов Геннадий Николаевич* – доктор биологических наук, заведующий лабораторией, отделение бактериологии, e-mail: spiridonovkzn57@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3558-3667>

Махмутов Айдар Фаритович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, отделение бактериологии, e-mail: Makhmutov.aidar@bk.ru. <https://orcid.org/0000-0002-3697-382X>

Евстифеев Виталий Валерьевич – доктор биологических наук, заведующий отделением бактериологии, e-mail: Vit.evstifeev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9882-3475>

Саматова Альбина Александровна – научный сотрудник, испытательный центр, e-mail: albinasamatova27@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6680-5595>

Дуплева Лилия Шамильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отделение бактериологии, e-mail: dupleva.lilya@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0915-3989>

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань, Россия.

DEVELOPMENT OF BIOMASS OF INDUSTRIAL BACTERIAL STRAINS FOR THE PRODUCTION OF THERAPEUTIC AND PROPHYLACTIC DRUGS

G. N. Spiridonov, A. F. Makhmutov, V. V. Evstifeev, A. A. Samatova, L. Sh. Dupleva

Abstract. This article presents the results of experimental studies aimed at producing highly immunogenic antigenic components of an associated vaccine for the specific prevention of gastrointestinal diseases in calves. Using a wide range of elective nutrient media, we produced bacterial biomass of *Cl. perfringens* serotypes A, C, and D; *E. coli*, synthesizing adhesion antigens K99 and A20; *Streptococcus*; *Salm. enteritidis* and *Salm. dublin* for the production of an associated vaccine against anaerobic enterotoxemia, escherichiosis, salmonellosis and streptococcosis in calves. The parameters for inactivating bacterial cells and the exotoxins they produce, used to construct the vaccine, were scientifically substantiated and optimized. Devitalization of production strain cultures was carried out using a formaldehyde solution under controlled thermostatic conditions at an optimum temperature of 37 to 38°C. Studies were conducted using nutrient media for growing microorganisms and in vivo on laboratory animals (white mice). It was experimentally proven that complete devitalization of *Cl. perfringens*, *Salm. enteritidis* and *Salm. dublin* bacteria and their toxins are inactivated after 240 hours under the combined action of heat and an inactivating agent, after 120 hours for *E. coli* and after 72 hours for *Streptococcus*. The purity of the resulting bacterial suspensions was monitored by light microscopy of Gram-stained smears, and the completeness of inactivation was verified by culture by plating samples on selective and differential diagnostic media: GRM agar, GRM broth, blood GRM-agar, Kitt-Tarozzi medium and Saburo agar. No microbial proliferation was observed on the nutrient media after incubation in a thermostat for 10 days. This indicates their absolute sterility and suitability for the subsequent construction of an associated bioproduct.

Key words: inactivation, pathogen, vaccine, antigen, bacteria.

For citation: Spiridonov G.N., Makhmutov A.F., Evstifeev V.V., Samatova A.A., Dupleva L.Sh. Development of biomass of industrial bacterial strains for the production of therapeutic and prophylactic drugs. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266. (2). p. 90-95. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_90

References

- Gerunov TV, Gerunova LK, Pleshakova VI. [Opportunistic infections in animals: causes of spread and preventive measures]. Vestnik KrasGAU. 2022; 10. 152-160 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-152-160>
- Supova AV, Kapustin AV, Pimenov NV. [Species composition of clostridia isolated from farm animals in certain regions of the Russian Federation]. Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii: Aktualnye problemy veterinarnoy meditsiny, zootekhnii, biotekhnologii i ekspertizy syrya i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya. Moscow, 2022; 305-307 p. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z22-27>
- Semenov VG, Simurzina EP, Nikitin DA. [Immune protection of calves depending on the quality of colostrum]. Veterinarnyy vrach. 2023; 2. 33-40 p. https://doi.org/10.33632/1998-698Xh_2023_2_33
- Danilyuk AV, Kapustin AV. [Prevalence and species diversity of clostridia - causative agents of anaerobic infections in cattle]. Trudy Vserossiyskogo NII Eksperimental'noy veterinarii imeni Ya.R.Kovalenko. Moscow. 2019; Vol.81. 19-26 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-PRINT-2019-10>

5. Gaynutdinov TR, Kurbangaleev YaM, Plotnikova EM. [Study of the epizootic situation in Volga Federal District for anaerobic enterotoxemia and pasteurellosis in cattle]. Veterinarnyy vrach. 2025; 3. 66-74 p. [https://doi.org/ 10.33632/1998-698Kh_2025_3_66](https://doi.org/10.33632/1998-698Kh_2025_3_66)
6. Lomakin AA, Feoktistova NA, Mastilenko AV. [Study of biological characteristics of Aeromonas veronii isolates obtained from Ulyanovsk region]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 4(66). 109-114 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-4-109-114>.
7. Metleva AS, Khakimzyanova MN, Sionikhin EE. [Clinical signs and pathological changes in clostridial enterotoxemia of rabbits]. Veterinariya segodnya. 2024; 13(3). 234-241 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-234-241>
8. Feoktistova NA, Antonov EV, Baranov AV. [Biological characteristics of Proteus bacteriophages, candidates for phage therapy]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2025; 2 (70). 140-145 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2025-2-140-145>
9. Shemelkov EV, Ivanov EV, Aliper TI. [Efficiency of UNGOVAK-FN vaccine using against necrobacteriosis in animals]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2 (66). 149-155 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-2-149-155>
10. Makhmutov AF, Spiridonov AG, Spiridonov GN. [Use of an associated vaccine and hyperimmune serum in mixed form of infectious diarrhea of newborn piglets]. Veterinarnyi vrach. <https://doi.org/10.33632/1998-698Kh.2021-1-30-38>
11. Spiridonov A, Spiridonov G, Makhmutov A. Clinical trial results of an associated vaccine against cattle clostridiosis and escherichiosis. BIO Web of Conferences 113. 02011 (2024). <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411302011>.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Spiridonov Gennadiy Nikolaevich* – Doctor of Biological Sciences, Head of Laboratory, Bacteriology Department, e-mail: spiridonovkzn57@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3558-3667>
 Makhmutov Aydar Faritovich – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher, Bacteriology Department, e-mail: Makhmutov.aidar@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3697-382X>
 Evstifeev Vitaliy Valerevich – Doctor of Biological Sciences, Head of Bacteriology Department, e-mail: Vit.evstifeev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9882-3475>
 Samatova Albina Aleksandrovna – researcher, testing center, e-mail: albinasamatova27@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6680-5595>
 Dupleva Liliya Shamilevna – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher, Bacteriology Department, e-mail: dupleva.liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0915-3989>
 Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia.

**ИЗМЕНЕНИЯ НЕЙРОПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА В УСЛОВИЯХ
СОЦИАЛЬНОГО СТРЕССА И ИХ КОРРЕКЦИЯ ЭКСТРАКТОМ
SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI****В. В. Уранова, Н. А. Ломтева**

Реферат. Социальный стресс является значимым фактором развития психосоматических расстройств. В связи с этим поиск эффективных растительных средств для коррекции стресс-индуцированных состояний, обладающих высокой анксиолитической активностью при минимуме побочных эффектов, остается приоритетом современной науки. Исходя из этого, целью исследования стало изучение влияния экстракта шлемника байкальского (ШБ) на поведенческий статус и уровень тревожности крыс с различным типом доминирования в условиях социального стресса. Для реализации данной цели был проведен эксперимент на 300 белых крысах-самцах, которые были разделены на 3 серии по 6 групп. В рамках методологии модель социального стресса воспроизводилась методом ежедневных межсамцовых конфронтаций в течение 21 дня, что позволило выделить специфические группы «агрессоры» и «жертвы» для дальнейшего анализа. Экстракт ШБ (100 мг/кг) вводился внутривентрикулярно с помощью медицинского зонда. Оценка поведенческих реакций проводилась в тестах «Темно-светлая камера», «Приподнятый крестообразный лабиринт» и «Открытое поле». Установлено, что воздействие социального стресса приводит к глубокому угнетению исследовательской активности, наиболее выраженному у субмиссивных особей, что проявляется снижением локомоции ($p < 0,01$) и ростом эмоционального напряжения ($p < 0,01$). Использование экстракта ШБ оказало выраженное стресс-протективное действие. В группе «агрессоры» также прослеживалась положительная динамика в виде восстановления ориентировочно-исследовательского поведения и достоверного снижения вегетативных маркеров эмоционального напряжения ($p < 0,01$). Курсовое (14 дней) применение экстракта ШБ способствовало эффективному купированию тревожных состояний и нормализации адаптационных возможностей организма. Экстракт ШБ обладает выраженными анксиолитическими свойствами, нивелируя негативные последствия социального стресса. Максимальный корректирующий эффект препарата проявляется у особей с субмиссивным типом поведения, что подтверждает его перспективность в лечении расстройств, вызванных социальной дезадаптацией.

Ключевые слова: социальный стресс, шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis* Georgi), адаптоген, анксиолитическая активность, «агрессоры», «жертвы».

Для цитирования: Уранова В.В., Ломтева Н.А. Изменения нейропсихофизиологического статуса в условиях социального стресса и их коррекция экстрактом *Scutellaria baicalensis* Georgi // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 96-105. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_96

Введение. В современной физиологии проблема адаптации к психосоциальным факторам трансформировалась из узко клинической задачи в фундаментальную междисциплинарную проблему [1, 2]. Социальный стресс, характеризующийся пролонгированным характером и отсутствием фазы быстрой адаптивной разрядки, рассматривается как мощный дестабилизатор гомеостатических констант организма [3, 4]. В отличие от физических стрессоров, социальная дезадаптация инициирует сложный каскад нейрогуморальных сдвигов, затрагивающих не только реактивность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, но и тонкую структурно-функциональную организацию сетей [5, 6]. Актуальность исследования нейропсихоповеденческих реакций в данных условиях диктуется необходимостью поиска физиологических детерминант устойчивости центральной нервной системы (ЦНС) к хроническому психоэмоциональному напряжению.

За последние десятилетия парадигма изучения стресса сместилась в сторону молекулярной нейродинамики. Установлено, что критическим звеном в реализации дезорганизующего влияния социального стресса является

нарушение процессов нейропластичности в структурах лимбического круга [7, 8]. Хроническая гиперкортизолемиа, сопутствующая социальной изоляции или иерархическим конфликтам, провоцирует эксайтотоксичность, опосредованную избыточным выбросом глутамата [9]. Результатом данного процесса выступает атрофия дендритов пирамидальных нейронов префронтальной коры и гиппокампа, что морфологически закрепляет поведенческие нарушения в виде депрессивно-подобных состояний и когнитивной дисфункции [10].

Особую роль в патогенезе играет активация резидентной микроглии. Согласно исследованиям последних лет [11], социальный стресс выступает триггером нейровоспаления, индуцируя гиперпродукцию провоспалительных цитокинов (интерлейкин (IL-1 β) и фактора некроза опухоли-альфа (TNF- α), IL-6). Данный процесс влечет за собой нарушение метаболизма триптофана и преимущественный синтез кинуренина вместо серотонина, формируя биологический базис нейропсихоповеденческих инверсий [12]. Таким образом, социальный стресс является комплексным системным процессом, требующим интегративной физиологической оценки.

В контексте коррекции стресс-индуцированных состояний внимание физиологов традиционно привлекают природные адаптогены, среди которых Шлемник байкальский (ШБ) (*Scutellaria baicalensis* Georgi) занимает уникальное место, благодаря поликомпонентному химическому составу. Основные флавоноиды экстракта – байкалин, байкалеин и вогонин, демонстрирующие высокую биодоступность при пересечении гематоэнцефалического барьера [13, 14].

Анализ научной литературы показывает, что механизмы действия байкалеина связаны с селективной модуляцией ГАМК-А-рецепторов, что обеспечивает мягкий анксиолитический эффект без явлений миорелаксации и когнитивного угнетения [15]. Особое внимание в современной нейрофизиологии уделяется способности флавоноидных соединений ШБ выступать в роли триггеров эндогенных систем нейропротекции.

Согласно результатам последних исследований [16], ключевой механизм восстановления синаптической пластичности при введении экстракта ШБ реализуется через модуляцию сигнального пути, включающего нейротрофический фактор мозга (BDNF), его специфическую тропомиозин-рецепторную киназу типа B (TrkB) и циклический аденозинмонофосфат-рецепторный белок (CREB). Установлено, что байкалин, являющийся основным глюкоуронидом ШБ, обладает способностью активировать фосфорилирование циклического CREB в нейронах гиппокампа. Активированный CREB, являясь фактором транскрипции, инициирует синтез BDNF, что критически важно для предотвращения атрофии дендритов в условиях длительного воздействия глюкокортикоидов. Параллельно с этим, агликон байкалина – байкалеин демонстрирует выраженное влияние на фосфорилирование протеинкиназы B (Akt) и мишени рапамицина у млекопитающих (mTOR). Данный каскад обеспечивает синергизм с BDNF-опосредованными эффектами, способствуя репарации синаптических связей и поддержанию жизнеспособности нейронов префронтальной коры, поврежденных стрессовыми факторами. Другой значимый компонент, вогонин, оказывает регуляторное влияние на нейротрофическую поддержку через ингибирование провоспалительного пути – транскрипционного фактора (NF-κB), тем самым снижая уровень цитокин-индуцированной супрессии гена BDNF [17, 18]. Таким образом, сочетанное действие байкалина, байкалеина, вогонина и других флавоноидов обеспечивает многоуровневую стимуляцию нейропластичности, что создает физиологический фундамент для нивелирования нейропсихоповеденческого дефицита, вызванного стрессовым воздействием. Исследования последних лет [19, 20] подтверждают выраженную антиоксидантную активность экстракта ШБ, проявляющуюся в способности ингибировать перекисное окисление липидов и восстанавливать

активность эндогенных антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы и каталазы. Выявленные механизмы позволяют рассматривать ШБ не просто как симптоматическое средство, а как патогенетически обоснованный модулятор физиологического ответа организма на хроническую социальную стрессогенную нагрузку.

Несмотря на изученность отдельных антиоксидантных и противовоспалительных эффектов ШБ, в современной литературе наблюдается дефицит системных работ, посвященных оценке его влияния именно на поведенческий фенотип в условиях моделирования социальных стресс-факторов. В большинстве экспериментальных моделей используются иммобилизационные или фармакологические методы индукции стресса, которые не в полной мере отражают сложность этологических перестроек при социальной дезадаптации [21, 22, 23]. Остается открытым вопрос о возможности экстракта ШБ нивелировать сдвиги в иерархическом поведении и восстанавливать исследовательскую активность в условиях высокой социальной неопределенности.

Особый научно-практический интерес в рамках данной работы представляет изучение экстракта ШБ, культивированного в специфических агроклиматических условиях Астраханской области. Известно, что биосинтез вторичных метаболитов в лекарственных растениях, в частности флавоноидов, находится в прямой зависимости от комплекса экологических факторов: интенсивности инсоляции, температурного режима и степени гидратации почвы [24, 25].

Аридные условия Прикаспийского региона, характеризующиеся экстремально высокими температурами в вегетационный период и повышенным уровнем солнечной радиации, выступают в роли естественных абиотических стрессоров для растения. Согласно концепции экологической адаптации, такие условия стимулируют усиленный синтез полифенольных соединений в качестве защитного механизма растительного организма [26]. В связи с этим, изучение нейропсихофизиологического статуса именно астраханской популяции ШБ является актуальным, так как специфический мезоклимат региона может специфицировать формирование уникального количественного соотношения активных компонентов, потенциально обладающих более высокой биологической эффективностью по сравнению с образцами из других географических зон.

Таким образом, оценка нейропсихоповеденческих эффектов экстракта, полученного из сырья, выращенного на территории Астраханской области, позволяет не только расширить представления о фармакологических свойствах вида, но и обосновать перспективность культивирования ШБ на юге России как источника высококачественного адаптогенного сырья для нужд современной фармации.

Целью настоящей работы явилась комплексная физиологическая оценка

нейропсихоповеденческих реакций организма при воздействии социального стресса и изучение потенциала их коррекции экстрактом *Scutellaria baicalensis* Georgi.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования служил экстракт, полученный из корней растения шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi), культивируемого, собранного и заготовленного на территории Астраханской области, методом мацерации. Работа выполнена на 300 нелинейных половозрелых самцах белых крыс в возрасте 5-9 месяцев со средней массой $245,7 \pm 27,24$ г. Исследование включало 3 серии экспериментов, в каждой из которых животные были разделены на 6 групп. Животные содержались в стандартных условиях вивария при свободном доступе к воде и корму. Эксперимент проведен с соблюдением этических норм гуманного обращения с лабораторными животными согласно требованиям Межгосударственного стандарта «Принципы надлежащей лабораторной практики» (ГОСТ 33044-2014) и положений Директивы 2010/63/EU.

Методом рандомизации животные были разделены на шесть экспериментальных групп: I группа (n=20) – контроль (вода для инъекций); II группа (n=20) – животные, получавшие экстракт ШБ; III группа (n=15) – особи с доминантным типом поведения («агрессоры»), находившиеся под воздействием «социального» стресса; IV группа (n=15) – крысы с субмиссивным типом поведения («жертвы»), подвергнутые аналогичному стрессогенному фактору; V группа (n=15) – «агрессоры», получавшие экстракт ШБ на фоне социального стресса; VI группа (n=15) – «жертвы», получавшие экстракт ШБ в условиях «социального» стресса.

«Социальный» стресс моделировался в течение 21 дня по методике формирования парного сенсорного контакта [27]. В группах II, V и VI экстракт ШБ вводился внутривенно в дозировке 100 мг/кг/сут в течение 14 дней, а в группах I, III и IV эквивалентный объем воды для инъекций.

Нейропсихоповеденческие реакции крыс изучали в тестах «Темно-светлая камера» [28], «Приподнятый крестообразный лабиринт» [29], «Открытое поле» [30]. Регистрация доменов тревожности, исследовательской активности, вегетативного баланса и эмоциональности проводили на протяжении 300 с.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программного пакета «Statistica 10.0» (StatSoft Inc., США). Описание количественных данных представлено в формате $M \pm m$, где M – среднее арифметическое значение, а m – стандартная ошибка среднего.

Первичный анализ включал оценку характера распределения признаков в каждой выборке с применением критерия Шапиро-Уилка. Учитывая соответствие полученных

данных закону нормального распределения, для оценки статистической значимости межгрупповых различий использовали параметрический t-критерий Стьюдента для зависимых выборок. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез считали $p < 0,05$; также фиксировали высокосignимые различия при $p < 0,01$ [31].

Результаты и обсуждение. В ходе исследования была проведена комплексная оценка нейропсихоповеденческого статуса крыс в условиях экспериментального социального стресса и на фоне коррекции экстрактом ШБ. Установлено, что моделирование социального стресса привело к формированию выраженного тревожного статуса (табл. 1). У животных группы «Стресс-агрессоры» время пребывания в светлом отсеке сократилось в 1,4 раза ($p < 0,05$), а в группе «Стресс-жертвы» – в 2,0 раза ($p < 0,01$) относительно контроля. Время нахождения в темном отсеке закономерно увеличилось в 1,3 раза и 1,4 раза соответственно ($p < 0,05$) в сравнении с контролем. Двигательно-поисковая активность (количество переходов) снизилась в 1,6 раза ($p < 0,05$) у агрессоров и в 2,6 раза у жертв ($p < 0,01$), при этом эмоциональное напряжение, оцениваемое по количеству болюсов, возросло в 1,9 раза ($p < 0,05$) и в 2,5 раза ($p < 0,01$) относительно контрольной группы. Межгрупповой анализ показал, что «Стресс-жертвы» демонстрируют в 1,4 раза ($p < 0,05$) меньшее время пребывания в светлом отсеке, в 1,7 раза ($p < 0,05$) меньшую локомоцию и в 1,3 раза ($p < 0,05$) больше актов дефекаций, чем «агрессоры», что свидетельствует о более глубокой депрессии поведенческой активности у субмиссивных особей.

Применение экстракта ШБ эффективно нивелировало последствия социального стресса. В группе «Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры» время в светлом отсеке увеличилось в 1,8 раза ($p < 0,05$), количество переходов в 2,1 раза ($p < 0,01$), кроме того наблюдалось сокращение интервала пребывания в темном отсеке в 1,3 раза ($p < 0,05$), а количество болюсов в 2,5 раза ($p < 0,01$) относительно особей группы III.

Наиболее выраженная динамика отмечена в группе «Стресс-Экстракт ШБ-Жертвы». Время в светлом отсеке возросло в 2,5 раза ($p < 0,01$), а количество переходов – в 3,3 раза ($p < 0,01$) в сравнении с группой «Стресс-Жертвы». Уровень эмоциональности (количество болюсов) при введении экстракта значимо снизился в 3,1 раза ($p < 0,01$), а время, проведенное в темном отсеке в 1,4 раза ($p < 0,05$). При сопоставлении показателей животных V группы («Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры») с результатами контрольной группы IV («Стресс-Жертвы») выявлены наиболее контрастные различия ($p < 0,05-0,01$), свидетельствующие о глубокой функциональной перестройке поведения под влиянием введения исследуемого экстракта.

ВЕТЕРИНАРИЯ

Таблица 1 – Влияние экстракта ШБ на показатели тревожности у крыс в условиях моделирования социального стресса (тест «Темно-светлая камера»)

№	Группа	Показатели (M±m)			
		Время, с		Количество, шт	
		Светлый отсек	Темный отсек	Переходы	Болюсы
I	Контрольная	39,9±2,08	208,6±13,78	5,2±0,27	2,1±0,14
II	Экстракт ШБ	60,8±3,64 *▲▲☼☼	203,2±11,89 ▲☼	8,0±0,42 *▲▲☼☼	1,5±0,10 *▲▲☼☼
III	Стресс-Агрессоры	28,4±1,81 ***	270,1±13,21 *	3,3±0,19 ***	4,0±0,35 ***
IV	Стресс-Жертвы	19,7±1,59 **	282,3±13,84 *	2,0±0,11 **	5,2±0,43 **
V	Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры	52,3±2,51 *▲☼☼	201,7±14,50 ▲☼	7,0±0,33 *▲▲☼☼	1,6±0,15 *▲▲☼☼
VI	Стресс-Экстракт ШБ-Жертвы	49,7±3,08 *▲☼☼	203,3±15,32 ▲☼	6,5±0,19 *▲▲☼☼	1,7±0,18 *▲▲☼☼

Примечание: относительно * - контрольной группы в норме * - при $p<0,05$; ** - при $p<0,01$. ▲ - группы агрессоров в условиях «социального» стресса ▲ - при $p<0,05$; ▲▲ - при $p<0,01$. ☼ - группы жертв в условиях «социального» стресса в ☼ - при $p<0,05$; ☼☼ - при $p<0,01$. *** - агрессоры относительно жертв ** - при $p<0,05$; **** - при $p<0,01$.

Введение экстракта ШБ вне стрессового воздействия также стимулировало поведенческую активность. Время в светлом отсеке и количество переходов увеличилось в 1,5 раза ($p<0,05$), при снижении вегетативных признаков тревожности в 1,4 раза ($p<0,05$). При сопоставлении данных показателей с результатами групп III и IV установлено более выраженное действие экстракта ШБ, чем в условиях стресса.

Анализ данных теста ПКЛ (табл. 2) выявил значительные изменения нейропсихического

статуса животных под влиянием как социального стресса, так и коррекции экстрактом ШБ. Применение экстракта ШБ у контрольных животных привело к выраженной модуляции исследовательского поведения. Время пребывания в открытых рукавах лабиринта увеличилось в 1,6 раза ($p<0,01$), а количество переходов возросло в 1,4 раза ($p<0,05$). Одновременно зафиксировано снижение вегетативных проявлений тревожности, выражающееся в сокращении количества болюсов в 1,6 раза ($p<0,05$) относительно контроля.

Таблица 2 – Поведенческая активность и уровень тревожности крыс с различным социальным статусом в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» на фоне введения экстракта ШБ

№	Группа	Показатели (M±m)			
		Время, с		Количество, шт	
		Открытые рукава	Закрытые рукава	Переходы	Болюсы
I	Контрольная	40,2±4,08	185,6±11,86	4,7±0,65	1,8±0,19
II	Экстракт ШБ	65,3±5,59 *▲▲☼☼	156,6±11,20 ▲☼	6,7±0,79 *▲▲☼☼	1,1±0,09 *▲▲☼☼
III	Стресс-Агрессоры	22,5±2,10 *	265,1±23,28 *	2,5±0,31 **	3,2±0,35 *
IV	Стресс-Жертвы	16,1±1,77 **	261,8±27,69 *	2,2±0,37 **	3,8±0,40 **
V	Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры	61,9±4,38 *▲▲☼☼	161,3±21,04 ▲☼	6,5±0,93 *▲▲☼☼	1,3±0,15 *▲▲☼☼
VI	Стресс-Экстракт ШБ-Жертвы	69,4±4,98 *▲▲☼☼	164,8±20,06 ▲☼	6,1±0,89 *▲▲☼☼	1,3±0,14 *▲▲☼☼

Примечание: относительно * - контрольной группы в норме * - при $p<0,05$; ** - при $p<0,01$. ▲ - группы агрессоров в условиях «социального» стресса ▲ - при $p<0,05$; ▲▲ - при $p<0,01$. ☼ - группы жертв в условиях «социального» стресса в ☼ - при $p<0,05$; ☼☼ - при $p<0,01$. *** - агрессоры относительно жертв ** - при $p<0,05$; **** - при $p<0,01$.

Воздействие социального стресса привело к угнетению ориентировочно-исследовательской активности. У особей группы «Стресс-Агрессоры» время нахождения в открытых рукавах сократилось в 1,8 раза ($p<0,05$), интервал присутствия в закрытых рукавах увеличился в 1,4 раза ($p<0,05$), число переходов уменьшилось в 1,9 раза ($p<0,05$), а количество болюсов увеличилось в 1,8 раза ($p<0,05$) относительно контроля. В группе «Стресс-Жертвы» анксиогенный эффект был более выраженным. Время в комфортных (закрытых) рукавах возросло в 1,4 раза ($p<0,05$), в то время как время пребывания в открытых рукавах снизилось в 2,5 раза ($p<0,01$), в свою очередь уровень эмоциональности (по количеству болюсов) увеличился в 2,1 раза ($p<0,01$), а число переходов уменьшилось в 2,1 раза ($p<0,01$).

Использование экстракта ШБ на фоне продолжающегося стрессового воздействия продемонстрировало выраженный стресс-протективный эффект. Зафиксировано, что у группы «Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры» с коррекцией (V относительно III): время в открытых рукавах увеличилось в 2,8 раза ($p<0,01$), а в закрытых рукавах сократилось в 1,6 раза ($p<0,05$), локомоторная активность возросла в 2,6 раза ($p<0,01$), а показатель дефекации снизился в 2,5 раза ($p<0,01$).

Группа «Стресс-Экстракт ШБ-Жертвы» с коррекцией (VI относительно IV): наблюда-

лась наиболее значимая динамика. Время пребывания в открытых рукавах увеличилось в 4,3 раза ($p<0,01$), а закрытых снизилось в 1,6 раза ($p<0,05$), количество переходов выросло в 2,8 раза ($p<0,01$), в то время как вегетативный индекс тревожности (число болюсов) сократился в 2,9 раза ($p<0,01$). При сопоставлении данных показателей с результатами групп III и IV установлено более выраженное действие экстракта ШБ, чем в условиях стресса, что подтверждает, что экстракт ШБ эффективно купирует состояние стресс-индуцированной тревоги, способствуя восстановлению поведенческой пластичности независимо от исходного типа доминирования.

Анализ поведенческой активности в тесте «Открытое поле» выявил значительные изменения локомоции и эмоциональности под влиянием социального стресса и корректирующее действие экстракта ШБ (табл. 3). В условиях социального стресса у животных наблюдалось угнетение ориентировочно-исследовательской активности. В группе «агрессоров» (III) количество пересеченных квадратов сократилось в 1,5 раза ($p<0,05$), в то время как у «жертв» (IV) данный показатель снизился более выраженно – в 2,3 раза ($p<0,01$) относительно контроля. Снижение двигательной активности сопровождалось ростом вегетативных проявлений тревожности и выражающуюся в увеличении количества болюсов в 1,9 раза у агрессоров ($p<0,05$) и в 2,3 раза у жертв ($p<0,01$).

Таблица 3 – Показатели ориентировочно-исследовательской активности и эмоционального статуса крыс с различным типом поведения в тесте «Открытое поле» на фоне применения экстракта ШБ в условиях социального стресса

№	Группа	Количество, шт.	
		Пересеченных квадратов	Болюсы
I	Контрольная	31,7±2,14	1,5±0,14
II	Экстракт ШБ	45,4±2,79*▲☼☼	0,8±0,07*▲▲☼☼
III	Стресс-Агрессоры	20,9±1,9*☼☼	2,9±0,33*
IV	Стресс-Жертвы	14,1±1,56**	3,5±0,29**
V	Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры	40,5±3,76*▲☼☼	1,0±0,12*▲▲☼☼
VI	Стресс-Экстракт ШБ-Жертвы	40,9±4,08*▲☼☼	0,9±0,15*▲▲☼☼

Примечание: относительно * - контрольной группы в норме * - при $p<0,05$; ** - при $p<0,01$. ▲ - группы агрессоров в условиях «социального» стресса ▲ - при $p<0,05$; ▲▲ - при $p<0,01$. ☼ - группы жертв в условиях «социального» стресса в ☼ - при $p<0,05$; ☼☼ - при $p<0,01$. ☼☼ - агрессоры относительно жертв ☼☼ - при $p<0,05$; ☼☼☼ - при $p<0,01$.

Применение экстракта ШБ на фоне стресса привело к изменению изученных параметров. В группе особей «Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры» (V), получавших экстракт ШБ, отмечено увеличение числа пересеченных квадратов в 1,9 раза ($p<0,05$) при одновременном снижении количества болюсов в 2,9 раза ($p<0,01$) относительно группы стресса без коррекции (III). Наиболее значимая позитивная динамика зафиксирована в группе «жертв» (VI). Введение экстракта ШБ способствовало росту горизонтальной активности в 2,9 раза ($p<0,01$) и снижению уровня эмоци-

ональности по количеству болюсов в 3,9 раза ($p<0,01$) в сравнении с соответствующей контрольной группой социального стресса (IV).

Стоит отметить, что у животных, получавших экстракт ШБ (II) в условиях моделирования социального стресса, также наблюдалась стимуляция двигательной активности (рост в 1,4 раза, $p<0,05$) и снижение эмоционального напряжения (сокращение болюсов в 1,9 раза, $p<0,05$) по сравнению с группой I. Сравнительный анализ поведенческих реакций в условиях социального стресса выявил статистически значимые различия между животными с раз-

ным типом поведения. При сопоставлении группы «агрессоров» (III) и группы «жертв» (IV) установлено, что особи с субмиссивным типом поведения более подвержены негативному влиянию стрессирующих факторов. Так, горизонтальная двигательная активность у жертв (IV) была в 1,5 раза ниже ($p < 0,01$), чем у агрессоров (III). Таким образом, экстракт ШБ проявляет выраженные анксиолитические и актропротекторные свойства, эффективно нивелируя поведенческие дефициты, вызванные межсамцовыми конфронтациями, особенно у особей с субмиссивным типом поведения.

Моделирование социального стресса методом формирования сенсорного контакта привело к глубокой депрессии ориентировочно-исследовательской деятельности и росту анксиогенности у подопытных животных, что согласуется с современными представлениями о патогенезе психоэмоциональной дезадаптации при хронических межсамцовых конфронтациях. Наблюдаемое снижение локомоции и времени пребывания в открытых, незащищенных пространствах (тесты «Темно-светлая камера», «Приподнятый крестообразный лабиринт», «Открытое поле») на фоне роста вегетативных проявлений (дефекации) свидетельствует о формировании устойчивого тревожно-депрессивного состояния. Формирование стойкого тревожно-депрессивного состояния у подопытных животных в условиях модели «социального стресса» (группы III и IV) согласуется с классическими представлениями о развитии нейробиологической дезадаптации при хроническом этологическом конфликте. Выявленная по полученным результатам более глубокая супрессия исследовательского поведения у субмиссивных особей по сравнению с доминантами подтверждает гипотезу о типоспецифичности стресс-реактивности. Особи-жертвы демонстрируют пассивную стратегию адаптации с резким преобладанием процессов торможения в ЦНС, тогда как у «агрессоров» сохраняется относительная сохранность локомоторного компонента [32].

Корректирующий эффект экстракта ШБ, проявившийся в многократном увеличении экспозиции экстероцептивных стимулов (время в светлых отсеках и открытых рукавах) и снижении вегетативной нагрузки (число болюсов), может быть обусловлен уникальным флавоноидным составом растения. Ключевые активные компоненты ШБ – байкалин, байкалеин и вогонин обладают высоким сродством к бензодиазепиновому рецепторному участку ГАМКА-рецепторного комплекса. Модулируя ГАМК-ергическую трансмиссию, компоненты экстракта ШБ, вероятно, восстанавливают баланс между процессами возбуждения и торможения в лимбических структурах мозга (миндалевидном теле и гиппокампе), что клинически проявляется купированием страха и тревоги [33].

Особый интерес представляет тот факт, что в группах V и VI выраженность эффекта экстракта оказалась значительно выше, чем в условиях физиологической нормы. Данное явление можно объяснить концепцией «функционального резерва»: в условиях стресс-индуцированного дефицита эндогенных регуляторов нейробиохимические мишени становятся более чувствительными к экзогенным лигандам. Полученные результаты созвучны с данными [20, 21], указывающими на антиоксидантный потенциал флавоноидов ШБ, которые ограничивают перекисное окисление липидов в нейрональных мембранах, предотвращая гибель нейронов в условиях гиперкортизолемии.

Превосходство динамики показателей в группе «Стресс-Экстракт ШБ-Жертвы» над группой «Стресс-Экстракт ШБ-Агрессоры» указывает на селективную эффективность препарата в коррекции наиболее тяжелых форм анксиозности. Вероятно, экстракт ШБ не просто подавляет тревогу, а выступает в роли адаптогена, восстанавливающего поведенческую пластичность. Механизм данного процесса может быть связан с ингибированием IL-1 β , TNF- α и повышением экспрессии BDNF, что способствует репарации синаптических связей, нарушенных при стрессовом воздействии [16, 17, 18].

Сравнительный анализ поведенческих паттернов в тестах «Темно-светлая камера», «Приподнятый крестообразный лабиринт» и «Открытое поле» показывает, что экстракт ШБ, полученный из сырья, культивированного на территории Астраханской области, обладает высокой анксиолитической активностью, что позволяет рассматривать локально культивируемый ШБ как перспективный источник для создания импортозамещающих стресс-протективных средств с минимальным побочным седативным эффектом, что обосновывает целесообразность его дальнейшего изучения в рамках системной физиологии и фармакологии инновационных растительных субстанций.

Выводы. На основании представленных результатов и их обсуждения можно сформулировать следующие выводы:

1. Моделирование социального стресса на протяжении 21 дня вызывает формирование устойчивого тревожно-депрессивного состояния, проявляющегося в снижении ориентировочно-исследовательской активности и росте вегетативной эмоциональности, при этом субмиссивные особи демонстрируют более глубокую депрессию поведенческой пластичности по сравнению с доминантами.

2. Экстракт ШБ обладает выраженным анксиолитическим действием, эффективно нивелируя последствия стресса у обеих этологических групп: время пребывания в преферентных зонах (светлый отсек, открытые рукава) увеличивается, сопровождаясь значительным снижением уровня тревожности и локомоторной активности.

3. Установлена типоспецифическая эффективность препарата: наиболее выраженный стресс-протективный эффект зафиксирован у группы «жертв» (увеличение пребывания в открытых рукавах), что указывает на селективное модулирующее влияние экстракта ШБ в условиях наиболее тяжелой нейropsychической дезадаптации.

4. Действие экстракта ШБ характеризуется как стресс-лимитирующее и адаптогенное. Коррекция поведенческих дефицитов на фоне стресса превосходит по интенсивности модуля-

цию поведения у интактных животных, что подтверждает вовлечение механизмов восстановления ГАМК-ергического баланса и нейропластичности.

5. Результаты исследования обосновывают перспективность использования экстракта ШБ, культивируемого в Астраханской области, как эффективной субстанции для разработки отечественных анксиолитических средств, способствующих восстановлению функционального статуса ЦНС вне зависимости от исходного типа социального доминирования.

Литература

1. Арапова О. И. Феномен адаптации. Теоретический обзор // Психология. Психофизиология. 2023. Т. 16. № 3. С. 111-122. <https://doi.org/10.14529/jpps230310>.
2. Стресс (общий адаптационный синдром) / Л. О. Гуцол, Е. В. Гузовская, С. Н. Серебrenникова, И. Ж. Семинский // Байкальский медицинский журнал. 2022. Т. 1. № 1. С. 70-80. <https://doi.org/10.57256/29490715-2022-1-1-70-80>.
3. The neuroimmunology of social-stress-induced sensitization / R. G. Biltz, C. M. Sawicki, J. F. Sheridan, J. P. Godbout // Nature immunology. 2022. Vol. 23. № 11. P. 1527-1535. <https://doi.org/10.1038/s41590-022-01321-z>.
4. Multi-systemic evaluation of biological and emotional responses to the Trier Social Stress Test: A meta-analysis and systematic review / I. S. C. Man, R. Shao, W.K. Hou, S. X. Li, F. Y. Liu, M. Lee, Y. K. Wing, S. Yau, T. M.C. Lee // Frontiers in Neuroendocrinology. 2023. Vol. 68. P. 101050. <https://doi.org/10.1016/j.yfne.2022.101050>.
5. Stress Effects on Neuronal Structure: Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex / B. S. McEwen, C. Nasca, J. D. Gray // Neuropsychopharmacology. 2016. Vol. 41, № 1. P. 3-23. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.171>.
6. Miller A. H., Raison C. L. The role of inflammation in depression: from evolutionary imperative to modern treatment target // Nature Reviews Immunology. 2016. Vol. 16, № 1. P. 22-34. <https://doi.org/10.1038/nri.2015.5>.
7. Building resilience: The stress response as a driving force for neuroplasticity and adaptation / E. J. Hermans, T. Hendler, R. Kalisch // Biological Psychiatry. 2025. Vol. 97. № 4. P. 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.10.016>.
8. Influence of leptin and its receptors on individuals under chronic social stress behavior / R. M. Melo, R. S. Barbosa, V. L. Ozorio, G. M. Oliveira, S. I. Horita, A. Henriques-Pons, T. C. Araújo-Jorge, V. M. Fragozo // Frontiers in Endocrinology. 2024. Vol. 15. P. 1281135. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1281135>.
9. Emerging evidence for the widespread role of glutamatergic dysfunction in neuropsychiatric diseases / T. McGrath, R. Baskerville, M. Rogero, L. Castell // Nutrients. 2022. Vol. 14. № 5. P. 917. <https://doi.org/10.3390/nu14050917>.
10. Gulyaeva N. V. Neuroendocrine control of hyperglutamatergic states in brain pathologies: the effects of glucocorticoids // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2022. Vol. 58. № 5. P. 1425-1438. <https://doi.org/10.1134/S0022093022050131>.
11. Dantzer R. Neuroimmune interactions: from the brain to the immune system and vice versa // Physiological reviews. 2018. Vol. 98. № 1. P. 477-504. <https://doi.org/10.1152/physrev.00039.2016>.
12. Neuroinflammation caused by mental stress: the effect of chronic restraint stress and acute repeated social defeat stress in mice / Y. Zhu, E. A. Klomparens, S. Guo, X. Geng // Neurological Research. 2019. Vol. 41. № 8. P. 762-769. <https://doi.org/10.1080/01616412.2019.1615670>.
13. Research progress on pharmacological properties and application of probiotics in the fermentation of *Scutellaria baicalensis* Georgi / F. Guo, C. Li, J. Dou, J. Liang, Z. Chen, Z. Xu, T. Wang // Frontiers in Nutrition. 2024. Vol. 11. P. 1407182. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1407182>.
14. *Scutellaria baicalensis* Georgi is a promising candidate for the treatment of autoimmune diseases / J. Wang, S. Chen, J. Zhang, J. Wu // Frontiers in pharmacology. 2022. Vol. 13. P. 946030. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.946030>.
15. Baicalein as promising anticancer agent: a comprehensive analysis on molecular mechanisms and therapeutic perspectives / A. K. M. H. Morshed, S. Paul, A. Hossain, T. Basak, M. S. Hossain, M. M. Hasan, M. A. Hasibuz-zaman, T. I. Rahaman, M. A. R. Mia, P. Shing, M. Sohel, S. Bibi, P. Biswas, M. N. Hasan, L. C. Ming, C. S. Tan // Cancers. 2023. Vol. 15. № 7. P. 2128. <https://doi.org/10.3390/cancers15072128>.
16. Liaqat H., Parveen A., Kim S. Y. Antidepressive effect of natural products and their derivatives targeting BDNF-TrkB in gut-brain axis // International journal of molecular sciences. 2022. Vol. 23. № 23. P. 14968. <https://doi.org/10.3390/ijms232314968>.
17. Singh S., Tiwari S., Agrawal R. Exploring the bioactive constituents and pharmacological activity of *Scutellaria baicalensis* Georgi, or Chinese skullcap // Current Bioactive Compounds. 2025. Vol. 21. № 5. P. E15734072322467. <https://doi.org/10.2174/0115734072322467240816112529>.
18. Recent advances in *Scutellariae radix*: A comprehensive review on ethnobotanical uses, processing, phytochemistry, pharmacological effects, quality control and influence factors of biosynthesis / W. Ma, T. Liu, O. D. Ogaji, J. Li, K. Du, Y. Chang // Heliyon. 2024. Vol. 10. № 16. P. 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36146>.
19. Antioxidant capacity of plant raw material of *Scutellaria baicalensis* Georgi / O. Vergun, L. Svydenko, O. Grygorieva, O. Shymanska, D. Rakhmetov, J. Brindza, E. Ivanišová // Slovak Journal of Food Sciences/ Potravinárstvo. 2019. Vol. 13. № 1. P. 614-621. <https://doi.org/10.5219/1090>.
20. Optimization of Extraction Process by Response Surface Methodology, Composition Analysis and Antioxidant Activity of Total Flavonoids from *Scutellaria baicalensis* Georgi / H. Gan, W. Lan, M. Wang, J. Xu, K. Zhang,

Y. Tang, X. Gao, A. Kadier, C. Chen, J. Wu, T. Liu, C. Jin, G. Yan, Y. Zhou // *Molecules*. 2026. Vol. 31. №. 3. P. 507. <https://doi.org/10.3390/molecules31030507>.

21. Antioxidant analysis and quality standardization of *Scutellaria baicalensis* tablets using multidimensional analytical methodologies / J. Zhang, J. Zeng, X. Xiu, L. Lan, G. Sun // *Food Chemistry*. 2025. Vol. 485. P. 144505. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144505>.

22. *Scutellaria baicalensis* Georgi (*Lamiaceae*): a review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology / T. Zhao, H. Tang, L. Xie, Y. Zheng, Z. Ma, Q. Sun, X. Li // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2019. Vol. 71. №. 9. P. 1353-1369. <https://doi.org/10.1111/jphp.13129>.

23. Exploring bioactive constituents and pharmacological effects of *Scutellaria baicalensis* Georgi: a review / Y. Liu, Z. Gao, Y. Zhao, L. Kong, X. Ji, J. Wu, Z. Gao // *Natural Product Communications*. 2024. Vol. 19. №. 8. P. 1934578X241266692. <https://doi.org/10.1177/1934578X241266692>.

24. Fang D., Zheng C., Ma Y. Effectiveness of *Scutellaria baicalensis* Georgi root in pregnancy-related diseases: A review // *Journal of Integrative Medicine*. 2023. Vol. 21. №. 1. P. 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.joim.2022.09.005>.

25. A novel strategy for active compound efficacy status identification in multi-tropism Chinese herbal medicine (*Scutellaria baicalensis* Georgi) based on multi-indexes spectrum-effect gray correlation analysis / X. Deng, H. Y. Lei, Y. S. Ren, J. Ai, Y. Q. Li, S. Liang, L. L. Chen, M. C. Liao // *Journal of ethnopharmacology*. 2023. Vol. 300. P. 115677. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115677>.

26. Достижение нейтрального баланса деградации земель как индикатор адаптации наземных экосистем к изменениям климата в Прикаспийском регионе / Г. С. Куст, В. А. Лобковский, О. В. Андреева, Д. С. Шкляева // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2025. Т. 88. №. 3. P. 449-466. <https://doi.org/10.31857/S2587556624030149>.

27. The experimental study of the immunomodulating action of Semax and Selank on the model of „social” stress / A. L. Yasyenyavskaya, M. A. Samotruyeva, N. F. Myasoedov, L. A. Andreeva // *European Pharmaceutical Journal*. 2022. Vol. 69. №. 1. P. 54-60. <https://doi.org/10.2478/afpuc-2022-0004>.

28. Влияние 2-этил-6-метилпиридинол-3-ил-тиооктаноата и его неэтерифицированных компонентов на тревожное поведение крыс в тесте «темно-светлая камера» / И. А. Волчегорский, А. И. Синицкий, С. И. Гробовой, Р. Р. Михайлов, И. Ю. Мирошниченко, Л. М. Рассохина // *Химико-фармацевтический журнал*. 2025. Т. 59. №. 4. P. 3-7. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2025-59-4-3-7>.

29. Павлов В. М., Федотова А. Ю. Изучение стресс-протекторных свойств пептида АРНСЗ в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» на мышах ICR // *Биомедицина*. 2024. Т. 20. №. 3Е. P. 202-205. <https://doi.org/10.33647/2713-0428-20-3Е-202-205>.

30. Индивидуально-типологические особенности реагирования лабораторных крыс на многокомпонентный стресс / А. А. Гостюхина, Т. А. Замощина, А. В. Прокопова, К. В. Зайцев // *Современные вопросы биомедицины*. 2022. Т. 6. №. 2 (19). С. 47-55. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_5.

31. Ломовской Р. А. Статистический анализ данных: методы и приложения в научных исследованиях // *Актуальные исследования*. 2023. Т. 15. №. 145. P. 29. https://doi.org/10.51635/27131513_2023_15_1_29.

32. Лекарственные растения с общеукрепляющей и тонизирующей активностью, произрастающие в Республике Бурятия (обзор) / П. Г. Мизина, И. А. Лупанова, В. В. Карабаева, Е. В. Ферубко, О. А. Алтаева, О. Ю. Давыдова // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2024. Т. 27. №. 1. P. 3-14. <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-01-01>.

33. Research progress of *Scutellaria baicalensis* in the treatment of gastrointestinal cancer / L. Wang, B. Ni, J. Wang, J. Zhou, J. Jiang, Y. Sui, Y. Tian, F. Gao, Y. Lyu // *Integrative Cancer Therapies*. 2024. Vol. 23. P. 15347354241302049. <https://doi.org/10.1177/15347354241302049>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Уранова Валерия Валерьевна* – ассистент кафедры фундаментальной химии, e-mail: fibi_cool@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2114-1286>

Астраханский государственный медицинский университет им. В. Н. Татищева, Астрахань, Россия.

Ломтева Наталья Аркадьевна – доктор биологических наук, заведующий кафедрой фундаментальной биологии и биомедицины, e-mail: molecula01@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8336-7726>

Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, Астрахань, Россия.

CHANGES IN NEUROPSYCHOPHYSIOLOGICAL STATUS UNDER SOCIAL STRESS AND THEIR CORRELATION WITH SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI EXTRACT

V. V. Uranova, N. A. Lomteva

Abstract. Social stress is a significant factor in the development of psychosomatic disorders. Consequently, the search for effective herbal remedies for the correction of stress-induced conditions, which have high anxiolytic activity with a minimum of side effects, remains a priority of modern science. Therefore, the aim of study was to investigate the effect of *Scutellaria baicalensis* Georgi extract on the behavioral status and anxiety levels of rats with different dominance types under social stress. To achieve this aim, an experiment was conducted on 300 white male rats, divided into three series of six groups. As part of the methodology, the social stress model was reproduced by the method of daily inter-male confrontations for 21 days, which made it possible to identify specific groups of “aggressors” and “victims” for further analysis. *Scutellaria baicalensis* Georgi extract (100 mg/kg) was administered intragastrically using a medical probe. Behavioral responses were assessed using “Dark-Light Chamber”, “Elevated Plus Maze” and “Open Field” tests. Social stress was found to induce profound suppression of exploratory activity, most pronounced in submissive individuals, manifested by decreased locomotion ($p<0.01$) and increased emotional tension ($p<0.01$). Use of *Scutellaria baicalensis* Georgi extract demonstrated a significant stress-protective effect. Positive dynamics were also observed in the “aggressor” group, including restoration of exploratory behavior and a significant decrease in autonomic markers of emotional tension ($p<0.01$). A 14-day course of treatment with *Scutellaria baicalensis* Georgi extract effectively reduced anxiety and normalized the body’s adaptive capacity. *Scutellaria baicalensis* Georgi extract has pronounced anxiolytic properties, mitigating the nega-

tive effects of social stress. The drug's maximum corrective effect was observed in individuals with a submissive behavior type, confirming its potential for treating disorders caused by social maladjustment.

Key words: social stress, Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis* Georgi), adaptogen, anxiolytic activity, "aggressors", "victims."

For citation: Uranova V.V., Lomteva N.A. Changes in neuropsychophysiological status under conditions of social stress and their correction with *Scutellaria baicalensis* Georgi extract. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p.96-105. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_96

References

1. Arapova OI. [The phenomenon of adaptation. Theoretical review]. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya*. 2023; Vol.16. 3. 111-122 p. <https://doi.org/10.14529/jpps230310>.
2. Gutsol LO, Guzovskaya EV, Serebrennikova SN, Seminskiy IZh. [Stress (general adaptation syndrome)]. *Baykalskiy meditsinskiy zhurnal*. 2022; Vol.1. 1. 70-80 p. <https://doi.org/10.57256/29490715-2022-1-1-70-80>.
3. Biltz RG, Sawicki CM, Sheridan JF, Godbout JP. The neuroimmunology of social-stress-induced sensitization. *Nature immunology*. 2022; Vol.23. 11. 1527-1535 p. <https://doi.org/10.1038/s41590-022-01321-z>
4. Man ISC, Shao R, Hou WK, Li SX, Liu FY, Lee M, Wing YK, Yau S, Lee TMC. Multi-systemic evaluation of biological and emotional responses to the trier social stress test: A meta-analysis and systematic review. *Frontiers in Neuroendocrinology*. 2023; Vol.68. 101050 p. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2022.101050>
5. McEwen BS, Nasca C, Gray JD. Stress effects on neuronal structure: hippocampus, amygdala, and prefrontal cortex. *Neuropsychopharmacology*. 2016; Vol.41. 3-23 p. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.171>
6. Miller AH, Raison CL. The role of inflammation in depression: from evolutionary imperative to modern treatment target. *Nature Reviews Immunology*. 2016; Vol.16. 1. 22-34 p. <https://doi.org/10.1038/nri.2015.5>
7. Hermans EJ, Hendler T, Kalisch R. Building resilience: the stress response as a driving force for neuroplasticity and adaptation. *Biological Psychiatry*. 2025; Vol.97. 4. 330-338 p. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.10.016>
8. Melo RM, Barbosa RS, Ozorio VL, Oliveira GM, Horita SI, Henriques-Pons A, Araujo-Jorge TC, Frago VM. Influence of leptin and its receptors on individuals under chronic social stress behavior. *Frontiers in Endocrinology*. 2024; Vol.15. 1281135 p. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1281135>
9. McGrath T, Baskerville R, Rogero M, Castell L. Emerging evidence for the widespread role of glutamatergic dysfunction in neuropsychiatric diseases. *Nutrients*. 2022; Vol.14. 5. 917 p. <https://doi.org/10.3390/nu14050917>
10. Gulyaeva NV. Neuroendocrine control of hyperglutamatergic states in brain pathologies: the effects of glucocorticoids. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2022; Vol.58. 5. 1425-1438 p. <https://doi.org/10.1134/S0022093022050131>
11. Dantzer R. Neuroimmune interactions: from the brain to the immune system and vice versa. *Physiological reviews*. 2018; Vol.98. 1. 477-504 p. <https://doi.org/10.1152/physrev.00039.2016>
12. Zhu Y, Klompars EA, Guo S, Geng X. Neuroinflammation caused by mental stress: the effect of chronic restraint stress and acute repeated social defeat stress in mice. *Neurological Research*. 2019; Vol.41. 8. 762-769 p. <https://doi.org/10.1080/01616412.2019.1615670>
13. Guo F, Li C, Dou J, Liang J, Chen Z, Xu Z, Wang T. Research progress on pharmacological properties and application of probiotics in the fermentation of *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Frontiers in Nutrition*. 2024; Vol.11. 1407182 p. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1407182>
14. Wang J, Chen S, Zhang J, Wu J. *Scutellaria baicalensis* Georgi is a promising candidate for the treatment of autoimmune diseases. *Frontiers in pharmacology*. 2022; Vol.13. 946030 p. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.946030>
15. Morshed AKMH, Paul S, Hossain A, Basak T, Hossain MS, Hasan MM, Hasibuzzaman MA, Rahaman TI, Mia MAR, Shing P, Sohel M, Bibi S, Biswas P, Hasan MN, Ming LC, Tan CS. Baicalein as promising anticancer agent: a comprehensive analysis on molecular mechanisms and therapeutic perspectives. *Cancers*. 2023; Vol.15. 7. 2128 p. <https://doi.org/10.3390/cancers15072128>
16. Liaqat H, Parveen A, Kim SY. Antidepressive effect of natural products and their derivatives targeting BDNF-TrkB in gut-brain axis. *International journal of molecular sciences*. 2022; Vol.23. 23. 14968 p. <https://doi.org/10.3390/ijms232314968>
17. Singh S, Tiwari S, Agrawal R. Exploring the bioactive constituents and pharmacological activity of *Scutellaria baicalensis* Georgi or Chinese skullcap. *Current Bioactive Compounds*. 2025; Vol.21. 5. E15734072322467 p. <https://doi.org/10.2174/0115734072322467240816112529>
18. Ma W, Liu T, Ogaji OD, Li J, Du K, Chang Y. Recent advances in *Scutellariae radix*: A comprehensive review on ethnobotanical uses, processing, phytochemistry, pharmacological effects, quality control and influence factors of biosynthesis. *Heliyon*. 2024; Vol.10. 16. 1-30 p. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36146>
19. Vergun O, Svydenko L, Grygorieva O, Shymanska O, Rakhmetov D, Brindza J, Ivanisova E. Antioxidant capacity of plant raw material of *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*. 2019; Vol.13. 1. 614-621 p. <https://doi.org/10.5219/1090>
20. Gan H, Lan W, Wang M, Xu J, Zhang K, Tang Y, Gao X, Kadier A, Chen C, Wu J, Liu T, Jin C, Yan G, Zhou Y. Optimization of extraction process by response surface methodology, composition analysis and antioxidant activity of total flavonoids from *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Molecules*. 2026; Vol.31. 3. 507 p. <https://doi.org/10.3390/molecules31030507>
21. Zhang J, Zeng J, Xiu X, Lan L, Sun G. Antioxidant analysis and quality standardization of *Scutellaria baicalensis* tablets using multidimensional analytical methodologies. *Food Chemistry*. 2025; Vol.485. 144505 p. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144505>
22. Zhao T, Tang H, Xie L, Zheng Y, Ma Z, Sun Q, Li X. *Scutellaria baicalensis* Georgi (Lamiaceae): a review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2019; Vol.71. 9. 1353-1369 p. <https://doi.org/10.1111/jphp.13129>
23. Liu Y, Gao Z, Zhao Y, Kong L, Ji X, Wu J, Gao Z. Exploring bioactive constituents and pharmacological effects of *Scutellaria baicalensis* Georgi: a review. *Natural Product Communications*. 2024; Vol.19. 8. 1934578X241266692 p. <https://doi.org/10.1177/1934578X241266692>
24. Fang D, Zheng C, Ma Y. Effectiveness of *Scutellaria baicalensis* Georgi root in pregnancy-related diseases: a review. *Journal of Integrative Medicine*. 2023; Vol.21. 1. 17-25 p. <https://doi.org/10.1016/j.joim.2022.09.005>
25. Deng X, Lei HY, Ren YS, Ai J, Li YQ, Liang S, Chen LL, Liao MC. A novel strategy for active compound efficacy status identification in multi-tropism Chinese herbal medicine (*Scutellaria baicalensis* Georgi) based on multi-indexes spectrum-effect gray correlation analysis. *Journal of ethnopharmacology*. 2023; Vol.300. 115677 p. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115677>

26. Kust GS, Lobkovsky VA, Andreeva OV, Shklyayeva DS. [Achieving land degradation neutrality as an indicator of terrestrial ecosystem adaptation to climate change in Caspian region]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2025; Vol.88. 3. 449-466 p. <https://doi.org/10.31857/S2587556624030149>
27. Yasyanyskaya AL, Samotrueva MA, Myasoedov NF, Andreeva LA. The experimental study of the immunomodulating action of Semax and Selank on the model of "social" stress. *European Pharmaceutical Journal*. 2022; Vol.69. 1. 54-60 p. <https://doi.org/10.2478/afpuc-2022-0004>
28. Volchegorskiy IA, Sinitskiy AI, Grobovoy SI, Mikhaylov RR, Miroshnichenko IYu, Rassokhina LM. [Effect of 2-ethyl-6-methylpyridinol-3-yl thiooctanoate and its non-esterified components on anxiety behavior of rats in the dark-light chamber test]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*. 2025; Vol.59. 4. 3-7 p. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2025-59-4-3-7>
29. Pavlov VM, Fedotova AYU. [Study of stress-protective properties of APHC3 peptide in the elevated plus maze test in ICR mice]. *Biomedicina*. 2024; Vol.20. 3E. 202-205 p. <https://doi.org/10.33647/2713-0428-20-3E-202-205>
30. Gostyukhina AA, Zamoshchina TA, Prokopova AV, Zaytsev KV. [Individual and typological characteristics of laboratory rats' response to multicomponent stress]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*. 2022; Vol.6. 2 (19). 47-55 p. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_5
31. Lomovskoy RA. [Statistical data analysis: methods and applications in scientific research]. *Aktualnye issledovaniya*. 2023; Vol.15. 145. P. 29. https://doi.org/10.51635/27131513_2023_15_1_29
32. Mizina PG, Lupanova IA, Karabaeva VV, Ferubko EV, Altaeva OA, Davydova OYu. [Medicinal plants with general strengthening and tonic activity growing in the Republic of Buryatia (review)]. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*. 2024; Vol.27. 3-14 p. <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-01-01>
33. Wang L, Ni B, Wang J, Zhou J, Wang J, Jiang J, Sui Y, Tian Y, Gao F, Lyu Y. Research progress of *Scutellaria baicalensis* in the treatment of gastrointestinal cancer. *Integrative Cancer Therapies*. 2024; Vol.23. 15347354241302049 p. <https://doi.org/10.1177/15347354241302049>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Uranova Valeriya Valerevna* – assistant of Fundamental Chemistry Department, e-mail: fibi_cool@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2114-1286>
 Astrakhan State Medical University named after V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russia.
 Lomteva Natalya Arkadevna – Doctor of Biological Sciences, Head of Fundamental Biology and Biomedicine Department, e-mail: molecula01@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8336-7726>
 Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russia.

**ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВОЙ
МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ****А. И. Хамадишин, Р. Н. Файзрахманов, Н. И. Данилова, А. С. Порфирьев**

Реферат. В статье представлены результаты изучения некоторых токсикологических свойств новой кормовой добавки «СелЕсап». При токсикологической оценке кормовой добавки «СелЕсап» установлено, что она не обладает раздражающим действием при накожных аппликациях и на слизистую оболочку глаз кроликов породы советская шиншилла. Дальнейшие исследования, проведенные на белых крысах линии Wistar, были сфокусированы на изучении воздействия кормовой добавки на эмбриональное и постэмбриональное развитие крыс на различных этапах беременности. Оценка проводилась с использованием методов современной репродуктивной диагностики, которые включали микроскопирование, вагиноскопию, анализ мазков и мониторинг общего состояния животных. Полученные данные подтвердили безопасность кормовой добавки «СелЕсап» в исследованных дозах (2000, 4000 и 6000 мг/кг), продемонстрировав отсутствие эмбриотоксических и тератогенных свойств. Кроме того, физиологические нормы развития эмбрионов проявлялись в стабильном наборе живой массы самок на протяжении всего периода беременности, служа дополнительным подтверждением благоприятного влияния добавки. Следовательно, кормовая добавка «СелЕсап» в дозе до 6000 мг/кг проявила себя как безопасный компонент, не оказывающий негативного воздействия на течение беременности, внутриутробное развитие эмбрионов и последующее потомство как на эмбриональной, так и на постэмбриональной стадиях. На основании полученных данных можно заключить, что новая многокомпонентная кормовая добавка полностью соответствует требованиям биологической безопасности и рекомендуется к применению в рационах сельскохозяйственных птиц.

Ключевые слова: новая кормовая добавка, лабораторные животные, раздражающее действие, диагностика, эмбриотоксическое действие, тератогенное действие.

Для цитирования: Хамадишин А.И., Файзрахманов Р.Н., Данилова Н.И., Порфирьев А.С. Изучение токсикологических свойств новой многокомпонентной кормовой добавки // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С.106-110. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_106

Введение. Птицеводство – одна из наиболее динамично развивающихся отраслей сельского хозяйства. Аграрный комитет Российской Федерации активно поддерживает развитие этой сферы в промышленных масштабах [1, 2, 3]. Сегодня птицеводство является ключевым направлением, обеспечивающим страну продукцией высокого качества [2, 4]. За последние десять лет активно набирает темп роста экспорта отечественной продукции птицеводства. Если в 2023 г. экспорт мяса составлял 362,9 тыс. т (65% от общего объема), то по данным Минсельхоза РФ и Россельхознадзора в 2024 году показатель приблизился к 500 тыс. тонн, в 2025 г. – 550-600 тысячам тоннам [5]. Для увеличения объемов производства и коммерческой привлекательности необходимо полностью использовать генетический потенциал птицы [1].

Одним из способов достижения этой цели является улучшение условий кормления, включая использование высокоэффективных биологически активных кормовых добавок в рационе [6, 7, 8]. Отряд гусеобразных способны потреблять большие объемы зеленого пастбищного корма, однако этот рацион не всегда полностью покрывает их потребности питательных веществах. В этой связи особое внимание привлекают кормовые добавки с улучшенными свойствами. Эффект связан с улучшением метаболических процессов и запуском механизмов, обуславливающих активацию ростовых процессов и обеспечивающих интен-

сивный рост организма. Физиологические изменения, запускаемые добавкой, в итоге положительно сказываются на ключевых технологических показателях мяса [1]. Обязательным этапом, предшествующим внедрению в промышленное птицеводство, является токсикологическая оценка любой кормовой добавки [9, 10].

Исходя из вышеизложенного, целью нашего исследования являлось изучение токсикологических свойств новой многокомпонентной кормовой добавки «СелЕсап» на лабораторных животных.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в условиях кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены ФГБОУ ВО Казанский ГАУ. Опыт по изучению раздражающего действия проводили на кроликах породы советская шиншилла. Для этого были созданы 3 группы по 3 особи в каждой, весом $2,9 \pm 0,25$ кг. Работа включала в себя две серии: нанесение добавки на кожу и слизистые оболочки глаз.

За сутки до начала исследования с кожи животных в лопаточной области, с обеих сторон спины, удаляли волосяной покров на участках размером 5×5 см², предназначенных для аппликации.

На подготовленный участок кожи кролика, с правой стороны, однократно вносили суспензию кормовой добавки в дозах, представленных в таблице 1. Слева, в качестве контрольной точки, наносили 1 мл дистиллированной воды.

Таблица 1 – Дозы кормовой добавки при накожной аппликации

Группа	Доза и количество			Летальность, гол.
	Доза, мг/кг	Комплексная кормовая добавка, мг/гол	Вода, мл	
1	2000	5800	3,0	0
2	4000	11600	3,0	0
3	6000	17400	3,0	0

Спустя четыре часа после нанесения исследуемого вещества, остатки суспензии тщательно удаляли с кожи стерильной ватой. Затем этот участок промывали тёплой водой с мылом. За реакцией кожи наблюдали через один и восемнадцать часов после аппликации. Наблюдения за животными продолжали в течение 7 дней.

Раздражающее действие кормовой добавки «СелЕсап» на слизистую оболочку глаз проводили путём внесения суспензии в нижний отдел конъюнктивного мешка левого глаза, при этом в правый глаз, служивший контролем, вносили дистиллированную воду. Для усиления эффекта и обеспечения равномерного распределения суспензии верхний край роговицы мягко прижимали в течение одной минуты, что давало возможность исключения потери препарата и обеспечивало его максимальный контакт с поверхностью глаза. Наблюдение за состоянием слизистой оболочки глаз осуществляли в течение одной недели.

Опыты по определению эмбриотоксических и тератогенных свойств кормовой добавки проводили на половозрелых самках белых крыс линии Wistar в возрасте 7-9 недель, имевшие массу тела в диапазоне 190-210 г. Были сформированы 4 группы: животных три опытные группы и одна контрольная по 10 животных в каждой. Все лабораторные животные находились в одинаковых условиях среды.

Для получения синхронизированной беременности использовали схему совместного содержания самцов и самок в соотношении 1 : 3. На следующие сутки у самок были взяты влагалищные мазки, по обнаружению спермиев устанавливали первый день беременности. В течение опыта беременным крысам опытных групп внутриматочечно вводили новую кормовую добавку в виде суспензии, в дозах 2000, 4000, 6000 мг/кг соответственно. Контроль получал 2 мл дистиллированной воды. На 20-ый день беременности было эвтаназировано по 4 самки. После их вскрытия прово-

дили исследование матки и плаценты, подсчет количества желтых тел и количество плодов. Для оценки постнатального влияния кормовой добавки «СелЕсап» от сохранившихся самок получили потомство и наблюдали за ним на протяжении месяца, при этом учитывали двигательную активность, сроки открывания глаз, появление волосяного покрова и общее физическое развитие.

Результаты и обсуждение. При исследовании раздражающего действия суспензии кормовой добавки «СелЕсап» особое внимание уделялось таким признакам, как покраснение, повышение чувствительности и воспаление. По прошествии часа после нанесения аппликации на опытный участок кожи кроликов первой и второй групп, не было выявлено признаков эритемы и отёка, а поверхность кожи оставалась идентичной контрольному участку. В то время как, у кроликов третьей группы на опытном участке наблюдались незначительные проявления отёка и покраснения. Однако, к седьмому часу эксперимента эти симптомы заметно регрессировали, а к восьмому часу они полностью исчезли, свидетельствуя о минимальном раздражающем воздействии исследуемой кормовой добавки.

Исследование реакции конъюнктивы глаза проводилось непосредственно после внесения кормовой добавки, далее с интервалом в 15 минут в течение первого часа, а также через 24 и 48 часов. Оценивались общие клинические признаки животного, степень отёка век и интенсивность слезоотделения.

Исследование реакции конъюнктивы глаза выявило незначительное покраснение и слезотечение, которые исчезали через 5 минут. В ходе эксперимента не наблюдалось посторонних реакций или патологических изменений. Конъюнктивита оставалась интактной, без видимых патологий и лакримаций. Общее состояние кроликов оставалось без изменений. Оценка интенсивности реакции проводилась в баллах по шкале ГОСТ ISO 10993-10-2011 (табл. 2).

Таблица 2 – Система оценки и классификации глаз

Интенсивность реакции	Общая оценка в баллах (ГОСТ ISO 10993-10-2011)	Раздражающий эффект
Отсутствие реакции	1	Слабый
Выраженная гиперемия	1	Слабый
Наличие лакримации	3	Слабо выраженный
Наличие выделений	6	Умеренный
Длительная ярко выраженная гиперемия, лакримация, отёк век	9	Выраженный
Слабая гиперемия	2	Слабый

ВЕТЕРИНАРИЯ

Таким образом, исходя из полученных результатов можно сделать заключение о том, что кормовая добавка «СелЕсап» не оказывает раздражающего действия на кожу и слизистую оболочку глаз лабораторных

животных.

Результаты патологоанатомического вскрытия животных, использованных в оценке эмбриотоксичности и тератогенности, показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Эмбриотоксичность и тератогенность комплексной кормовой добавки на крысах линии Wistar

Показатель	Группа (n=4)			
	I-контроль	II	III	IV
Количество желтых тел, ед.	11,3±0,87	11,6±1,03	11,8±0,55	11,4±0,31
Количество мест имплантации, ед.	9,8±0,92	10,2±0,83	10,4±0,36	9,9±0,49
Предимплантационная гибель, %	13,27	12,06	11,86	13,16
Количество живых эмбрионов, ед.	9,5±0,66	9,9±0,95	10,1±0,54	9,6±0,61
Постимплантационная гибель, %	3,07	3,00	2,88	3,08
Масса эмбрионов	3,3±0,24	3,4±0,18	3,5±0,23	3,3±0,35
Краниокаудальное размеры эмбриона, мм	30,8±0,41	32,1±0,33	33,7±0,28	30,9±0,34
Уродства, аномалии развития: - внешнего вида - костной системы - внутренних органов	Не обнаружены			
Общая эмбриональная смертность, %	15,93	14,66	14,41	15,79

Анализ репродуктивной функции по показателям количества желтых тел и числа мест имплантации не выявил достоверных различий между опытными и контрольной группами, что указывает на отсутствие отрицательного воздействия на овуляцию и имплантацию. При макроскопическом исследовании плодов под лупой аномалии в развитии глаз (аноптальмия, микрофтальмия), черепа (заячья губа, волчья пасть и др.), головного мозга (мозговой грыжи и др.), конечностей, пальцев, хвоста, позвоночника и передней брюшной стенки обнаружено не было, что свидетельствовало об отсутствии

эмбриотоксических и тератогенных свойств. В течение всего периода беременности состояние крыс было в пределах физиологической нормы. Во всех опытных группах в постнатальный период уродств и мертворожденных крысят не наблюдали.

У новорожденных отмечался активный сосательный рефлекс и нормальные кожные покровы, шерсть появлялась на 8-9-й день, а глаза открывались на 14-15-й день. На протяжении последующих двух месяцев наблюдения патологий в развитии и здоровье потомства выявлено не было (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели морфометрии самок и развития

Показатель	Группа (n=6)			
	1-контроль	2	3	4
1 сутки	189,11±2,74	188,52±2,63	188,34±2,34	189,39±3,12
7 сутки	201,04±2,93	200,61±2,75	201,15±2,56	201,32±2,96
14 сутки	227,33±2,85	228,43±2,61	229,60±2,44	227,74±2,81
21 сутки	262,95±2,51	264,54±2,43	266,31±2,35	263,13±2,73
Продолжительность беременности, сут.	21,70±0,16	22,10±0,14	22,50±0,10	21,90±0,25
Количество крысят на 1 самку, гол.	9,30±0,32	9,40±0,26	9,70±0,18	9,30±0,47
Масса помета, г	45,11±2,38	46,34±1,73	48,15±1,65	44,70±1,96
Масса тела новорожденного, г	4,85±0,61	4,93±0,46	4,96±0,36	4,81±0,48

В результате проведенного эксперимента исследование выявило существенное влияние кормовой добавки «СелЕсап» на метаболический статус крыс.

Увеличение среднесуточных приростов во всех опытных группах указывает на улучшение усвояемости питательных веществ при применении кормовой добавки. Крысы опытной группы имеют большую живую массу по сравнению с контрольными животными. Полученный результат подтверждает ростостимулирующий эффект кормовой добавки. Наряду с повышением живой массы у крыс в опытных группах наблюдался пропорциональный рост массы внутренних органов по сравнению с контролем, что обусловлено введением кормовой добавки.

Выводы. Таким образом, при токсикологической оценке новой кормовой добавки

«СелЕсап» установлено, что она не обладает раздражающим действием при кожных аппликациях и внесении на слизистую оболочку глаз.

Результаты исследования подтвердили отсутствие эмбриотоксичности и тератогенности в кормовой добавке и свидетельствовали о безопасности в дозах – 2000, 4000 и 6000 мг/кг. О развитии эмбрионов в пределах физиологических норм свидетельствовал прирост живой массы самок в период беременности. Таким образом, кормовая добавка «СелЕсап» в дозе до 6000 мг/кг не оказывала отрицательного влияния на течение беременности самок, их эмбрионов и молодняка в эмбриональный и постэмбриональный периоды развития, что служит обоснованием её безопасного включения в схемы кормления сельскохозяйственных птиц.

Литература

1. Influence of a Complex Feed Additive on the Metabolism and Meat Productivity of Ducks / R. N. Fayzrahmanov, F. F. Zinnatov, V. Milaev [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022) : Agricultural Cyber-Physical Systems, Ussuriysk, 29 июля 2022 года. Vol. 706-2. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2023. – P. 127-135. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36960-5_16. EDN: XEDQQI.
2. Бобылева Г. А. Российское птицеводство: краткие итоги 60-летнего развития // Птица и птицепродукты. 2025. № 5. С. 6–11. EDN: INNEHE
3. Османян А. К., Малородов В. В. Создание, становление и развитие Всемирной научной ассоциации по птицеводству (ВНАП) с участием отечественной науки // Птицеводство. 2025. № 1. С. 5-8. EDN: UETPRN.
4. Assessment of indoor environment to influence the production of gosling broilers when using sanitary litter / R. N. Fayzrahmanov, V. G. Sofronov, N. I. Danilova, P. V. Sofronov // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020), Kazan, 28–30 мая 2020 года. Vol. 27. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00053. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202700053>. EDN: PYSHGK.
5. Фисинин В. Мировое и отечественное птицеводство: реалии и вызовы будущего // Животноводство России. 2025. № 1. С. 6-13. EDN: GEOATN.
6. Казачкова Н. М., Картекинов К. Ш., Дускаев Г. К. Использование биологически активных веществ кормлении сельскохозяйственной птицы (обзор) // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 8. С. 1037-1044. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-1037-1044>.
7. Влияние селена на мясную продуктивность бройлеров / В. В. Саломатин [и др.] // Птица и птицепродукты. 2024. № 2. С. 32–35 EDN: YXLPZK.
8. Пономаренко Ю. А., Фисинин В. И., Егоров И. А. Научные основы сбалансированного кормления животных: монография. Москва: Перо, 2024. 692 с. EDN: TQZCWK.
9. Kashaeva Ar., Akhmetzyanova Fk., Khairullin D. D. Toxicological safety assessment of ZeolFat energy feed additive // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020), Kazan, 28–30 мая 2020 года. Vol. 27. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00086. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202700086>. EDN: DCCPQU.
10. Safety and efficacy of a feed additive consisting of a zinc(II)-betaine complex for all animal species (Biochem Zusatzstoffe Handels- und Produktionsges. mbH) / V. Bampidis, G. Azimonti, M. De L. Bastos [et al.] // European Food Safety Authority Journal. 2023. Vol. 21. No. 2. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7819>. EDN: MDJYZU.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Хамадишин Азат Ирекович – аспирант кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: khamadishin-azat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5219-9734>

Файзрахманов Рамиль Наилевич – заведующий кафедрой технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: ramil140679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-635X>

Данилова Надежда Ивановна – доктор биологических наук, профессор кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: danai58@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9726-2426>

Порфирьев Артур Сергеевич – специалист УМП, e-mail: artur.por99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2958-5746>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

STUDY OF TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF A NEW MULTI-COMPONENT FEED ADDITIVE

A. I. Khamadishin, R. N. Fayzrahmanov, N. I. Danilova, A. S. Porfirev

Abstract. The article presents the results of a study of certain toxicological properties of new feed additive “SelEsaп”. Toxicological evaluation of “SelEsaп” feed additive revealed that it was non-irritating to the skin and mucous membranes of eyes of Soviet Chinchilla rabbits. Further studies, conducted on Wistar white rats, focused on effect of the additive on

embryonic and postembryonic development at various stages of pregnancy. The evaluation was conducted using modern reproductive diagnostic methods, including microscopy, vaginoscopy, smear analysis and general condition monitoring. Obtained data confirmed the safety of “SelEsap” additive at the studied doses (2000, 4000 and 6000 mg/kg), demonstrating the absence of embryotoxic and teratogenic properties. Furthermore, physiological norms of embryonic development were demonstrated by stable body weight gain in females throughout pregnancy, further confirming the beneficial effects of the additive. Consequently, “SelEsap” feed additive proved to be a safe component at doses up to 6000 mg/kg, having no negative impact on the course of pregnancy, intrauterine development of embryos or subsequent offspring at both the embryonic and postembryonic stages. Based on obtained data, it can be concluded that the new multicomponent feed additive fully complies with biological safety requirements and is recommended for use in poultry diets.

Key words: new feed additive, laboratory animals, irritant effect, diagnostics, embryotoxic effect, teratogenic effect.

For citation: Khamadishin A.I., Fayzrakhmanov R.N., Danilova N.I., Porfirev A.S. Study of toxicological properties of a new multi-component feed additive. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p.106-110. 10.31588/2413_4201_1883_2_266_106

References

1. Fayzrakhmanov RN, Zinnatov FF, Milaev V. Influence of a complex feed additive on the metabolism and meat productivity of ducks. Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East (AFE-2022): Agricultural Cyber-Physical Systems, Ussuriysk, 29 iyulya 2022 goda. Vol.706-2. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. 2023; 127-135 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36960-5_16. EDN: XEDQQI.
2. Bobyleva GA. [Russian poultry farming: brief results of 60 years of development]. Ptitsa i pitseprodukty. 2025; 5. 6-11 p. EDN: INNEHE
3. Osmanyany AK, Malorodov VV. [Creation, formation and development of World Scientific Poultry Association (WSPA) with the participation of domestic science]. Pitsevodstvo. 2025; 1. 5-8 p. EDN: UETPRN.
4. Fayzrakhmanov RN, Sofronov VG, Danilova NI, Sofronov PV. Assessment of indoor environment to influence the production of gosling broilers when using sanitary litter. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020), Kazan, 28-30 maya 2020 goda. Vol.27. EDP Sciences: EDP Sciences. 2020; 00053 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202700053>. EDN: PYSHGK.
5. Fisinin V. [Global and domestic poultry farming: realities and future challenges]. Zhivotnovodstvo Rossii. 2025; 1. 6-13 p. EDN: GEOATN.
6. Kazachkova NM, Karteknov KSh, Duskaev GK. [Use of biologically active substances in poultry feeding (review)]. Agrarnyy vestnik Urala. 2024; Vol.24. 8. 1037-1044 p. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-1037-1044>.
7. Salomatin VV. [Effect of selenium on meat productivity of broilers]. Ptitsa i pitseprodukty. 2024; 2. 32-35 p. EDN: YXLPZK
8. Ponomarenko YuA, Fisinin VI, Egorov IA. Nauchnye osnovy sbalansirovannogo kormleniya zhivotnykh: monografiya. [Scientific foundations of balanced animal feeding: monograph]. Moscow: Pero. 2024; 692 p. EDN TQZCWK.
9. Kashaeva AR, Akhmetzyanova FK, Khairullin DD. Toxicological safety assessment of ZeolFat energy feed additive. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020), Kazan, 28-30 maya 2020 goda. Vol.27. EDP Sciences: EDP Sciences. 2020; 00086 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202700086>. EDN: DCCPQU.
10. Bampidis V, Azimonti G., Bastos MDeL. Safety and efficacy of a feed additive consisting of a zinc(II)-betaine complex for all animal species (Biochem Zusatzstoffe Handels- und Produktionsges. mbH). European Food Safety Authority Journal. 2023; Vol. 21. No. 2. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7819>. EDN: MDJYZU.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Khamadishin Azat Irekovich – Postgraduate Student, Department of Animal Production Technology, Feeding and Zoohygiene; e-mail: khamadishin-azat@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-9734>
 Faizrakhmanov Ramil Nailievich * – Head of the Department of Animal Production Technology, Feeding and Zoohygiene; e-mail: ramil140679@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-635X>
 Danilova Nadezhda Ivanovna – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Animal Production Technology, Feeding and Zoohygiene; e-mail: danai58@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-2426>
 Porfiriev Artur Sergeevich – Specialist of the Educational and Methodological Department; e-mail: artur.por99@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2958-5746>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ КРОВИ ОТКАРМЛИВАЕМЫХ БЫЧКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ NCG - N - КАРБАМИЛ ГЛУТАМАТ**Е. М. Цыганков, А. А. Менькова**

Реферат. Аминокислоты представляют собой структурные компоненты ферментов, гормонов, пигментов и других биологически активных веществ, обеспечивающих регуляцию пищеварительных и метаболических процессов. Цель исследования заключалась в изучение влияния кормовой добавки NCG - N - карбамил глутамат на аминокислотный состав крови откармливаемых бычков. Из откормочных бычков шестимесячного возраста было сформировано две аналогичных группы по 5 голов в каждой. Кормовую добавку скармливали шести, семи, восьми и девяти месячным бычкам в составе дерти зерносмеси концентратов в дозе 5 грамм на голову в сутки. Продолжительность скармливания – 120 суток. Рацион кормления в обеих группах идентичный. Период проведения опыта зимне-стойловый. Содержание привязное. Поение свободное. Учёт результатов вели с семи месячного возраста. Кровь отбирали ежемесячно из яремной вены до кормления. В ходе эксперимента установлено статистически значимое повышение концентрации незаменимых аминокислот в сыворотке крови опытной группы от 7,40 до 22,22% ($p < 0,05$) и заменимых – 7,40 до 17,30% ($p < 0,05$) по сравнению с контрольной группой данного периода. Добавка способствовала оптимизации видового состава и ферментативной активности рубцовой микрофлоры, а также повышению эффективности протеолиза белков до аминокислот с последующей их абсорбцией в системный кровоток.

Ключевые слова: кровь, бычки на откорме, добавка, аминокислоты, азотистый обмен.

Для цитирования: Цыганков Е.М., Менькова А.А. Аминокислотный состав крови откармливаемых бычков при применении кормовой добавки NCG-N-карбомил глутамат // Учёные записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 111-117. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_111

Введение. Азотистый обмен у жвачных животных характеризуется сложной симбиотической и детерминированной активностью микробиоценоза преджелудков [1, 2, 3]. Алиментарные протеины подвергаются интенсивной гидролитической деградации под воздействием микробных протеаз до промежуточных пептидов, свободных аминокислот и терминального продукта — аммиака [4, 5, 6]. Способность рубцовой микрофлоры ассимилировать аммиак для синтеза полноценного микробного белка обосновывает научную и практическую целесообразность включения в рационы жвачных синтетических азотистых соединений в качестве альтернативного кормового протеина [7, 8, 9].

Изучение вопроса аминокислотного синтеза представляет фундаментальный интерес, поскольку понимание процессов биохимических трансформаций соединений азота позволяет осуществлять направленный механизм изменения метаболических путей и оптимизировать потребность организма [10].

Процесс абсорбции аминокислот локализован преимущественно в тонком отделе кишечника и лимитируется комплексом факторов: химической структурой субстрата, градиентом pH, эндогенным соотношением мономеров в химусе и осмотическим давлением в просвете кишки. Нарушение данных факторов ведет к снижению биодоступности аминокислот [11].

Помимо пластической функции, аминокислоты выступают кофакторами в обмене макро и микроэлементов, а также участвуют в эндокринной регуляции, оказывая протективное действие и повышая неспецифическую резистентность организма [12].

Цель исследования заключается в изучение влияния кормовой добавки NCG - N - карбамил глутамат на аминокислотный состав крови

откармливаемых бычков.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в условиях хозяйства Брянской области в зимне-стойловый период. Для исследования методом пар-аналогов были сформированы две группы бычков-кастратов (табл. 1) симментальской породы в возрасте 6 месяцев. Животные содержались на привязи. Рацион кормления для обеих групп был идентичным и включал: луговое разнотравное сено, зерносмесь (дерть) из пшеницы, овса, ячменя и кукурузы, подсолнечниковый жмых, премикс ПКК ПКР-2 супер (для откорма), витаминная кормовая смесь СВ-К-11 (для телят старше 5 месяцев). Кормление осуществляли три раза в сутки. Экспериментальной группе в зерносмесь добавляли кормовую добавку из расчёта 5 грамм на одно животное в сутки. Поение обеспечивали автоматическими поилками. Все санитарно-гигиенические требования строго соблюдались. Общая продолжительность опыта составила 120 суток, из которых 30 суток отводилось на предварительный адаптационный период для привыкания животных к кормовой добавке. Основной учётный период длился 90 суток.

Забор венозной крови осуществляли из яремной вены в утренние часы за час до начала кормления животных. Образцы отбирали в специализированные вакуумные пробирки с антикоагулянтом КЗ-ЭДТА, предназначенные для выполнения гематологических исследований. Анализ содержания аминокислот в сыворотке крови выполняли на автоматическом анализаторе Azura производства компании Knauer. Данное оборудование позволяет разделять аминокислоты методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Таблица 1 – Схема проведения эксперимента

Группа	Количество животных	Условия кормления
Контрольная	5	Хозяйственный рацион
Опытная	5	Хозяйственный рацион (ХР) + NCG - N- карбамил глутамат 5 г на в сутки.

Полученные в ходе эксперимента цифровые данные подвергали биометрической обработке. Все математические и статистические вычисления проводили на персональном компьютере с использованием функциональных возможностей программного пакета Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Известно, что незаменимые аминокислоты не синтезируются

самим организмом, соответственно чаще всего проявляется их дефицит. Если рацион не сбалансирован хотя бы по одной из незаменимых аминокислот, то она будет ограничивать использование всех остальных и протеина в целом [13, 14]. Концентрация незаменимых аминокислот в крови бычков представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Концентрация незаменимых аминокислот в крови бычков, мг % (n=5 в каждой группе)

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
1-й опытный период (после 30 суток скормливания)		
Валин	0,82±0,04	0,98±0,10*
Гистидин	1,13±0,03	1,42±0,12*
Изолейцин	0,61±0,04	0,75±0,09*
Лейцин	0,84±0,02	1,04±0,09*
Лизин	1,30±0,05	1,50±0,10*
Метионин	0,18±0,05	0,25±0,09
Треонин	0,40±0,09	0,50±0,08
Триптофан	0,92±0,05	1,14±0,10*
Фенилаланин	0,57±0,08	0,73±0,09
Аргинин	0,75±0,09	0,93±0,04*
2-й опытный период (после 60 суток скормливания)		
Валин	0,85±0,05	1,02±0,09*
Гистидин	1,21±0,04	1,60±0,10**
Изолейцин	0,65±0,08	0,85±0,05**
Лейцин	0,88±0,06	1,10±0,10*
Лизин	1,34±0,10	1,54±0,11
Метионин	0,22±0,08	0,32±0,09
Треонин	0,44±0,06	0,60±0,07**
Триптофан	0,99±0,04	1,26±0,08**
Фенилаланин	0,63±0,08	0,86±0,09**
Аргинин	0,82±0,05	1,05±0,06**
3-й опытный период (после 90 суток скормливания)		
Валин	0,88±0,03	1,10±0,08*
Гистидин	1,27±0,06	1,74±0,14**
Изолейцин	0,75±0,06	1,00±0,09**
Лейцин	0,94±0,10	1,20±0,12*
Лизин	1,41±0,10	1,64±0,10*
Метионин	0,27±0,08	0,40±0,06
Треонин	0,50±0,05	0,72±0,08**
Триптофан	1,09±0,09	1,40±0,11*
Фенилаланин	0,67±0,05	0,94±0,09**
Аргинин	0,93±0,04	1,20±0,12**

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$ по отношению к контрольной группе

Валин представляет собой незаменимую протеиногенную аминокислоту (табл. 2), выполняющую важную роль в процессах роста, дифференцировки и регенерации тканей, а также в поддержании структурной целостности органов. В ходе эксперимента было установлено статистически значимое повышение концентрации валина в сыворотке крови опытных бычков на 19,51; 20,00 и 25,00% относительно контрольной группы данного периода. Можно утверждать, что кормовая добавка способствовала более активному наращиванию микробной биомассы, которая синтезировала белок, который распадался до аминокислот, а последние в большем количестве всасывались в кровяное русло и использовались организмом в анаболических целях.

Гистидин, являясь незаменимой аминокислотой, выступает ключевым субстратом в биосинтезе белков и гистамина. У подопытных животных наблюдали достоверное увеличение уровня гистидина в сыворотке крови на 25,66; 32,23 и 37,00% по сравнению с контрольной группой данного периода. Кормовая добавка, оказала стимулирующее влияние на рост численности популяций полезных микроорганизмов, которые активнее синтезировали белки, что стимулировало процесс образования, всасывания и использования гистидина. Изолейцин, входящий в состав структурных белков, участвует в синтезе гемоглобина и регуляции углеводно-липидного метаболизма. За период исследования концентрация изолейцина в крови бычков опытной группы демонстрировала статистически значимый прирост на 22,95; 30,77 и 33,33% по сравнению с контрольной группой. Возможно рацион кормления был хорошо обеспечен ферментируемыми углеводами и доступным азотом. Микробная масса рубца активнее синтезировала белки корма, вследствие чего образовывалось большее количество доступных аминокислот, которые всасывались в кровяное русло.

Лейцин, являющийся компонентом природных белков, играет существенную роль в процессах протеолиза, протеосинтеза и клеточной регенерации. В крови бычков опытной группы зафиксировано увеличение концентрации лейцина на 23,80; 25,00 и 27,66% относительно контрольных показателей. Кормовая добавка способствовала активации ферментативно-микробиологических процессов бактерий рубца. Бактерии в свою очередь активнее наращивали микробный протеин, который расщеплялся с образованием незаменимых аминокислот, в том числе лейцина. Данная аминокислота использовалась организмом бычков в анаболических целях. Основная функция лизина заключается в участии биосинтеза белка. Он входит

в состав всех белков тела. В крови подопытных бычков отмечен рост концентрации на 15,38; 14,92 и 18,44%, по сравнению с контрольными бычками. Повышение концентрации лизина в крови бычков связано с оптимизацией усвоения азотистых веществ рубцовой микрофлорой и защитой аминокислот от разрушения в рубце. Поскольку лизин является одной из лимитирующих аминокислот для роста откармливаемого молодняка, увеличение выхода микробной массы напрямую коррелирует с ростом концентрации лизина, поступающего в двенадцатиперстную кишку и далее в кровоток.

Метионин, классифицируемый как лимитирующая аминокислота, определяет эффективность использования белка и уровень продуктивности животных. Его концентрация в сыворотке крови опытных бычков имела увеличения на 38,88; 45,45 и 48,14% в сравнении с аналогами. Добавка оптимизировала азотистый обмен, улучшая условия для рубцовой микрофлоры и увеличивая производство микробной биомассы, которая является естественным источником метионина.

Треонин участвует в биосинтезе и катаболизме нуклеотидов, а также в метаболизме фосфолипидов. В опытной группе концентрация этой аминокислоты изменялась в сторону увеличения на 25,00; 36,36 и 44,00%. Скармливание добавки оказывает существенное влияние на метаболизм аминокислот и общий азотистый обмен. Рост уровня треонина в плазме крови связан с общим анаболическим эффектом кормовой добавки. Добавка стимулирует выработку эндогенного аргинина, который, в свою очередь, активирует внутриклеточный сигнальный путь (mTOR). Этот путь регулирует синтез белка и транспорт аминокислот в ткани.

Триптофан, участвует в регуляции функции пищеварения и абсорбции нутриентов рациона. В крови подопытных бычков отмечался достоверно более высокий его уровень — на 23,91; 27,27 и 28,44%. Повышение концентрации триптофана в крови бычков при использовании кормовой добавки объясняется комплексным воздействием на адсорбцию питательных веществ и их всасыванию в систему периферического кровообращения. Фенилаланин, выступающий метаболическим предшественником ряда гормонов, нейромедиаторов и пигментов, демонстрировал в ходе эксперимента увеличение концентрации на 28,07; 36,50 и 40,29% по сравнению с контрольной группой. Использование NCG (N - карбамил глутамата) в рационе бычков способствует росту концентрации фенилаланина в крови за счет влияния на микрофлору рубца. Оптимизация азотного обмена в преджелудках стимулирует рост популяции бактерий и увеличивает выход микробного белка.

Аргинин является важным субстратом, участвующим в биосинтезе протеинов, оксида азота и глутамата. В сыворотке крови бычков отмечен положительный рост концентрации на 24,00; 28,05 и 29,00% соответственно. Подобное изменение указывает на оптимизацию синтеза азотистых оснований в рубцовом содержимом.

Эффективное образование, абсорбция, последующая утилизация и использование

промежуточных и конечных метаболитов, свидетельствуют об анаболическом течение метаболических процессов у бычков.

Заменимые аминокислоты, синтезируемые организмом из эндогенных предшественников, играют фундаментальную роль в поддержании гомеостаза и регуляции обмена веществ. Динамика концентрации заменимых аминокислот в крови бычков представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Концентрация заменимых аминокислот в крови бычков, мг % (n=5 в каждой группе)

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
1-й опытный период (после 30 суток скармливания)		
Глицин	1,64±0,05	1,78±0,08*
Аланин	0,73±0,03	0,80±0,05*
Цистеин	0,54±0,05	0,68±0,09
Глутаминовая кислота	1,43±0,04	1,55±0,05*
Тирозин	0,57±0,05	0,73±0,09*
Пролин	0,54±0,05	0,69±0,10
Серин	0,61±0,04	0,74±0,09
Аспарагиновая кислота	0,77±0,04	0,95±0,10*
2-й опытный период (после 60 суток скармливания)		
Глицин	1,77±0,04	1,95±0,06*
Аланин	0,80±0,06	0,95±0,09
Цистеин	0,61±0,04	0,84±0,09***
Глутаминовая кислота	1,55±0,05	1,70±0,05*
Тирозин	0,63±0,04	0,80±0,09**
Пролин	0,60±0,04	0,86±0,10**
Серин	0,71±0,05	0,94±0,09**
Аспарагиновая кислота	0,87±0,03	1,10±0,11**
3-й опытный период (после 90 суток скармливания)		
Глицин	1,91±0,01	2,14±0,02*
Аланин	0,93±0,03	1,16±0,12**
Цистеин	0,71±0,06	1,04±0,10***
Глутаминовая кислота	1,64±0,08	1,83±0,10*
Тирозин	0,74±0,05	0,99±0,10**
Пролин	0,74±0,08	1,02±0,16**
Серин	0,78±0,06	1,08±0,12**
Аспарагиновая кислота	0,98±0,10	1,26±0,12*

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$ по отношению к контрольной группе

В частности, глицин (табл. 3), являясь универсальной протеиногенной аминокислотой, интегрирован в структуру всех клеточных элементов. За исследуемый период концентрация глицина в крови животных опытной группы демонстрировала статистически значимый рост на 8,54; 10,17 и 12,04% относительно контроля. Повышение концентрации глицина свидетельствует об усилении процессов биосинтеза белков и укреплении иммунного статуса организма. Учитывая роль глицина, как предшественника креатина, порфиринов и пуриновых оснований, его рост указывает на интенсификацию пластического обмена в тканях под воздействием добавки.

Аланин выполняет роль важного субстрата энергетического обмена и активно вовлекается в метаболизм углеводов и ряда органических кислот. В течение опытного периода концентрация аланина в крови бычков возрастала

на 8,53; 10,17 и 12,04% соответственно. Можно предположить, что кормовая добавка способствовала повышению синтеза пирувата и аминокислот, в результате образовывалась аминокислота аланин, она всасывалась в кровь, тем самым повышая уровень циркулирующего аланина.

Цистеин является серосодержащей аминокислотой, входящей в состав клеточных белков. Участвует в реакциях аминокислотного обмена, включая переаминирование, трансаминирование. За опытные периоды содержание цистеина в крови бычков увеличивалось на 25,92; 37,70 и 46,48% по сравнению с контрольной группой. Основным механизмом здесь выступает тесная связь уровней аргинина и метионина. Добавка является функциональным аналогом N-ацетилглутамата и активирует синтез эндогенного аргинина. Рост концентрации аргинина в плазме крови

снижает потребность организма в использовании других аминокислот для энергетических нужд или синтеза промежуточных метаболитов. Это создает «сберегающий эффект» для метионина, поскольку метионин является основным предшественником цистеина в организме, улучшение его статуса напрямую ведет к повышению доступности и концентрации цистеина.

Глутаминовая кислота занимает центральное положение в азотистом обмене, выступая ключевым акцептором аминогрупп в трансаминных реакциях, а также участвуя в регуляции нейромедиаторных процессов. Концентрация глутаминовой кислоты в крови подопытных бычков была достоверно выше контрольных значений на 8,39; 9,67 и 11,58%. Скармливание добавки оказывает заметное влияние на фонд свободных аминокислот в плазме крови бычков, включая значительный рост концентрации глутаминовой кислоты. В организме под действием данной добавки активирует фермент карбамилфосфатсинтетаза-1, тем самым запускается цикл мочевины. Эффективная работа этого цикла снижает токсическую нагрузку аммиака на печень. Когда аммиак эффективно утилизируется, замедляется распад аминокислот, в частности, подавляется избыточное дезаминирование глутамата, что способствует накоплению его свободной формы в кровотоке.

Тирозин - это ароматическая аминокислота, которая играет ключевую роль в синтезе катехоламинов (дофамин, норадреналин, адреналин), меланина и тиреоидных гормонов. В период скармливания добавки концентрация тирозина в крови животных достоверно увеличилась на 28,07; 26,98 и 33,78% соответственно. Кормовая добавка способствует улучшению синтеза аргинина, который влияет на образование оксида азота и повышение доступности гуанозинтрифосфата. Это стимулирует высвобождение катехоламинов и обратную регуляцию - организм увеличивает синтез тирозина, как их предшественника. Действие тирозина заключается в усилении нейротрансмиттерного синтеза, что проявляется в улучшении аппетита, сосредоточенности и адаптации к стрессу.

Пролин относится к условно заменимым аминокислотам и может синтезироваться в организме жвачных из ряда метаболитических предшественников. За опытный период концентрация пролина увеличивалась на 27,77; 33,33 и 37,84% по сравнению с аналогами контрольной группы. Увеличение концентрации пролина под воздействием NCG - N-карбамил глутамат обусловлено его тесной метаболитической связью с циклом мочевины и биосинтезом аминокислот группы глутамата. Пролин и аргинин имеют общий метаболитический путь через промежуточное соединение - орнитин. Когда уровень орнитина в клетках возрастает благодаря стимуля-

ции цикла мочевины, часть его перенаправляется на синтез пролина через фермент орнитин-аминотрансферазу.

Серин участвует в синтезе белков и входит в состав активных центров ряда ферментов. В частности, он функционально значим для ферментов пищеварительного комплекса, включая пептидгидролазы и эстеразы. В течение опытного периода содержание серина в крови бычков увеличивалось на 21,00; 32,59 и 38,46% относительно контроля. Повышение уровня серина свидетельствует о более активном эндогенном синтезе аминокислот, необходимых для построения протеинов организма. Серин является важным компонентом для синтеза фосфолипидов клеточных мембран, что критично в период интенсивного роста бычков.

Аспарагиновая кислота играет существенную роль в азотистом обмене, участвуя в путях, связанных с образованием мочевины и синтезом пиримидиновых оснований. На фоне применения кормовой добавки в крови бычков отмечено повышение концентрации аспарагиновой кислоты на 23,37; 26,44 и 28,57% по сравнению с контрольной группой. Увеличение концентрации аспарагиновой кислоты в крови бычков при скармливании NCG (N-карбамил глутамата) можно объяснить тем, что что NCG усиливает работу орнитинового цикла и, в целом, изменяет потоки азота и аминокислот в печени, из-за чего аспарат более активнее всасывается в кровь.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что кормовая добавка способствует повышению метаболитической активности рубцовой микрофлоры, интенсификации азотистого обмена, тем самым обеспечивает образование, всасывание и эффективное использование незаменимых аминокислот.

Выводы. Анализируя полученные данные, стоит отметить выраженное стимулирующее влияние кормовой добавки на азотистый обмен в организме. Достоверно установленный рост концентрации незаменимых аминокислот указывает на явную оптимизацию ферментативно - микробиального синтеза в рубцовом содержимом и повышение обеспечения организма откармливаемых бычков жизненно необходимым пластическим материалом.

Положительная динамика увеличения содержания заменимых и незаменимых аминокислот, свидетельствует об активизации процессов переноса аминогруппы с аминокислоты на кетокислоту, что способствует повышению синтеза ферментов, гормонов и роста энергетического метаболизма без дополнительных затрат энергии, тем самым создавая мощный анаболический эффект и формируя физиологическую основу для повышения продуктивных показателей.

Литература

1. McCoard S. A., Pacheco D. The significance of N-carbamoylglutamate in ruminant production // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2023, 13: 14(1):48. p. 1023-1035. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00854-z>
2. Effectiveness and safety evaluation of graded levels of N-carbamylglutamate in growing-finishing pigs / C. Wang, L. Shang, Q. Guo [et al.] // Anim. Nutrition. 2022. V. 10. P. 412-418. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.04.012>

3. Metabolism and Nutrition of L-Glutamate and L-Glutamine in Ruminants / G. Wu, F. W. Bazer, G. A. Johnson, [et al.] // *Animals (Basel)*. 2024, V. 14(12). p. 1788. <https://doi.org/10.3390/ani14121788>
4. Integration of transcriptomic and metabolomic analysis of the mechanism of dietary N-carbamoylglutamate in promoting follicle development in yaks / J. Zhou, S. Yue, J. Du [et al.] // *Frontiers in veterinary science*. 2022. V. 9 p. 720-735. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.946893>
5. Кузнецов А. С., Харитонов Е. Л., Остренко К. С. Использование азотсодержащих соединений в организме молодняка крупного рогатого скота при добавлении в рацион N – карбомилглутамата // *Молочное и мясное скотоводство*. 2021. №2. С. 37-42. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.82.82.008>
6. Радчиков В. Ф., Богданович Д. М., Бессараб Г. В. Балансирование рационов молодняка крупного рогатого скота по протеину за счёт небелковых азотистых веществ // *Аграрно-пищевые инновации*. 2022. №2 (18). С. 46-56. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2022-18-46-56>. EDN: VOVMDV
7. Benzoic acid supplementation improves the growth performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of weaned lambs / W. Zhang, S. Sun, Y. Zhang, [et al.] // *Frontiers in Veterinary Science*. 2024. V. 9(11). p. 1351-1394. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1351394>
8. Шаабан М., Бельшикина М. Е. Нетрадиционные источники белка в кормлении животных // *Аграрная наука*. 2025. (3). 69-75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-69-75>
9. Кузьминова Е. В., Кошасев А. Г., Семенов М. П. Повышение устойчивости животных к тепловому стрессу комплексным препаратом на основе аминокислот // *Достижения науки и техники АПК*. 2024. № 38 (8). С. 50-55. https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_8_50
10. Василевский Н. В., Березин А. С., Лысов Е. А. Выращивание бычков на мясо при использовании в их рационах низко распадаемых кормовых средств // *Аграрная наука*. 2023. №. (4). С. 80-86. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-80-86>
11. Шевхужев А. Ф., Погодаев В. А., Дубовскова М. П. Аминокислотный состав и биологическая ценность мышечной ткани бычков создаваемого внутрипородного типа герефордской породы // *Молочное и мясное скотоводство*. 2025. №6. С. 38-41. <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.67.54.007>
12. Гафарова Ф. М., Хайруллина Н. И., Кутлин Ю. Н. Ферментные препараты совместно с комплексом микроэлементов в кормлении бычков // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2024. № 3 (71). С. 40-44. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2024-71-3-40-44>
13. Влияние комплекса азотсодержащих добавок на мясную продуктивность крупного рогатого скота / Б. С. Убушаев, Н. Н. Мороз, А. А. Онтаев [и др.] // *Сельское хозяйство и экосистемы в современном мире: региональные и межстрановые исследования*. 2023. №. 2(1). С. 22-30. <https://doi.org/10.53315/2949-1231-2023-2-1-22-30>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Цыганков Евгений Михайлович* - кандидат биологических наук, доцент кафедры эпизоотологии, микробиологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, e-mail: e-tsygankov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6615-2440>

Менькова Анна Александровна - доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры нормальной и патологической морфологии и физиологии животных, aamenkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1711-0041>

Брянский государственный аграрный университет Брянская область, Выгоничский район, село Кокино, Россия.

AMINO ACID COMPOSITION OF BLOOD IN FATTENING BULL CALVES USING NCG - N - CARBAMIL GLUTAMATE FEED ADDITIVE

E. M.Tsygankov, A. A. Menkova

Abstract. Amino acids are structural components of enzymes, hormones, pigments and other biologically active substances that regulate digestive and metabolic processes. The objective of the study was to investigate the effect of NCG - N - carbamyl glutamate feed additive on the amino acid composition of the blood of fattened bulls. Six-month-old fattened bulls were divided into two similar groups of five animals each. The feed additive was fed to six-, seven-, eight- and nine-month-old bulls as part of a grain concentrate mixture at a dose of 5 grams per animal per day. The feeding period was 120 days. The feeding ration in both groups was identical. The experimental period was winter stall housing. The animals were tethered and given free water. Results were recorded starting at seven months of age. Blood was collected monthly from the jugular vein before feeding. The experiment revealed a statistically significant increase in the concentration of essential amino acids in the blood serum of the experimental group from 7.40 to 22.22% ($p < 0.05$) and nonessential amino acids from 7.40 to 17.30% ($p < 0.05$) compared to the control group during this period. The supplement contributed to the optimization of the species composition and enzymatic activity of the rumen microflora, as well as to an increase in the efficiency of protein proteolysis to amino acids with their subsequent absorption into the systemic circulation.

Key words: blood, fattening bulls, supplement, amino acids, nitrogen metabolism.

For citation: Tsygankov E.M., Menkova A.A. Amino acid composition of blood in fattening bull calves using NCG - N - carbamyl glutamate feed additive. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p.111-117. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_111

References

1. McCoard SA, Pacheco D. The significance of N-carbamoylglutamate in ruminant production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2023; 13. 14(1). 48. p. 1023-1035. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00854-z>
2. Wang S, Shang L, Guo Q. Effectiveness and safety evaluation of graded levels of N-carbamylglutamate in growing-finishing pigs. *Anim. Nutrition*. 2022; Vol.10. 412-418 p. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.04.012>
3. Wu G, Bazer FW, Johnson GA. Metabolism and nutrition of L-Glutamate and L-Glutamine in ruminants. *Animals (Basel)*. 2024; Vol.14(12). 1788 p. <https://doi.org/10.3390/ani14121788>

4. Zhou J, Yue S, Du J. Integration of transcriptomic and metabolomic analysis of the mechanism of dietary N-carbamoylglutamate in promoting follicle development in yaks. *Frontiers in veterinary science*. 2022; Vol.9. 720-735 p. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.946893>
5. Kuznetsov AS, Kharitonov EL, Ostrenko KS. [Use of nitrogen-containing compounds in the body of young cattle with the addition of N-carbamoyl glutamate to the diet]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021; 2. 37-42 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.82.82.008>
6. Radchikov VF, Bogdanovich DM, Bessarab GV. [Balancing the diets of young cattle for protein due to non-protein nitrogenous substances]. *Agrarno-pishchevye innovatsii*. 2022; 2 (18). 46-56 p. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2022-18-46-56>. EDN: VOVM DV
7. Zhang W, Sun S, Zhang Y. Benzoic acid supplementation improves the growth performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of weaned lambs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024; Vol.9(11). 1351-1394 p. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1351394>
8. Shaaban M, Belyshkina ME. [Non-traditional sources of protein in animal feeding]. *Agrarnaya nauka*. 2025; (3). 69-75 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-69-75>
9. Kuzminova EV, Koshchayev AG, Semenenko MP. [Increasing animal resistance to heat stress using a complex preparation based on amino acids]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2024; 38 (8). 50-55 p. doi.org/10.53859/02352451_2024_38_8_50
10. Vasilevskiy NV, Berezin AS, Lysov EA. [Growing bulls for meat using low-decay feed in their diets]. *Agrarnaya nauka*. 2023; (4). 80-86 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-80-86>
11. Shevkhuzhev AF, Pogodaev VA, Dubovskova MP. [Amino acid composition and biological value of muscle tissue of bulls of the created intra-breed type of Hereford breed]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2025; 6. 38-41 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.67.54.007>
12. Gafarova FM, Khayrullina NI, Kutlin YuN. [Enzyme preparations together with a complex of microelements in feeding bulls]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 3 (71). 40-44 p. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2024-71-3-40-44>
13. Ubushaev BS, Moroz NN, Ontaev AA. [The effect of a complex of nitrogen-containing additives on beef productivity of cattle]. *Selskoe khozyaystvo i ekosistemy v sovremennom mire: regionalnye i mezhranovye issledovaniya*. 2023; 2(1). 22-30 p. <https://doi.org/10.53315/2949-1231-2023-2-1-22-30>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Tsygankov Evgeniy Mikhaylovich* - Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Department of Epizootology, Microbiology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Expertise, e-mail: e-tsygankov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6615-2440>

Menkova Anna Aleksandrovna - Doctor of Biological Sciences, Professor of Department of Normal and Pathological Morphology and Physiology of Animals, aamenkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1711-0041>
Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Vygonichsky district, Kokino village, Russia.

ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РУБЦОВОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ СЕНАЖА ИЗ СОРГО- СУДАНКОВОГО ГИБРИДА

Ф. К. Ахметзянова, А. Р. Кашаева, Д. Р. Шарипов, А. Р. Шагеева,
Д. Т. Миникаев

Реферат. В статье приведены данные исследований по внедрению в рацион дойных коров в условиях ООО «имени Тимирязева» – сенажа из сорго-суданкового гибрида (ССГ). Цель работы – оценить эффективность применения сенажа из ССГ в кормлении лактирующих коров по показателям молочной продуктивности и микробиологическим параметрам содержимого рубца. Установлено, что готовый сенаж из ССГ по органолептическим показателям (рассыпчатая консистенция, оливковый цвет, фруктовый аромат), соотношению молочной и уксусной кислот (70:30) и отсутствию масляной кислоты соответствует 1 классу и свидетельствует о нормальных микробиологических процессах консервации. По энергетической ценности (9,51 МДж ОЭ) и концентрации сырого протеина (12,83%) в сухом веществе характеризует его как доброкачественный питательный корм. При замене в рационах коров части кукурузного силоса на сенаж ССГ (опытная группа) отмечено увеличение среднесуточных удоев молока фактической жирности – на 2,74 кг (10,5%), базисной на 4,06 кг (13,7%), тогда как в контрольной группе прирост был меньше (1,66 кг или 4,6%). Разница в пользу опытной группы достигла 2,48 кг. При этом отмечено улучшение качества молока: повысилась массовая доля жира и белка. При исследовании рубцовой жидкости установлено повышение доли уксусной кислоты (на 10,15%) и пропионовой (на 3,94%) кислот, что свидетельствует об улучшении энергетического статуса и дополнительных резервах синтеза молочного жира, учитывая, что пропионат является основным источником для синтеза глюкозы в печени в результате глюконеогенеза, что напрямую влияет на продуктивность животного и уровень лактозы в молоке. Снижение масляной кислоты свидетельствует об оптимизации микробиологических процессов в рубце. Отрицательного влияния на рубцовое пищеварение не выявлено.

Ключевые слова: сорго-суданковый гибрид, сенаж, корова, молоко, рубцовая жидкость.

Для цитирования: Ахметзянова Ф.К., Кашаева А.Р., Шарипов Д.Р., Шагеева, А.Р., Миникаев Д.Т. Продуктивность коров и микробиологические параметры рубцовой жидкости при скармливании сенажа из сорго-суданкового гибрида // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2026. Том 266 (2). С. 118-123. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_118

Введение. В последние десятилетия из-за глобального потепления климата территория Республики Татарстан все чаще подвергается засухам, вследствие чего наблюдаются значительные колебания урожайности кормовых и зерновых культур по годам, недобор зеленой массы для производства объемистых кормов, в том числе кукурузы, как основной культуры для крупного рогатого скота [1].

Тепловой стресс – большая проблема для молочного скотоводства, которая проявляется в жаркую погоду в результате дисбаланса между притоком тепла из окружающей среды и выделением тепла из организма. Это приводит к снижению потребления корма, нарушению метаболических процессов у лактирующих коров и, в конечном счете, к потере молочной продуктивности, снижению качества молока, ухудшению показателей воспроизводства, благополучия и здоровья животных в целом [2].

В этой связи для бесперебойного обеспечения животноводства кормами структурно-значимые изменения в сырьевом конвейере кормопроизводства региона должны проводиться за счет интродукции нетрадиционных засухоустойчивых кормовых культур – суданской травы, сорго и сорго-суданковых гибридов, а также кормовых культур с коротким периодом вегетации [3].

Сорго – это единственная сельскохозяйственная культура, которая обладает свойством

анабиоза. Это означает, что, когда температура окружающей среды поднимается больше, чем на 35 °С, сорго приостанавливает свой рост на 35-55 дней, а при выпадении даже незначительного количества осадков начинает расти со скоростью пять сантиметров за сутки [4]. Затраты на выращивание сорго на 40% ниже, чем затраты на кукурузу, причем в засушливых условиях сорго стабильно дает более высокую урожайность [5]. Особенно это актуально для хозяйств, где продуктивность кукурузы и ячменя снизилась до 30 ц/га и 20 ц/га соответственно, сумма осадков в период вегетации не превышает 150-200 мм, а температурный режим в середине лета колеблется в пределах от 30-40 °С [6].

Различают 4 типа сорговых культур: сорго зерновое, сорго сахарное, сорго веничное и сорго-суданковые гибриды [7, 8, 9]. На сегодняшний день сорго по объемам возделывания занимает пятое место в мире [10]. Это связано с его неприхотливостью в уходе, высокой урожайностью и многочисленными полезными свойствами. Немаловажным достоинством возделывания сорго являются минимизированные расходы на семена и минеральное питание [2].

В Среднем Поволжье традиционной культурой для приготовления силоса является кукуруза, но резко континентальный засушливый климат отрицательно влияет на его высокую продуктивность [11]. Одним из вариантов выхода

из этой ситуации является использование в качестве силосной и смежной культуры сахарного и зернового сорго, а также сорго-суданкового гибрида, которые способны обеспечить высокие урожаи зеленой массы и зерна даже в острозасушливые годы [11, 4]. Для Поволжского региона эти культуры представляют особый интерес в плане применения их в виде консервированных кормов – силоса, сенажа и корнажа, а также цельного зерна в кормлении молочного и мясного скота [5, 12]. Достоинством сорговых культур является высокое содержание в зеленой массе сахара и ценного нерасщепляемого протеина в зерне [5].

Целью исследований являлась оценка эффективности применения сенажа из сорго-суданкового гибрида (ССГ) в рационах лактирующих коров по показателям молочной продуктивности и микробиологическим параметрам содержимого рубца.

Условия, материалы и методы. Экспериментальная часть работы выполнена в условиях ООО «имени Тимирязева» Балтасинского района Республики Татарстан. Научно-хозяйственный опыт проведен в 2-х коровниках (контрольном и опытном) с привязным содержанием лактирующих коров голштинской породы 98 и 94 головы соответственно. Продолжительность опыта составляла 60 суток (в т.ч. 15 – подготовительный, 45 – учетный периоды). Условия содержания подопытных животных соответствовали зоогигиеническим нормативам (А.Ф. Кузнецов, 2017). Доеение коров 2-х разовое в молокопровод с автоматизированной программой управления стада (учета молока) DeLaval DelPro™ 3.5 (Швеция). Кормление животных осуществлялось в соответствии с нормами ВИЖ (А.П. Калашников и др., 2003) и с использованием современных подходов в системе нормированного питания жвачных (Ф.С. Хазиахметов, Б.Г. Шарифьянов, Р.А. Галлямов, 2005). Раздача моноорма осуществлялась на кормовые столы 2 раза в сутки.

В подготовительный период осуществляли контроль за состоянием здоровья коров, а также поедаемостью кормов, были отобраны пробы грубых, концентрированных и сочных кормов, в том числе силоса кукурузного и сенажа из сорго-суданкового гибрида, проведен их зоотехнический анализ, с учетом результатов зооанализа определены и проанализированы рационы для контрольной и опытной групп коров, проведена контрольная дойка, произведен отбор молока на анализ, начато опытное кормление. Химический состав и питательность заготовленных сенажей и силосов, их кислотный и микробиологический состав проводились в лаборатории ЯРВЕТ (г. Казань).

Содержание сырого протеина определяли на анализаторе Kjeldahl K-355, сырой клетчатки – на FiberCap, сырого жира – экстракцией на SER 148/6, pH – потенциометрическим методом с использованием pH-метра Mettler Toledo. Микробиологический анализ проведен посевом на питательные среды в ламинарном боксе, инкубированием в термостате Binder и микроскопией (Leica DM 2000). Питательность кор-

мов рассчитана по программе «КОРМ Оптима».

В учетный период коровы контрольной группы получали общехозяйственный рацион, а животным опытной группы скармливали моноорм согласно разработанному рациону с применением сенажа из ССГ. В ходе исследования определяли поедаемость кормов по остаткам на кормовом столе, вели учет молочной продуктивности. В начале и в конце опытного кормления были проведены контрольные доения коров в контрольном и в опытном помещениях. Средние пробы молока отбирали от каждой коровы в ходе вечернего и утреннего доения, пропорционально величине удоя (ГОСТ 9225-84).

Качество молока-сырья определяли в лаборатории селекционного контроля качества молока АО «Головное племенное предприятие «Элита» Высокогорского района РТ. Исследование молока проводили с использованием автоматической системы CombiFoss™ 7, объединяющей Milko Scan FRM Fossomatic TM7. При оценке молока-сырья коров учитывали сухое вещество (СВ), массовую долю жира (МДЖ), массовую долю белка (МДБ), массовую долю лактозы (МДЛ), сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), плотность, мочевину, pH, проводили скрининг наличия бета-гидроксимасляной кислоты и ацетона.

Для оценки рубцового содержимого по окончании опытного кормления был произведен забор рубцовой жидкости при помощи пищеводного зонда и шприца Жанэ. Полученную жидкость исследовали в соответствии с модифицированными методиками И.П. Кондрахина (2003). Были определены органолептические свойства (цвет, запах, консистенцию, наличие осадка), активность водородных ионов (pH-метром), подвижность и концентрация инфузорий, содержание и соотношение органических кислот – молочной, пропионовой и масляной.

Экономическую эффективность оценивали по количеству молока фактической и базисной (3,4%) жирности, его стоимости и затратам кормов на единицу продукции.

Полученный цифровой материал обработан с использованием метода вариационной статистики и программы Microsoft Excel пакета Microsoft Office. Уровень достоверности различий определен с использованием критерия t-Стьюдента.

Результаты и обсуждение. При оценке качества готового сенажа из ССГ согласно ГОСТ установлено, что корм имел приятный фруктовый запах, оливковый оттенок, рассыпчатую структуру. Содержание сухого вещества (СВ) 36,64%, влаги 63,36%. По кислотности 4,13, соотношению молочной и уксусной кислот (70% и 30% соответственно), концентрации в СВ сырого протеина (СП) 14,61% данный корм отнесен к 1 классу, а по количеству сырой клетчатки (СК) 28,96% и сырой золы (СЗ) 11,36% – ко 2 классу. В сравнении с силосом кукурузным сенаж из ССГ характеризовался повышенным содержанием СП (14,6 % против 8,27%), сахара (5,27% против 2,66%) и пони-

женным содержанием крахмала (2,06 против 35,0% и обменной энергии (10,24 МДж против 11,61 МДж).

С учётом химического состава и питательности кормов разработан новый способ кормления лактирующих коров с использованием сенажа из ССГ: животные опытной группы получали 18 кг сенажа из ССГ и 1 кг зерна кукурузы взамен 17 кг кукурузного силоса в контрольном (хозяйственном) рационе. Основным условием при этом являлось исключить удорожание рациона, стоимость потребляемых кормов на одно животное в сутки составила в опытной группе 283 руб., в контрольной 282 руб.

Замена части кукурузного силоса на сенаж из ССГ в рационе коров опытной группы обусловило повышение концентрации в СВ сырого протеина (17,7% против 16,8%), повышение сахара на 102 г (1656 г против 1504 г) и снижение крахмала (17,8 против 21,6%). Концентрация ОЭ в СВ рационов контрольной и опытной групп имела одинаково высокие значения на

уровне 1,12 МДж/кг.

В ходе исследования ежедневный учет остатков моноорма на кормовых столах не выявил негативное влияние сенажа из ССГ на поедаемость: количество несъеденных остатков было примерно одинаковым как опытной, так и контрольной групп и составляло не более 5,0%, что в пределах современных норм по данному показателю.

Наибольший интерес в связи с введением сенажа из сорго-суданкового гибрида представляла молочная продуктивность коров. К концу опытного кормления среднесуточные удои молока фактической жирности увеличились в контрольной группе на 1,66 кг (с 29,55 до 31,21 кг), в опытной на 2,74 кг (с 26,03 до 28,77 кг). Массовая доля жира в молоке (МДЖ) в опытной группе повысилась на 0,11% (с 3,88 до 3,99%), а в контрольной, наоборот, наблюдалось некоторое снижение показателя на 0,04% (с 3,99 до 3,95%) (табл.1). При этом статистически значимых различий между группами не установлено.

Таблица 1 – Среднесуточные удои коров контрольной и опытной групп в начале и в конце опытного кормления

Показатель	Группы	
	Контрольная n=98	Опытная n=92
В начале опытного кормления		
Среднесуточный удой молока фактической жирности, кг	29,55±1,15	26,03±0,86
Массовая доля жира, %	3,99±0,12	3,88±0,15
Среднесуточный удой молока в пересчете на базисную жирность, кг	34,68±1,12	29,70±0,92
В конце опытного кормления		
Среднесуточный удой молока фактической жирности, кг	31,21±0,87	28,77±0,88
Массовая доля жира, %	3,95±0,12	3,99±0,13
Среднесуточный удой молока в пересчете на базисную жирность, кг	36,26±0,95	33,76±0,91
Прибавка молока фактической жирности за учетный период, кг	1,66	2,74
Прибавка молока за учетный период в пересчете на базисную жирность, кг	1,58	4,06
Разница между группами, кг	-	2,48

В пересчете на базисную жирность (3,4%) повышение удоев составило в контрольной группе 1,58 кг (с 34,68 до 36,26 кг), а в опытной – 4,06 кг (с 29,70 до 33,76 кг), то есть на 2,48 кг больше.

При анализе качественного состава молока у коров опытной группы отмечалась тенденция к повышению СВ на 0,7% и МДЖ на 0,11% при некотором снижении МДБ на 0,02...0,03%. Однако, их статистическая значимость не была подтверждена. Концентрации лактозы, СОМО, рН, бета-оксимасляной кислоты и ацетона в молоке коров опытной и контрольной групп изменилась незначительно [10].

В настоящее время одним из показателей качества кормов является состояние рубцовой жидкости. Микрофлора рубца определяет со-

стояние здоровья и молочную продуктивность коров, поскольку рубцовые бактерии — практически единственный источник ферментов, необходимых для расщепления растительных кормов в рубце жвачных. Кроме того, микроорганизмы рубца синтезируют летучие жирные кислоты (ЛЖК) и витамины, поддерживают иммунитет, защищают организм от патогенов, нейтрализуют токсины и пр. (Г.Ю. Лаптев и др., 2020). Диагностическое значение имеют кислотность (рН), соотношение летучих жирных кислот, количество инфузорий и их подвижность, что и являлось объектом наших исследований.

В ходе исследований у опытных коров, получавших сенаж из ССГ, рубцовая жидкость характеризовалась темно-соломенным оттенком, кисловато-пряным ароматом и от-

сутствием примесей либо посторонних включений [11].

Показатели количества инфузорий в рубцовой микробной популяции: в контроле – 267,33 тыс/мл, в опыте – 266,00 тыс/мл, что лишь на 1,33 тыс/мл уступает контрольному значению. Оценка подвижности инфузорий (по 5-балльной шкале) в обеих группах идентична – 4,00 балла. Полученные данные свидетельствуют об оптимальном микробном

балансе в рубце как в контроле, так и в опыте [11].

Кормление жвачных экспериментальным рационом с испытуемым сенажем из ССГ способствовало некоторому повышению в рубцовом содержимом концентрации уксусной кислоты на 6,33% ($p \leq 0,05$) и пропионовой на 3,94% относительно показателей контрольной группы (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели рубцового метаболизма подопытных коров

Показатель	Группы, n=3	
	Контрольная	Опытная
Соотношение ЛЖК, %:		
уксусная	62,34 ± 1,22	68,67 ± 1,08*
пропионовая	20,33 ± 3,63	21,33 ± 1,08
масляная	17,33 ± 2,68	10,00 ± 0,01*

Примечание: * - $p \leq 0,05$

Количество масляной кислоты было ниже в рубцовом содержимом коров опытной группы (10,0 против 17,33; $p \leq 0,05$). Повышение в рубцовом содержимом у коров опытной группы пропионовой и уксусной кислоты при оптимизации параметров кислотности и ферментативной активности на фоне скармливания экспериментального рациона с сенажем из ССГ предопределили увеличение жирномолочности и удоев у них относительно контроля. Это согласуется с результатами исследований А.И. Андреева с соавт. (2016), в которых скармливание лактирующим коровам сорго-клеверного силоса способствовало положительному влиянию на состав рубцовой микрофлоры, улучшению ферментативных процессов в рубце, что обусловило повышение молочной продуктивности, увеличило массовую долю жира и белка в молоке соответственно на 0,14-0,18% и 0,16%.

Выводы. Научные исследования по внедрению технологии кормления лактирующих коров с применением сенажа из сорго-суданкового гибрида в кормление молочно-продуктивного скота в условиях ООО «имени Тимирязева» позволили сделать следующие выводы:

1. Готовый сенаж из зеленой массы сорго-суданкового гибрида, согласно требованиям ГОСТ 55452-2021 по органолептическим показателям (цвету, запаху, консистенции),

соотношению молочной и уксусной кислот (70% : 30%) при отсутствии масляной кислоты, а также по концентрации сырого протеина (12,83%), сырой клетчатки (29,79%), обменной энергии (9,5 МДж) в сухом веществе представляет доброкачественный корм, пригодный для применения в кормлении крупного рогатого скота, в том числе лактирующих коров.

2. Внедрение технологии кормления лактирующих коров с применением сенажа из сорго-суданкового гибрида взамен части силоса кукурузного способствовало увеличению суточных удоев и повышению массовой доли жира в молоке. За период опытного кормления среднесуточные удои молока, в пересчете на 3,4%-ную жирность, увеличились в контрольной группе и составило 1,58 кг или 4,6%, в опытной – 4,06 кг или 13,7% с разницей в пользу опытной группы 2,48 кг.

3. Введение в рационы лактирующих коров сенажа из ССГ взамен части кукурузного силоса способствовало оптимизации в рубцовом содержимом соотношения органических кислот (уксусной кислоты и пропионовой) при повышении кислотности (pH) в пределах физиологической нормы и ферментативной активности, предопределили увеличение жирномолочности и удоев у них относительно контроля.

Литература

1. Благоев Д. А., Довлатов И. М., Комков, И. В. Терморегуляторный потенциал бикарбоната натрия в условиях теплового стресса у лактирующих коров // Молочная промышленность. 2025. № 5. С. 60-67. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-5-57>
2. Последствия влияния теплового стресса в кормопроизводстве и животноводстве и пути их решения (обзор) / Ш. К. Шакиров, Н. Ю. Сафина, А. Л. Аминова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 96-114. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-96>
3. Большаков А. З., Целовальников И. К., Семенова Ф. К. Зерновое сорго как новый кормовой ресурс для КРС молочного и мясного направления в условиях планетарного потепления климата // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 109-113. EDN: XQBIVT
4. Ковтунова Н. А., Ковтунова Н. А., Шишова Е. А. Продуктивный и питательный потенциал суданской травы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 4. С. 646-655. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655>
5. Цыганков Е. М., Менькова А. А. Оптимизация рубцового пищеварения у коров с использованием кормовой добавки NCG-N-карбамил глутамат // Аграрный вестник Северного Кавказа. 2025. №3. С. 10-24.

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-8-22>

6. Биктимиров Р. А. Низаева А. А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов зернового сорго в условиях Республики Башкортостан // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 39-43. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43>

7. Ерохин А. С., Дурсенев М. С. Питательная ценность силоса из сахарного сорго при скормливание крупному рогатому скоту // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2023. № 2. С. 3438. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-03-07>

8. Использование гибридизации для создания новых сортов и гибридов сорго / Н. А. Ковтунова, В. В. Ковтунов, А. Е. Романюкин [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 26-32. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-90-1-26-32>

9. Оценка комбинационной способности сортообразцов сахарного сорго / В. И. Жужукин, В. С. Горбунов, О. П. Кибальник [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2025. № 5. С. 34-37. <https://doi.org/10.31857/vrsn/2017/5/34-37>

10. Качественный состав молока коров при введении энергетической кормовой добавки «Zeolfat» / А. Р. Кашаева, Ф. К. Ахметзянова, Ш. К. Шакиров [и др.] // Ветеринария и кормление. 2021. № 4. С. 29-31. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-4-8>

11. Ухова У. Н., Мингалиева С. И. Рубцовое пищеварение у коров при использовании сенажа из сорговой культуры // Молодёжная наука 2025: технологии, инновации: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов, посвящённой 95-летию со дня образования Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова. В 3-х частях, Пермь, 07-11 апреля 2025 года. Пермь: ИПЦ "Прокрост", 2025. С. 137-139. EDN: PMVANQ

12. Влияние премиксов и болюсов на продуктивность и качество молока коров / Е. О. Крупин, Ш. К. Шакиров, А. Р. Кашаева [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (59). С. 21-25. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-21-25>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования: Работа выполнена по заданию НИОКТР № 0477-2019-0005 при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан.

Сведения об авторах:

Ахметзянова Фирая Казбековна – доктор биологических наук, профессор кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: lady.firaya@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0448-8026>

Кашаева Алия Ринатовна* – доктор биологических наук, профессор кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: aliam_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3079-3403>

Шарипов Делюс Ринатович – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, e-mail: abdul0401@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9541-0699>

Шагеева Альфия Рашитовна – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры терапии и клинической диагностики с рентгенологией, shageeva_1970@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9054-6960>

Миникаев Данис Тимурович – кандидат биологических наук, ассистент кафедры технологии животноводства, кормления и зоогигиены, danis_minickaew@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9628-847x>
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

COW PRODUCTIVITY AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF RUMEN FLUID WHEN FEEDING SORGHUM-SUDANGRASS HYBRID OF HAYLAGE

F. K. Akhmetzyanova, A. R. Kashaeva, D. R. Sharipov, A. R. Shageeva, D. T. Minikaev

Abstract. The article presents research results on the introduction of sorghum-sudangrass hybrid haylage into the diet of dairy cows at Timiryazev LLC. The aim of study was to evaluate the effectiveness of sorghum-sudangrass hybrid haylage in feeding lactating cows based on milk productivity and rumen microbiological parameters. It was established that finished sorghum-sudangrass hybrid haylage corresponds to class 1 in terms of organoleptic properties (crumbly consistency, olive color, fruity aroma), the ratio of lactic and acetic acids (70:30) and the absence of butyric acid, indicating normal microbiological preservation processes. In terms of energy value (9.51 MJ EE) and crude protein concentration (12.83%) in dry matter, it is characterized as a high-quality nutritious feed. When replacing part of the corn silage in the cows' diets with sorghum-sudangrass hybrid haylage (experimental group), an increase in average daily milk yield of actual fat content was noted - by 2.74 kg (10.5%), and baseline - by 4.06 kg (13.7%), while in the control group the increase was less (1.66 kg or 4.6%). The difference in favor of the experimental group reached 2.48 kg. Improvements in milk quality were also noted, with increased fat and protein content. Rumen fluid analysis revealed increases in acetic acid (by 10.15%) and propionic acid (by 3.94%), indicating improved energy status and additional reserves for milk fat synthesis. Propionate is the primary source for glucose synthesis in the liver through gluconeogenesis, which directly impacts animal productivity and milk lactose levels. A decrease in butyric acid indicates optimized microbiological processes in the rumen. No adverse effects on rumen digestion were observed.

Key words: sorghum-sudangrass hybrid, haylage, cow, milk, rumen fluid.

For citation: Akhmetzyanova F.K., Kashaeva A.R., Sharipov D.R., Shageeva A.R., Minikaev D.T. Cow productivity and microbiological parameters of rumen fluid when feeding sorghum-sudangrass hybrid of haylage. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2026; 266 (2). p. 118-123. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_266_118

References

1. Blagov DA, Dovlatov IM, Komkov IV. [Termoregulatory potential of sodium hydrogencarbonate in conditions of heat stress in lactating cows]. Molochnaya promyshlennost. 2025; 5. 60-67 p. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-5-57>

2. Shakirov ShK, Safina NYu, Aminova AL. [Consequences of heat stress in forage production and animal husbandry and ways to solve them (review)]. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2025; Vol.108. 1. 96-114 p. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-96>

3. Bolshakov AZ, Tselovalnikov IK, Semenova FK. [Grain sorghum as a new feed resource for dairy and beef cattle in

4. Kovtunova NA, Kovtunova NA, Shishova EA. [Productive and nutritional potential of Sudan grass]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023; Vol.24. 4. 646-655 p. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655>
5. Tsygankov EM, Menkova AA. [Optimizatsiya rubtsovogo pishchevareniya u korov s ispolzovaniem kormovoy dobavki NCG-N-karbamil glutamat]. *Agrarnyy vestnik Severnogo Kavkaza*. 2025; 3. 10-24 p. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-8-22>
6. Biktimirov RA, Nizaeva AA. [Assessment of ecological stability and plasticity of grain sorghum varieties in the conditions of the Republic of Bashkortostan]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2021; 1(73). 39-43 p. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43>
7. Erokhin AS, Dursenev MS. [Nutritional value of sugar sorghum silage when fed to cattle]. *Kormlenie selskokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2023; 2. 3438 p. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-03-07>
8. Kovtunova NA, Kovtunov VV, Romanyukin AE. [Using hybridization to create new varieties and hybrids of sorghum]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2024; Vol.16. 1. 26-32 p. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-90-1-26-32>
9. Zhuzhukin VI, Gorbunov VS, Kibalnik OP. [Otsenka kombinatsionnoy sposobnosti sortoobraztsov sakharnogo sorogo]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2025; 5. 34-37 p. <https://doi.org/10.31857/vrsn/2017/5/34-37>
10. Kashaeva AR, Akhmetzyanova FK, Shakirov ShK. [Qualitative composition of cow's milk with the introduction of Zeolfat energy feed additive]. *Veterinariya i kormlenie*. 2021; 4. 29-31 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-4-8>
11. Ukhova UN, Mingalieva SI. [Rumen digestion in cows using sorghum silage. Youth Science 2025: Technologies, Innovations]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov, posvyashchennoy 95-letiyu so dnya obrazovaniya Permskogo gosudarstvennogo agrarno-tehnologicheskogo universiteta imeni akademika D.N. Pryanishnikova. V 3-kh chastyakh, Perm, 07-11 aprelya 2025 goda. Perm: IPTs Prokrost*. 2025; 137-139 p. DOI i/ili EDN
12. Krupin EO, Shakirov ShK, Kashaeva AR. [Vliyanie premiksov i bolyusov na produktivnost i kachestvo moloka korov]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 3(59). 21-25 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-21-25>

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Funding information: This work was completed under R&D assignment No. 0477-2019-0005 with financial support from Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Tatarstan.

Authors:

Akhmetzyanova Firaya Kazbekovna – Doctor of Biological Sciences, Professor of Department of Animal Husbandry Technology, Feeding and Zoohygiene, e-mail: lady.firaya@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0448-8026>
 Kashaeva Aliya Rinatovna* – Doctor of Biological Sciences, Professor of Department of Animal Husbandry Technology, Feeding and Zoohygiene, e-mail: aliam_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3079-3403>
 Sharipov Delyus Rinatovich – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Department of Animal Husbandry Technology, Feeding and Zoohygiene, e-mail: abdul0401@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9541-0699>
 Shageeva Alfiya Rashitovna – Ph.D. of Veterinary Sciences, Associate Professor of Department of Therapy and Clinical Diagnostics with Radiology, shageeva_1970@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9054-6960>
 Minikaev Danis Timurovich – Ph.D. of Biological Sciences, Assistant Professor of Department of Animal Husbandry Technology, Feeding and Zoohygiene, danis_minickaew@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9628-847x>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**Требования к оформлению статьи в научно-практическом журнале
«УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ
ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА»**

Предоставляемые к публикации статьи, должны содержать результаты научных исследований в области ветеринарии и зоотехнии. Статьи проходят отбор на критерий актуальности и новизны рассматриваемых научных проблем.

Предполагается проверка предоставленного авторами материала в системе «Антиплагиат», при этом оригинальность должна быть **не менее 75%**. Рекомендуемый объем статьи, включая приложения, должен составлять не менее 10 и не более 14 страниц. Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, размер – 14 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля (обычные) сверху и снизу – 2 см, слева – 2,5 см справа – 1,5 см, абзац (отступ) – 0,5 см (не задавать пробелами), формат – книжный.

Если статья была или будет отправлена в другое издание, то она не может быть принята к рассмотрению в журнале

Оформление статьи

1. Слева в верхнем углу без абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского Института Научной и Технической Информации – ВИНТИ).

2. Ниже, по центру строки название статьи (название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом прописными буквами.

3. Затем жирными строчными буквами – фамилия и инициалы автора(-ов). Пропускается одна строка. **Количество авторов не более 5.** Список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

4. После этого через пробел – реферат статьи (**рекомендуемый объем – 200–250 слов**) отражает тематику статьи, ценность, новизну, основные положения и выводы исследований. Запрещается разбивка реферата на абзацы, использование вводных слов и оборотов. Реферат может публиковаться самостоятельно и, следовательно, должна быть понятной без обращения к тексту статьи. По реферату публикации читатель должен иметь возможность определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Реферат не должен содержать нерасшифрованных сокращений и/или терминов, которые ранее не были представлены.

5. С нового абзаца – ключевые слова (**не более 9 слов**).

Слева строчными буквами печатается «Ключевые слова:» (без кавычек) и через запятую приводятся ключевые слова или словосочетания. Пропускается одна строка.

6. С нового абзаца - «Для цитирования». Записываются выходные данные по статье.

7. При написании научной статьи необходимо придерживаться следующей структуры изложения: **«Введение», «Цель исследований», «Условия, материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».**

8. В случае если ваша статья подготовлена при поддержке и есть необходимость прописать данный источник, добавляем после выводов раздел **Сведения об источнике финансирования:** Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР № 0477–2019–0005 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Информация о конфликте интересов. Статья должна включать любой фактический или потенциальный конфликт интересов. Конфликт интересов – это условия, при которых у людей возникают вступающие в конфликт или конкурирующие интересы, способные повлиять на принятие редакторского решения. Конфликты интересов могут быть потенциальными или осознанными, а также реально существующими. На объективные могут повлиять личные, политические, финансовые, научные или религиозные факторы. Автор обязан уведомить редактора о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в соответствующий раздел статьи. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

В разделе «Введение» предлагается постановка проблемы, должна быть сформулирована и обоснована цель работы и, если необходимо, рассмотрена ее связь с важными научными и практическими направлениями, дается теоретическое обоснование исследования. Должны присутствовать ссылки на публикации последних лет, в данной области включая зарубежных авторов.

Далее необходимо четко сформулировать **цель исследований** (для чего проводятся исследования результаты, которых приводятся в статье?) без использования таких расплывчатых формулировок как «изучить», «определить» и др., которая будет раскрыта в последующем тексте.

В следующем разделе раскрываются особенности данного исследования, приводятся условия, материалы и методы исследований. Место исследования уточняется до области (края). Следует отразить время, место, методику и условия проведения опытов.

Главный раздел статьи посвящается представлению, анализу и обсуждению результатов. По-

лученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

В завершении представляются выводы и рекомендации.

Подзаголовки и заголовки набираются жирным шрифтом с заглавной буквы. Нумерация ссылок на библиографический список в тексте располагается в порядке упоминания источников. Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например: [1].

9. После основного текста статьи пропускается одна строка и по центру печатается заглавие «Литература» (без кавычек). Через одну строку помещается пронумерованный перечень источников в порядке ссылок по тексту.

Список литературы (**не менее 10 источников и не более 30**) оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и требованиями журнала, тщательно проверяется авторами и приводится в конце статьи. Нумерация ссылок в списке приводится в соответствии с порядком их упоминания в тексте. В одном пункте перечня следует указывать только один источник информации. Злоупотребление самоцитированием не допускается. Доля ссылок на собственные публикации авторов должна составлять **не более 25 %** списка литературы. Цитирование работ какого-либо одного автора, не входящего в состав авторского коллектива рукописи, также не должно превышать 25 %. Рекомендуется ссылаться не более чем на 2 публикации каждого из авторов. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна **превышать 25 %** списка литературы. Доля ссылок на публикации в журналах **из Белого списка (уровень 1 и 2 и/или «ядро РИНЦ»)** за последние 5 лет должна составлять **не менее 50 % списка литературы**. Ссылки на материалы конференций старше 3 лет не должны **превышать 20 %** списка литературы. **Ссылки на учебники, учебные пособия, авторефераты диссертаций не принимаются.** Число источников в «сериальных» ссылках должно быть не более трех.

Все источники должны иметь ссылку в тексте статьи.

Необходимо правильно оформить ссылку на источник. Следует указать фамилии авторов, журнал, год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет (полный URL-адрес) и дата обращения. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Большинство цитируемых источников должны быть доступны через Интернет, либо полными текстами, либо их метаданными. Если источник не имеет DOI (то можно использовать EDN - eLIBRARY Document Number), но его полный текст доступен через Интернет, важно указывать адрес страницы доступа —URL: <https://....> (в таком случае и дату доступа).

Недопустимо использовать в выходных данных цитируемых источников транслитерацию выходных сведений, сопровождающих описание (Vol. (не Tom), страницы –p., pp. (не –s.,ss.), Изд-во – Publ. и т.д., Москва – Moscow и т.д.).

Все списки цитируемой литературы в журнале переводятся/транслитерируются на английский язык.

Примеры оформления ссылок в конце документа.

10. «Сведения об авторах» Ф.И.О. (полностью), ученая степень, должность, e-mail, ORCID, с новой строки, полное наименование организации.

Пропускается одна строка.

11. На английском языке печатается по центру печатается название статьи.

Так же на английском языке слева печатается реферат, затем ключевые слова.

12. «Authors:» – информация на английском языке.

Иллюстрации к статье (при наличии) в формате JPEG, PNG, TIF должны быть четко выполненными, хорошего качества, наглядно иллюстрирующими текст. В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Нумерация рисунков производится в порядке ссылок по тексту. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру. Тематический заголовок в той же строке, сразу после нумерационного (например: Рис. 1 –. Ссылка на рисунок в основном тексте оформляется в скобках: (рис. 1), если в тексте только один рисунок, то не нумеруется.

Таблицы представляются в редакторе WORD. Нумерация таблиц производится в порядке ссылок по тексту. В тексте статьи обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные таблицы. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру (например: Таблица 1. ...). Ссылка на таблицу в основном тексте оформляется в скобках, например: (табл. 1), если в тексте только одна таблица, то не нумеруется.

Простые формулы, не содержащие специальных символов (отсутствующих на клавиатуре), должны быть набраны символами с клавиатуры без использования специальных редакторов. Формулы, содержащие специальные символы (отсутствующие на клавиатуре), а также сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 или Math Type equation. Не допускается набор части формулы символами, а части – в редакторе формул. Не рекомендуется вставлять в текст формулы в виде рисунков. Ссылка на формулы в основном тексте оформляется в скобках, например: (1). В тексте обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные формулы. Если в тексте статьи формулы нумеруют-

ся, то эту нумерацию следует выполнить ручным набором чисел. Автоматическая нумерация не допускается.

Авторы предоставляют в редакцию (одновременно):

– **электронная версия статьи** (по электронной почте: **uch.zap1883@mail.ru**. Файл со статьей следует называть по фамилии первого автора (Иванов И.И. – Определение силы);

– **сведения об авторах** (в электронном виде): Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, полное наименование организации, телефон и адрес для связи, e-mail; эти же сведения на английском языке.

– **сопроводительное письмо** на имя главного редактора журнала, с подписями всех авторов.

Поступившие и принятые к публикации статьи не возвращаются.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию, предоставленная автором рукопись статьи рецензируется, согласно установленного порядка рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлегией в целом.

Редакция оставляет за собой право не регистрировать статьи, не отвечающие настоящим требованиям, а также право на воспроизведение материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража. Рукописи статей подвергаются редакционной обработке. Редакция оставляет за собой право вносить изменения, имеющие редакционный характер и не затрагивающие содержания статьи. Все статьи проходят институт рецензирования (экспертной оценки), по результатам которого редакционная коллегия принимает окончательное решение о целесообразности опубликования. За содержание статей юридическую и иную ответственность несут авторы. В случае отклонения статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

Нельзя использовать в написании статьи чат-боты ChatGPT (искусственный интеллект) – в частности «Текст, сгенерированный с помощью крупномасштабной языковой модели (LLM), такой как ChatGPT, запрещен, если созданный текст не представлен как часть экспериментального анализа статьи». А также нельзя включать в соавторы статьи искусственный интеллект (GPT).

Не допускается публикация более одной статьи одного и того же автора в одном номере журнала.

REQUIREMENTS FOR AUTHORS IN JOURNAL OF RESEARCH AND PRACTICE «SCIENTIFIC NOTES KAZAN BAUMAN ACADEMY OF VETERINARY MEDICINE»

Articles submitted for publication must contain the results of scientific research in the field of veterinary science and animal husbandry. Articles are selected based on the criterion of relevance and novelty of the scientific problems under consideration.

It is assumed that the material provided by the authors will be checked in the Antiplagiat system, and the originality must be at least 75%. The recommended length of the article, including appendices, should be no less than 10 and no more than 14 pages. Articles must be formatted on A4 sheets, font – Times New Roman, size – 14 pt, line spacing – 1.0. Margins (regular) at the top and bottom – 2 cm, on the left – 2.5 cm, on the right – 1.5 cm, paragraph (indent) – 0.5 cm (do not set spaces), format – portrait.

If the article has been or will be sent to another publication, then it cannot be accepted for consideration in the journal

Article design

1. In the upper left corner, without a paragraph, the UDC of the article is printed (check the correctness of the selected UDC on the website of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information - VINITI).

2. Below, in the center of the line, the title of the article (the title of the article should reflect the main idea of the research performed, and be as short as possible) in bold capital letters.

3. Then in bold lowercase letters – the surname and initials of the author(s). One line is missing. The number of authors is no more than 5. The list of authors contains only actual authors and does not include those who are not related to this work, and also that all co-authors have read and approved the final version of the article and agreed to its publication.

4. After this, separated by a space, the abstract of the article (recommended length is 200–250 words) reflects the topic of the article, value, novelty, main provisions and conclusions of the research. It is prohibited to split the abstract into paragraphs and use introductory words and phrases. The abstract can be published independently and, therefore, should be understandable without referring to the text of the article. Based on the abstract of the publication, the reader should be able to determine whether it is worth accessing the full text of the article to obtain more detailed information of interest. The abstract should not contain undefined abbreviations and/or terms that have not previously been presented.

5. From the new paragraph - keywords (no more than 9 words).

On the left, “Key words:” is printed in lowercase letters (without quotes) and key words or phrases are given separated by commas. One line is skipped.

6. From a new paragraph - “For quotation.” The output of the article is recorded.

7. When writing a scientific article, you must adhere to the following structure of presentation: “Introduction”, “Purpose of research”, “Conditions, materials and methods”, “Results and discussion”, “Conclusions”.

8. If your article was prepared with support and there is a need to specify this source, add the section Information about the source of funding after the conclusions: The work was carried out under the state assignment R&D No. 0477–2019–0005 with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Conflict of Interest Information. The article must include any actual or potential conflict of interest. Conflicts of interest are conditions in which people have conflicting or competing interests that could influence editorial decisions. Conflicts of interest may be potential or perceived, as well as real. Objectivity may be affected by personal, political, financial, scientific, or religious factors. The author must notify the editor of any actual or potential conflict of interest by including information about the conflict of interest in the appropriate section of the article. If there is no conflict of interest, then it should be written that “the author declares that there is no conflict of interest.”

In the “Introduction” section, a statement of the problem is proposed, the purpose of the work should be formulated and justified and, if necessary, its connection with important scientific and practical areas should be considered, and a theoretical justification for the study should be given. There must be links to publications of recent years, in this area, including foreign authors.

Next, it is necessary to clearly formulate the purpose of the research (why are the research results being carried out, the results of which are presented in the article?) without using such vague formulations as “study”, “determine”, etc., which will be disclosed in the subsequent text.

The next section reveals the features of this study, provides conditions, materials and research methods. The location of the study is specified to the region (edge). The time, place, methodology and conditions of the experiments should be reflected.

The main section of the article is devoted to the presentation, analysis and discussion of the results. The results obtained should be highlighted from the point of view of their scientific novelty and compared with the corresponding known data.

Finally, conclusions and recommendations are presented.

Subheadings and headings are typed in bold and capitalized. The numbering of references to the bibliographic list in the text is arranged in the order in which the sources are mentioned. References to

literature in the text are given in square brackets, for example: [1].

8. After the main text of the article, one line is skipped and the title "Literature" (without quotes) is printed in the center. After one line, a numbered list of sources is placed in the order of references in the text.

The list of references (at least 10 sources and no more than 30) is drawn up in accordance with GOST R 7.0.5–2008 and the requirements of the journal, is carefully checked by the authors and is given at the end of the article. The numbering of references in the list is given in accordance with the order in which they are mentioned in the text. Only one source of information should be indicated in one entry in the list. Excessive self-citation is not allowed. The share of references to the authors' own publications should not exceed 25% of the list of references. Citations of the works of any one author who is not a member of the authors' collective of the manuscript should also not exceed 25%. It is recommended to cite no more than 2 publications by each of the authors. The share of references to sources older than 10 years should not exceed 25% of the list of references. The share of references to publications in journals from the White List (Levels 1 and 2 and/or the RSCI Core) over the past 5 years should be at least 50% of the list of references. References to conference materials older than 3 years should not exceed 20% of the list of references. References to textbooks, teaching aids, dissertation abstracts are not accepted. The number of sources in "serial" references should not exceed three.

All sources must have a link in the text of the article.

It is necessary to properly format the link to the source. You should indicate the names of the authors, journal, year of publication, volume (issue), number, pages, DOI or Internet access address (full URL) and date of access. An interested reader should be able to find the specified literary source as quickly as possible.

Most cited sources should be available online, either in full text or with metadata. If the source does not have a DOI (then you can use EDN - eLIBRARY Document Number), but its full text is available via the Internet, it is important to indicate the access page address -URL: https://.... (in this case, the date of access).

It is unacceptable to use in the output of cited sources transliteration of the output information accompanying the description (Vol. (not Tom), pages –p., pp. (not –s., ss.), Publisher – Publ., etc. ., Moscow - Moscow, etc.).

All lists of cited literature in the journal are translated/transliterated into English.

Examples of formatting links at the end of a document.

9. "Information about the authors" Full name (in full), academic degree, position, e-mail, ORCID, starting on a new line, full name of the organization. An asterisk indicates the name of the author with whom correspondence should be conducted.

One line is skipped.

10. In English, the title of the article is printed in the center.

Also in English, the abstract is printed on the left, then the keywords.

11. "Authors:" – information in English.

Illustrations for the article (if available) in JPEG, PNG, TIF format must be clearly executed, of good quality, and clearly illustrate the text. The text of the article must contain links to the presented drawings. The figures are numbered in the order of references in the text. The numbered heading is typed by center alignment. Thematic heading in the same line, immediately after the numbering (for example: Fig. 1 -. The link to the figure in the main text is in brackets: (Fig. 1), if there is only one figure in the text, then it is not numbered.

Tables are presented in the WORD editor. The tables are numbered in order of references in the text. The text of the article must contain links to all tables presented. The numbered heading is typed with center alignment (for example: Table 1. ...). A reference to a table in the main text is in parentheses, for example: (Table 1), if there is only one table in the text, it is not numbered.

Simple formulas that do not contain special characters (not on the keyboard) must be typed using symbols from the keyboard without using special editors. Formulas containing special characters (not available on the keyboard), as well as complex and multi-line formulas must be entirely typed in the Microsoft Equation 2.0, 3.0 or Math Typeequation formula editor. It is not allowed to type part of a formula using symbols, and parts – in the formula editor. It is not recommended to insert formulas into the text in the form of pictures. References to formulas in the main text are given in parentheses, for example: (1). The text must contain references to all presented formulas. If formulas are numbered in the text of the article, then this numbering should be done by manually typing numbers. Automatic numbering is not allowed.

The authors provide to the editor (at the same time):

- electronic version of the article (by email: uch.zap1883@mail.ru). The template is below. The file with the article should be named after the surname of the first author (Ivanov I.I. - Definition of power);

- information about the authors (in electronic form) Template below: Full name. (in full), academic degree, academic title, position, full name of the organization, telephone number and contact address, e-mail; the same information is in English. An asterisk indicates the name of the author with whom it is necessary to correspond;

- a covering letter addressed to the editor-in-chief of the journal, with the signatures of all authors.

Template below

– graduate students provide a certificate confirming their place of study.

Articles received and accepted for publication will not be returned.

Provided that the formal requirements for materials for publication are met, the manuscript of the article provided by the author is reviewed in accordance with the established procedure for reviewing manuscripts submitted to the editorial office of the journal. The decision on the advisability of publication after review is made by the editor-in-chief (deputy editors-in-chief), and, if necessary, by the editorial board as a whole.

The editors reserve the right not to register articles that do not meet these requirements, as well as the right to reproduce materials (publication, circulation) without limiting the circulation. Manuscripts of articles are subject to editorial processing. The editors reserve the right to make changes that are editorial in nature and do not affect the content of the article. All articles undergo peer review (expert assessment), based on the results of which the editorial board makes a final decision on the advisability of publication. The authors bear legal and other responsibility for the content of articles. If the article is rejected, the editors send a reasoned refusal to the author.

You cannot use ChatGPT (artificial intelligence) chatbots in writing an article - in particular, "Text generated using a large-scale language model (LLM) such as ChatGPT is prohibited unless the generated text is presented as part of the experimental analysis of the article." And also you cannot include artificial intelligence (GPT) as co-authors of an article.

Publishing articles in the magazine is free.

Articles must be sent to the email address: agrobiotech@kazgau.com

The cost of publishing an article in the journal depends on its volume (information is being clarified. Based on the cost: 1 page of the article (in M. Publisher format) 1500 rubles, review 3000 rubles, translator (proofreader 500 rubles). Articles provided by the author (authors) with violations of any publication requirements or with an incomplete package of documents will not be registered and published in the journal "Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine".

Научно-практический журнал

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ ВЕТЕРИНАРНОЙ
МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
Том 266 (2), 2026 г.**

Редактор – Шайдуллин Р.Р.
Технический редактор – Махмутова Е.В.
Коррекция переводов – Галлямова Н.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.

Формат 60х84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 21.08.2026 год
Печать офсетная. Усл. п. л. 16,12 Заказ 30. Цена свободная. Издательство
Казанского ГАУ / 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65. Лицензия на
издательскую деятельность код 221 ИД № 06342 от 28.11.2001. Отпечатано
в типографии Казанского ГАУ.
420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Казанский государственный аграрный университет