

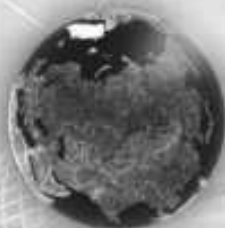
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1

№1/2026

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЕСТНИК ВЕТЕРИНАРИИ

№1

International bulletin
of Veterinary Medicine



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЕСТНИК ВЕТЕРИНАРИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ - 2026

www.spbguvvm.ru

Международный ВЕСТНИК ВЕТЕРИНАРИИ 1.2026

Редакционный совет

К.В. Племяшов - гл. ред., чл.-корр. РАН, д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

Л.Ю. Карпенко - зам. гл. ред., д-р биол. наук, проф., СПб.

А.И. Ятусевич - зам. гл. ред., д-р ветеринар. наук, проф., академик РАН, Витебск.

Редакционная коллегия

Н.Л. Андреева - д-р биол. наук, проф., СПб.

Л.М. Белова - д-р биол. наук, проф., СПб.

М.И. Гулюкин - акад. РАН, д-р ветеринар. наук, проф., Москва.

Н.В. Зеленецкий - д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

С.П. Ковалев - д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

А.А. Кудряшов - д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

В.А. Кузьмин - д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

М.Н. Макарова - д-р мед. наук, проф., СПб.

Б.С. Семенов - д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

А.М. Смирнов - акад. РАН, д-р ветеринар. наук, проф., Москва.

В.В. Сочнев - член.-корр. РАН, д-р ветеринар. наук, проф., Новгород.

А.А. Стекольников - акад. РАН, д-р ветеринар. наук, проф., СПб.

А.А. Сухинин - д-р биол. наук, проф., СПб.

А.Н. Шиков - д-р фарм. наук, проф., СПб.

Mustafa Atasever - Prof., Dr. Erzurum, Türkiye.

Ю.К. Ковалёнок - д-р ветеринар. наук, проф., Витебск, Республика Беларусь.

Kushvar Galib Mammadova - Dr., Azerbaijan.

Н.Б. Сарсембаева - д-р ветеринар. наук, проф., Алматы, Республика Казахстан.

Iliia Tsachev - DVM, MSc, PhD, DSc Prof., Stara Zagora, Bulgaria.

О.Ю. Беснятых - д-р биол. наук, доц., Киров.

В.А. Илюха - д-р биол. наук, доц., Петрозаводск.

И.А. Плотников - д-р биол. наук, проф., Киров.

С.В. Бекетов - д-р биол. наук, вед. науч. сотр., Самара.

В.Н. Воронин - д-р биол. наук, проф., СПб.

А.Н. Квочко - д-р биол. наук, проф., Ставрополь.

А.О. Фролов - д-р биол. наук, гл. науч. сотр., СПб.

О.И. Станишевская - д-р биол. наук, проф., СПб.

А.Е. Болгов - д-р с.-х. наук, проф., Петрозаводск.

И.Ш. Шаниев - д-р с.-х. наук, проф., СПб.

Н.В. Пристач - д-р с.-х. наук, проф., СПб.

В.Б. Галецкий - д-р с.-х. наук, СПб.

Л.В. Романенко - д-р с.-х. наук, член РАЕ, СПб

В.И. Максимов - д-р биол. наук, проф., Москва

Редакционно-технический отдел

С. И. Мельников - канд. ветеринар. наук, СПб.

О.С. Попова - канд. ветеринар. наук, СПб.

В.В. Крюкова - канд. ветеринар. наук, СПб (англ. яз)

Сдано в набор 16.03.2026

Подписано к печати 01.04.2026

Формат 70×100 1/16.

Бумага глянцева № 1. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 30,25+0,25 цв. вкл.

Усл. Кр.-отт. 18,2.

Тираж 1001 экз.

Editorial council

K.V. Plemashov - member.-corr. RAS, Doctor of Science, prof., St. Petersburg

L.Y. Karpenko - deputy editor, doctor of biology sciences, professor, St. Petersburg.

A.I. Yatusovich - deputy chief editor, doctor of veterinary sciences, professor, academic of RAS, Vitebsk.

Editorial council

N.L. Andreeva - doctor of veterinary sciences, professor, St. Petersburg

L. M. Belova - doctor of biology sciences, professor, St. Petersburg

M.I. Gulyukin - academic of RAS, doctor of veterinary sciences, prof., Moscow

N.V. Zelenetskiy - doctor of veterinary medicine, doctor of economics, prof, St. Petersburg.

S. P. Kovalev - doctor of veterinary sciences, prof., St. Petersburg.

A.A. Kudryashov - doctor of veterinary sciences, professor, St. Petersburg.

V. A. Kuzmin - doctor of veterinary sciences, professor, St. Petersburg.

M.N. Makarova - doctor of medicine, professor, St. Petersburg.

B.S. Semenov - doctor of veterinary sciences, professor, St. Petersburg

A.M. Smirnov - academic of RAS, doctor of veterinary sciences, prof., Moscow

V.V. Sochnev - corr. member of RAS, doctor of vet. sciences, prof., N. Novgorod.

A.A. Stekolnikov - editor in chief, academic of RAS, doctor of veterinary sciences, professor, St. Petersburg

A.A. Sukhinin - doctor of biology sciences., prof, St. Petersburg

A.N. Shikov - doctor of pharmacology sciences, prof., St. Petersburg

Mustafa Atasever - professor., Dr. Erzurum, Turkey

Y.K. Kovalenok - doctor of veterinary sciences, prof., Vitebsk

Kushva Galiba Mammadova - doctor, Azerbaijan

N.B. Sarsembayeva - doctor of vet. sciences, prof., Almaty, Republic of Kazakhstan

Iliia Tsachev - DVM, MSc, PhD, DSc, Prof., Stara Zagora, Bulgaria

O.Yu. Bespyatykh - doctor of biology sciences, associate professor, Kirov

V.A. Ilyuha - doctor of biology sciences, associate professor, Petrozavodsk

I.A. Plotnikov - doctor of biology sciences, professor, Kirov

S.V. Beketov - doctor of biology sciences, Samara

V.N. Voronin - doctor of biology sciences, professor, St. Petersburg

A.N. Kvochko - doctor of biology sciences, professor, Stavropol

A.O. Frolov - doctor of biology sciences, senior science member, St. Petersburg

O.I. Stanishevskaya - doctor of biology sciences, professor, St. Petersburg

A.E. Bolgov - doctor of agricultural sciences, professor, Petrozavodsk

I.S. Shapiev - doctor of agricultural sciences, professor, St. Petersburg

N.V. Pristach - doctor of agricultural sciences, professor, St. Petersburg

V.B. Galetsky - doctor of agricultural sciences, St. Petersburg.

L.V. Romanenko - doctor of agricultural sciences, member of RAE, St. Petersburg

V.I. Maximov - doctor of biology sciences, professor, Moscow

Editorial and technical Department

S.I. Melnikov - PhD of Vet. Med., St. Petersburg

O.S. Popova - PhD of Vet Med., St. Petersburg

V.V. Kriukova - PhD of Vet Med., St. Petersburg (English)

Sent to 16.03.2026

Signed for printing 01.04.2026

The format of 100 × 70 1/16.

Glossy paper number 1. Offset printing.

Conv. Pec. liter. 30,25+0,25 fl. incl.

Conv. Cr. - ott. 18.2.

Circulation 1001 copies.

На 1 странице обложки: главный корпус ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины».

**НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ**

Номер госрегистрации СМИ ПИ № ФС77-83832 от 02 сентября 2022 г. Подписной индекс в агентстве Роспечать 82393.

Учредитель — Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный ветеринарный университет ветеринарной медицины» (ФГБОУ ВО СПбГУВМ)

Журнал основан в январе 2004 года в Санкт-Петербурге и входит в список ведущих рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

MBV входит в базу данных Russian Science Citation Index.

Журнал распространяется по всем регионам России и Республике Беларусь (ВУЗЫ, НИИ, ВЕТЕРИНАРНЫЕ ОТДЕЛЫ).

Журнал выходит не менее 4 раз в год. В нем публикуются работы по всем основным вопросам ветеринарии и смежным дисциплинам.

В этот журнал Вы можете поместить рекламу Вашей фирмы. Объявления и коммерческая реклама публикуются после оплаты. Срок исполнения — в течение 3 месяцев.

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных объявлений.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Мнение авторов и редакции по отдельным вопросам может не совпадать.

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается.

Справки и технические возможности типографии, в которой печатается журнал, оговариваются по телефону (812) 387-11-58.

Адрес редакции: 196084, СПб, ул. Черниговская дом 5, СПбГУВМ, редакция журнала «Международный вестник ветеринарии» (MBV). тел 8-812-387-11-58

**RESEARCH AND PRODUCTION
JOURNAL**

The state registration number of the media PI No. FS77-83832 dated September 02, 2022. The subscription index in the Rospechat agency is 82393.

Founder — Federal state educational institution of higher professional education "Saint-Petersburg state University of veterinary medicine" (FSEI of HPE SpbGUVM).

The journal was founded in January 2004 in St. Petersburg and is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the degree of doctor and candidate of Sciences should be published.

International Bulletin of Veterinary Medicine is included in the Russian Science Citation Index database.

The journal is distributed in all regions of Russia and the Republic of Belarus (universities, research institutions, veterinary departments).

The magazine is published at least 4 times a year. It publishes papers on all major issues of veterinary medicine and related disciplines.

In this magazine, you can place an advertisement for your company. Ads and commercial information are published after payment. The execution period is within 3 months.

The editorial board is not responsible for the content of advertisement.

When reprinting, a link to the journal is required.

The opinion of the authors and the editorial board on certain issues may not coincide.

Postgraduates are not charged for the publication of the manuscript.

Information and technical capabilities of the printing house where the magazine is printed are discussed by phone number (812) 387-11-58.

Editorial office address: 196084, St. Petersburg, Chernigovskaya str. 5, "SPbGUVM", editorial office of the journal "International Bulletin of Veterinary Medicine" (MBV).

СОДЕРЖАНИЕ

Инфекционные болезни	•Биоцидная резистентность клостридий: механизмы устойчивости и современные методы ее преодоления (обзор). Безбородова Н.А., Романова А.С., Шилова Е.Н., Томских О.Г., Юсупова Ч.Р., Суздальцева М.А.	12
	•Влияние иммуностимулятора аллокин-альфа на биохимические и иммунологические показатели крови телят при бронхопневмонии. Сухинин А.А., Степанова Н.А.	26
	•Разработка мультиплексной пцр в режиме реального времени для одновременной индикации вирусов классической чумы свиней и болезни аусески. Хаммадов Н.И., Горбунова М.Е., Альманова Г.Р., Громова Е.А., Усольцев К.В., Галеева А.Г., Спиридонов Г.Н., Шангараев Р.И.	38
	•Оценка эпизоотической ситуации по лептоспирозу собак в Санкт-Петербурге. Березкин В.А., Калиматова А.А., Рябико Е.Г., Токаревич Н.К., Голодяева М.С., Айдиев А.Б., Козыренко О.В., Кузнецов Ю.Е.	48
	•Микробиологическое исследование бронхоальвеолярного лаважа у больных бронхопневмонией собак. Градова Ю.В., Ковалев С.П.	56
	•Современные достижения в диагностике и лечении калицивируса кошек (обзорная статья). Данников С.П., Шахова В.Н., Гвоздецкий Н.А., Квочко А.Н.	62
	•Случай выявления микоплазменного мастита у коров на фоне вторичной анаэробной инфекции. Исакова М.Н., Безбородова Н.А., Мартынов Н.А., Зубарева В.Д., Кожуховская В.В.	77
Фармакология, токсикология, фармация	•Основные гематологические заболевания, ассоциированные с вирусным лейкозом кошек. Булаковская О.А., Сотникова Л.Ф.	88
	•Оценка гепатотоксичности препаратов «гентабиферон-с» и «пропиг» при многократном введении лабораторным мышам (доклиническое исследование). Григорьева Н.А., Михайлов Е.В.	94
	•Цитокинетические параметры эритропоэза у цыплят под влиянием энрофлоксацина в условиях экспериментального сальмонеллёза. Присный А.А., Титовец Д.В., Скворцов В.Н., Кравцова А.Р.	102
Зоогигиена, санитария, кормление	•Оценка иммуномодулирующего потенциала различных доз кормовой добавки «галлуасорб» при сочетанном микотоксикозе. Тарасова Е.Ю., Кашиеваров Г.С., Матросова Л.Е., Хаммадов Н.И., Танасева С.А.	109
	•Влияние количества и видового состава пыльцы на физико-химические и органолептические характеристики цветочного мёда в зависимости от его ботанического происхождения. Калюжная Т.В., Шамонова А.А.	120
	•Послеубойная и прижизненная комплексная оценка динамики мясо-сальных качеств у откормочного молодняка свиней при помощи индексов. Дойлидов В.А., Капитонова Е.А.	128
	•Значение функционального кормления для снижения эпизоотических и экологических рисков в рыбоводстве. Карпенко Л.Ю., Полистовская П.А., Сидорова Н.А., Савушкин А.И.	138

Биохимия, морфология, физиология	• Изучение защитного потенциала средств профилактики сочетанного микотоксикоза по оценке экспрессии провоспалительных цитокинов крыс. Тарасова Е.Ю.	148
	• Изменения аминокислотного профиля крови цыплят-бройлеров при замене части рациона на семена рапса. Колесник Н.С., Зайцев С. Ю., Воронина О. А., Савина А.А.	160
	• Возрастные гистологические особенности почек соболя черной пушкинской породы. Маленьких Н.А., Щипакин М.В.	169
	• Функциональное состояние антиоксидантной системы у свиноматок при применении аскорбата лития. Кутыин И.В.	178
	• Гистологические особенности строения слюнных желез соболя черной пушкинской породы. Каюмова Э.И., Зеленовский Н.В.	185
	• Гематологические показатели крови утят при применении ципрофлоксацина в условиях экспериментальной стафилококковой инфекции. Присный А.А., Скворцов В.Н., Кравцова А.Р., Попова А.Б.	194
	• Роль белка бромодомена-4 (brd4) в регуляции дифференциации и пролиферации стволовых клеток: молекулярные механизмы и терапевтические перспективы. Смирнова Е.А., Иванникова Р.Ф., Бузмакова Н.А.	203
	• Химический состав назубного камня у собак. Фролов В.В., Егунова А.В., Иванцов В.А., Фомина Ю.А., Пузанов Д.А.	210
	• Клинический случай нокардиоза лёгких у дельфина (тихоокеанская афалина <i>tursiops aduncus</i>). Любченко Е.Н., Волков С.В.	218
	• Морфо-биофизические показатели пигментированной скорлупы яиц кур кросса хайсекс браун. Васильева Л.Т., Сафронов С.Л.	225
	• Динамика показателей лейкограммы спортивных лошадей под влиянием пробиотика. Великодная Е.К.	233
	• Референтные значения внутриглазного давления у разных видов лабораторных животных. Головина А.А., Кательникова А.Е., Макарова М.Н., Каранина В.Д.	243
	• Особенности ветвления венозных сосудов пищевода, зоба и железистого желудка у курицы. Диких А.А., Фоменко Л.В.	254
	• Патоморфологическая картина анафилактического лекарственного шока у поросят, вызванного препаратами железа. Кошкарев М.В., Бойко Т.В., Любимова А.С.	261
	• Сезонные особенности количественных и качественных характеристик крови оленей эвенской породы. Федорова Е.Ю., Максимов В.И., Козловский А.Д.	275
	• Сравнительная оценка лейкоцитарных индексов при воспалении железистой и соединительной тканей у животных с лимфоцитарным профилем крови. Чарторийская А. В., Крячко О. В.	283
	• Об особенностях организации иммунной системы бесчелюстных и челюстных рыб (обзор). Киселева М.Н., Митрюшкина Д.К., Лукина Ю.Н., Апаликова О.В.	291

Акушерство и гинекология	• Сравнительный морфологический анализ плаценты кобыл на последних сроках беременности методом гистоморфометрии. Федоров В. И., Авдеев В.С., Нифонтов К. Р., Доматов В. В., Лукаевский А.Ж., Сафронов Д. И.	302
	• Исследование антиоксидантного действия криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота. Востроилова Г.А., Паршин П.А., Шабанов Д.И., Корчагина А.А., Некрасов А.В., Нежинский А.А.	313
	• Анализ гомозиготных районов в геноме кур породы китайская шелковая для выявления генов, влияющих на адаптационные качества птицы. Дементьева Н.В., Щербаков Ю.С., Николаева О.А., Вахрамеев А.Б., Митрофанова О.В.	323
	• Продуктивные качества дочерей быков-производителей, оценённых по признаку «жизнестойкость тёлки» (hliv). Ковалева Г.П., Лапина М.Н., Витол В.А., Сулыга Н.В.	332
	• Редактирование генома кур: современные технологии, достижения и перспективы применения в сельском хозяйстве и биомедицине. Крутикова А.А., Племяшов К.В.	338
	• Влияние сверхнизких температур на жизнеспособность и морфофункциональную активность сперматозоидов петухов. Курочкин А.А., Кузьмина Т.И., Плешанов Н.В., Притужалова А.О.	360
	• Оценка влияния уровня гомозиготности и геномного инбридинга голштинских и черно-пестрых быков-производителей на показатели молочной продуктивности и воспроизводство дочерей. Недашковский И.С., Контэ А.Ф., Кольцов Д.Н., Волкова В.В., Сермягин А.А.	369
	• Влияние применения биогенного стимулятора и цитокинов на иммунологический статус стельных коров с экстрагенитальной патологией (анемия). Паршин П.А., Бригадиров Ю.Н., Шапошников И.Т., Жуков М.С.	396
	• Оценка генетического разнообразия крупного рогатого скота по гену грелин (ghrl). Сафина Н.Ю., Крупин Е.О., Гайнутдинова Э.Р.	406
	• Гаплотип hhb: идентификация носителей у голштинского скота. Хабибрахманова Я.А., Калашикова Л.А., Рыжова Н.В., Багаль И.Е., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Тетюркин Е.А., Сенина Р.Ю., Макаров Д.О.	414
Хирургия	• Сезонность отёлов и особенности родового процесса у домашних северных оленей в республике саха (якутия). Слепцов Е. С., Алферов И.В., Винокуров И.Е., Федорова П.Н., Стручков Н.А.	420
	• Анестезия гериатрических животных (клинический случай). Буйносова А.А., Коморников И.С., Сидорова К.А., Щипакин М.В.	427
	• Изучение микрофлоры из очагов поражения при пальцевом дерматите крупного рогатого скота. Ненашев И.В.	437
	• Статистический анализ стоматологических патологий у мелких домашних животных в г. Кострома. Калашикова К.А., Стекольников А.А., Решетняк В.В., Бурдейный В.В.	448
	• Влияние секрета мезенхимальных стволовых клеток лошади на агрегацию тромбоцитов in vitro. Нечаев А.Ю., Бокарев А.В., Минина А.О., Сорока В.А., Али С.Г.	455

Незаразные болезни	• Осложненная бактериальная инфекция мочеполовой системы собаки, вызванная <i>escherichia coli</i> : клинический случай. Макавичик С.А., Шляпникова Н.И.	461
	• Влияние ветеринарной диеты «Академия» при расстройствах пищеварения, в том числе при экзокринной недостаточности поджелудочной железы на состояние микробиома кишечника собак. Прокофьева В., Карпенко Л. Ю., Бахта А. А.	472
Краткое сообщение	Диагностика инфекционного бронхита кур (обзорная статья). Абгарян С.Р., Приходко Е.И.	479

CONTENTS

Infectious diseases	•Biocidal resistance of clostridium: resistance mechanisms and modern methods of overcoming it (review). Bezborodova N.A., Romanova A.S., Shilova E.N., Tomskikh O.G., Yusupova Ch.R., Suzdaltseva M.A.	12
	•The effect of the allokin-alpha immunostimulator on biochemical and immunological blood parameters of calves. Sukhinin A.A., Stepanova N.A.	26
	•Development of real-time multiplex pcr for simultaneous indication of classical swine fever and aujeszki's disease viruses. Khammadox N.I., Gorbunova M.E., Salmanova G.R., Gromova E.A., Usoltsev K.V., Galeeva A.G., Spiridonov G.N., Shangaraev R.I.	38
	•Assessment of the epizootic situation of canine leptospirosis in Saint Petersburg. Berezkin V.A., Kalimatova A.A., Riabiko E.G., Tokarevich N.K., Golodyaeva M.S., Aidiev A.B., Kozyrenko O.V., Kuznetsov Yu.E.	48
	•Microbiological examination of bronchoalveolar lavage in dogs with bronchopneumonia. Gradova Yu.v; Kovalev S.P.	56
Pharmacology, toxicology, pharmacy	•Current advances in the diagnosis and treatment of feline calicivirus. Dannikov S.P., Shakhova V.N., Gvozdetsky N.A., Kvochko A.N.	62
	•A case of mycoplasma mastitis detection in cows with secondary anaerobic infection. Isakova M.N., Bezborodova N.A., Martynov N.A., Zubareva V.D., Kozhukhovskaya V.V.	77
	•The incidence of major hematological diseases associated with feline viral leukemia. Bulakovskaya O. A., sotnikova L.F.	88
	•Evaluation of hepatotoxicity of "gentabiferon-c" and "propig" preparations upon repeated administration to laboratory mice (preclinical study). Grigoryeva N.A., Mikhaylov E.V.	94
	•Cytokinetic parameters of erythropoiesis in chickens under the influence of enrofloxacin in experimental salmonellosis. Prisyi A.A., Titovets D.V., Skvortsov V.N., Kravtsova A.R.	102
Zoohygiene, sanitation, feeding	•Evaluation of the immunomodulating potential of various doses of the feed additive "galluasorb" in combined mycotoxicosis. Tarasova E.Yu., Kashevarov G.S., Matrosova L.E., Khammadox N.I., Tanaseva S.A.	109
	•Influence of the quantity and species composition of pollen on the physico-chemical and organoleptic characteristics of flower honey depending on its botanical origin. Kalyuzhnaya T.V., Shamonova A.A.	120
	•Post-morrow and vital comprehensive assessment of dynamics of meat and lard qualities in fattening young pigs using indices. Doylidov V.A., Kapitonova E.A.	128
	•The significance of functional feeding for reducing epizootic and environmental risks in aquaculture. Karpenko L.Yu., Polistovskaya P.A., Sidorova N.A., Savushkin A.I.	138
	•Study of the protective potential of means for the prevention of combined mycotoxicosis by assessing the expression of proinflammatory cytokines in rats. Tarasova E.Yu.	148
	•Amino acid profile of blood in broiler chickens when replacing certain protein components in the diet. Kolesnik N. S., Zaitsev S. Yu., Voronina O. A., Savina A. A.	160

Biochemistry, morphology, physiology	• Age-related histological features of the kidneys of the sable of the black pushkin breed. Malenkikh N.A., Shchipakin M.V.	169
	• Functional state of the antioxidant system in sows with lithium ascorbate supplementation. Kutyin I.V.	178
	• Histological features of the salivary glands in sables of the black pushkin breed. Kayumova E. I., Zelenevskiy N. V.	185
	• Hematological parameters of ducklings' blood when using ciprofloxacin in conditions of experimental staphylococcal infection. Prisnyi A.A., Skvortsov V.N., Kravtsova A.R., Popova A.B.	194
	• The role of bromodomain protein-4 (brd4) in the regulation of stem cell differentiation and proliferation: molecular mechanisms and therapeutic perspectives. Smirnova E.A., Ivannikova R.F., Buzmakova N.A.	203
	• Chemical composition of odontolith in dogs. Frolov V.V., Egunova A.V., Ivantsov V.A., Fomina Yu.A., Puzanov D.A.	210
	• A clinical case of pulmonary nocardiosis in a dolphin (pacific bottlenose dolphin tursiops aduncus). Lyubchenko E.N., Volkov S.V.	218
	• Morpho-biophysical parameters of pigmented shells of eggs of cross hisex brown chicks. Vasilyeva L.T., Safronov S.L.	225
	• Dynamics of leukogram indicators in sport horses under the influence of a probiotic. Velikodnaya E.K.	233
	• Intraocular pressure reference intervals in different laboratory animal species. Golovina A.A., Katelnikova A.E., Makarova M.N., Karanina V.D.	243
	• Features of branching of venous vessels of the esophagus, goiter and glandular stomach in chicken. Dikikh A.A., Fomenko L.V.	254
	• Pathomorphological picture of anaphylactic drug shock in piglets caused by iron preparations. Koshkarev M.V., Boyko T.V., Lyubimova A.S.	261
	• Seasonal characteristics of quantitative and qualitative blood characteristics deer even breed. Fedorova E.Yu., Maksimov V.I., Kozlovsky A.D.	275
	• Comparative evaluation of leukocytic indices in inflammation of glandular and connective tissues in animals with lymphocytic blood profile. Chartoriiskaia A.V., Kryachko O.V.	283
	• About the peculiarities of the organization of the immune system of jawless and jawless fish. Kiseleva M.N., D.K., Lukina Yu.N., Apalikova O.V.	291
	• Comparative morphological analysis of the placenta of mares in late pregnancy by histomorphometry. Fedorov V. I., Avdeenko V.S., Nifontov K. R., Domatov V. V., Lukaevsky A. Z., Safronov D. I.	302
Obstetrics, gynecology	• Study of the antioxidant effect of cryofractions of the spleen and placenta of cattle. Vostroilova G.A., Parshin P.A., Shabanov D.I., Khokhlova N.A., Korchagina A.A., Nekrasov A.V., Nezhinsky A.A.	313
	• Analysis of homozygous regions in the genome of chinese silk chickens to identify genes affecting adaptive properties. Dementieva N.V., Shcherbakov Yu.S., Nikolaeva O.A., Vakhrameev A.B., Mitrofanova O.V.	323
	• Productive qualities of daughters of bulls-producers evaluated by the "life of calves" (hliv). Kovaleva G.P., Lapina M.N., Sulyga N.V., Vitol V.A.	332

	• <i>Chicken genome editing: modern technologies, achievements, and prospects for application in agriculture and biomedicine.</i> Krutikova A.A., Plemyashov K.V.	338
	• <i>Effect of ultra-low temperatures on viability and morphofunctional activity of rooster spermatozoa.</i> Kurochkin A.A., Kuzmina T.I., Pleshanov N.V., Prituzhalova A.O.	360
	• <i>Assessment of the influence of the level of homozygosity and genomic inbreeding of holstein and black-pied stud bulls on dairy productivity indicators and reproduction of daughters.</i> Nedashkovsky I.S., Conte A.F., Koltsov D.N., Volkova V.V., Sermyagin A.A.	369
	• <i>The effect of the use of a biogenic stimulant and cytokines on the immunological status of pregnant cows with extragenital pathology (anemia).</i> Parshin P.A., Brigadirov Yu.N., Shaposhnikov I.T., Zhukov M.S.	396
	• <i>Evaluation of genetic diversity of cattle by the ghrelin gene (ghrl).</i> Safina N.Yu., Krupin E.O., Gainutdinova E.R.	406
	• <i>Haplotype hh6: identification of carriers in holstein cattle.</i> Khabibrakhmanova Ya.A., Kalashnikova L.A., Ryzhova N.V., Bagal I.E., Pavlova I.Y., Ganchenkova T.B., Tetyurkin E.A., Senina R.Yu., Makarov D.O.	414
	• <i>Seasonality of calving and characteristics of the parturition process in domestic reindeer in the republic of sakha (yakutia).</i> Sleptsov E.S., Alferov I.V., Vinokurov I.E., Fedorova P.N., Struchkov N.A.	420
Surgery	• <i>Anesthesia of geriatric animals (clinical case).</i> Buinosova A.A., I.S., Sidorova K.A., Shchipakin M.V.	427
	• <i>Analysis of the results of microbiological studies in case of finger crumb ulcer in cattle.</i> Nenashev I.V.	237
	• <i>Statistical analysis of dental pathologies in small pets in Kostroma.</i> Kalashnikova K.A., Stekolnikov A.A., Reshetnyak V.V., Burdeyniy V.V.	448
	• <i>Effect of the secretome of horse mesenchymal stem cells on platelet aggregation in vitro.</i> Nechaev A.Y., Bokarev A. V., Minina A. O., Soroka V.A., Ali S.G.	455
Non-communicable diseases	• <i>Complicated escherichia coli bacterial infection of the canine genitourinary system: clinical case.</i> Makavchik S.A., Shlyapnikova N.I.	461
	• <i>Effect of the veterinary diet "academy" on digestive disorders, including exocrine pancreatic insufficiency, on the microbiome of canine gastrointestinal tract.</i> Prokofjeva V., Karpenko L. Y., Bakhta A.A.	472
Brief message	• <i>Diagnosis of infectious bronchitis in avian.</i> Abgaryan S.R., Prikhodko E.I.	479



ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК: 619:001.608.1:579.832/.833:614.48:615.28
DOI:10.52419/issn2072-2419.2026.1.12

БИОЦИДНАЯ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ КЛОСТРИДИЙ: МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ (ОБЗОР)

Безбородова Н.А. – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0003-2793-5001);
Романова А.С. – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории лейкоза (ORCID 0000-0003-0189-2963); **Шилова Е.Н.** – д-р ветеринар. наук, вед. науч. сотр. лаборатории вирусных инфекций (ORCID 0000-0002-9506-6883); **Томских О.Г.** – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. лаборатории вирусных инфекций (ORCID 0000-0003-3306-8346);
Юсупова Ч.Р. – д-р биол. наук, вед. науч. сотр. отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0003-2970-6528); **Суздальцева М.А.*** – ст. науч. сотр. отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией (ORCID 0000-0003-1528-1987).

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук»

*lady.suzdaltseva2014@yandex.ru

Ключевые слова: клостридиозы, *Clostridium perfringens*, *Clostridium difficile*, дезинфекция, спорцидная активность, надуксусная кислота, гипохлорит натрия, биопленки, механическая очистка, генетическая устойчивость, микробиологический контроль.

Key words: clostridiosis, *Clostridium perfringens*, *Clostridium difficile*, disinfection, sporicidal activity, peracetic acid, sodium hypochlorite, biofilms, mechanical cleaning, genetic resistance, microbiological control.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России «Изучение современных особенностей приоритетных патогенов и восприимчивых сельскохозяйственных животных и разработка актуального комплекса диагностических, иммунобиологических препаратов и подходов для управления, прогнозирования и обеспечения эпизоотической и биологической безопасности» (0532-2026-0006).

Поступила: 10.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026
Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Клостридиозы, вызываемые облигатными анаэробами *Cl. perfringens* и *Cl. difficile*, представляют серьезную ветеринарно-медицинскую проблему благодаря уникальной устойчивости их спор к внешним воздействиям и способности формировать биопленки. Основная трудность в борьбе с этими патогенами за-

ключается в их исключительной резистентности к большинству дезинфицирующих средств, что требует разработки специализированных протоколов обработки. В данной статье рассматриваются современные стратегии борьбы с клостридиями, включая комбинацию химических, физических и биологических методов. Использование ферментных препаратов, наночастиц металлов и бактериофагов. Приводятся данные последних исследований, посвященных оптимизации дезинфекционных протоколов в животноводческих комплексах и медицинских учреждениях. Также проведенный литературный анализ демонстрирует, что эффективную спороцидную активность проявляет ограниченный круг химических агентов. Наибольшую эффективность *in vitro* и в производственных условиях показали окислители: надуксусная кислота (РАА, 0,5-2%) и гипохлорит натрия (1-5%). Критически важным фактором стало применение обязательной предварительной механической очистки поверхностей, так как органические загрязнения (белки, жиры) снижают эффективность дезинфицирующих средств на 30-50%. Средства на основе четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) и перекись водорода продемонстрировали недостаточную эффективность против спор без комбинации с термическими методами (автоклавирование, пар). Устойчивость клостридий детерминирована генетически и включает гены антиоксидантной защиты (*sod*, *ahpC*), споруляции (*spo0A*, *sigK*) и биопленкообразования (*luxS*, *eps*). В статье описан комплексный подход в борьбе с клостридиями - применение эффективных спороцидных препаратов (РАА, гипохлориты), неукоснительное соблюдение двухэтапного протокола (механическая очистка с последующей химической дезинфекцией), внедрение регулярного микробиологического мониторинга для верификации качества дезинфекции.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Клостридозы представляют серьезную угрозу как в ветеринарии, так и в медицине (*Cl. chauvoei*, *Cl. septicum*, *Cl. perfringens*, *Cl. sordellii*, *Cl. tetani*, *Cl. botulinum*, *Cl. difficile*). Эти спорообразующие анаэробы отличаются высокой устойчивостью к дезинфектантам, способностью формировать биопленки и продуцировать токсины, приводящие к тяжелым инфекциям у животных. Серьезной проблемой в ветеринарии является устойчивость клостридий к стандартным методам дезинфекции, что требует создания новых подходов к обеззараживанию [1].

C. difficile - условно патогенная бактерия, в норме находящаяся в кишечнике сельскохозяйственных животных (коз, коров), но способная вызывать тяжелые кишечные инфекции, включая антибиотик-ассоциированную диарею. Эта грамположительная анаэробная бактерия может приобретать токсигенные свойства и образовывать устойчивые споры во внешней среде, что требует применения специальных мер профилактики и дезинфекции на сельскохозяйственных предприятиях [6, 7].

Основную патогенность *Cl. difficile* определяют три экзотоксина (А, В и СДТ), которые повреждают слизистую оболочку кишечника, вызывая воспаление и характерные клинические проявления. Споры бактерии чрезвычайно устойчивы к воздействию факторов окружающей среды и могут сохраняться на поверхностях в течение нескольких месяцев, что способствует распространению инфекции внутри помещений для содержания сельскохозяйственных животных [8, 9].

Группы повышенного риска заражения – животные, получающие длительную антибиотикотерапию, молодняк, больные особи с иммунодефицитными состояниями. Основной путь передачи – фекально-оральный, через загрязненный рабочий инвентарь, поверхности и предметы ухода [6, 10].

Cl. perfringens представляет серьезную угрозу как в ветеринарии, так и в медицине за счет своей способности образовывать устойчивые биопленки и споры. Особую проблему составляет резистентность этих микроорганизмов к традиционным методам дезинфекции, что

требует разработки специальных подходов к обработке помещений в животноводческих комплексах.

Cl. perfringens - грамположительная, спорообразующая, анаэробная бактерия, продуцирующая более 20 токсинов. Ее патогенность обусловлена: способностью к быстрому размножению (генерация за 7-12 минут); образованием термоустойчивых спор; продукцией экзотоксинов; формированием сложных биопленочных структур [14, 15, 16].

Биопленки *Cl. perfringens* демонстрируют уникальные защитные механизмы: структурные компоненты (внеклеточный полимерный матрикс (EPS), многослойные споровые оболочки, кислоторастворимые белки (SASPs); функциональные особенности (сниженный метаболизм в глубине биопленки, горизонтальный перенос генов резистентности, выработка ферментов детоксикации) [17, 18].

В Российской Федерации дезинфекция в животноводстве регулируется рядом нормативных актов, включая Федеральный закон № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и ГОСТ Р 56994 [2], которые устанавливают требования к обработке помещений, оборудования и отходов.

Для эффективной борьбы с клостридиями применяют официально разрешенные препараты, относящиеся к группе антисептиков и дезинфицирующих средств: надуксусная кислота (РАА, 0,5-2%) обладает широким спектром антимикробного действия, в том числе эффективна против спор; гипохлорит натрия (1-5%) проявляет фунгицидную и спороцидную активность, однако характеризуется высокой коррозионной активностью; глутаральдегид (2%) применяется как стерилизующее средство, при этом для достижения цели требуется разное время экспозиции; четвертичные аммониевые соединения (ЧАС) обладают бактерицидной, фунгицидной и избирательной вирулицидной активностью, эффективны для предотвращения роста и уничтожения патогенных биопленок микроорганизмов.

Также применяется термическая об-

работка (пар 100-110°C, автоклавирование при 121°C) и УФ-облучение (для воздуха и поверхностей) [2, 3, 4]. Контроль качества дезинфекции включает микробиологические смывы (ГОСТ ISO 18593) и проверку остаточной концентрации препаратов [5]. Для каждого сельскохозяйственного предприятия на территории РФ разрабатываются локальные инструкции с учетом вида животных и эпидемиологической ситуации. Так же эффективная дезинфекция требует комбинированного подхода (химические + физические методы) и строгого соблюдения нормативов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России «Изучение современных особенностей приоритетных патогенов и восприимчивых сельскохозяйственных животных и разработка актуального комплекса диагностических, иммунобиологических препаратов и подходов для управления, прогнозирования и обеспечения эпизоотической и биологической безопасности» (0532-2026-0006). Проведен систематический анализ научной литературы и нормативных документов, регламентирующих дезинфекцию в животноводстве. Проанализированы механизмы устойчивости, включая генетические детерминанты (*sod*, *ahpC*, *spo0A*, *luxS*) и образование биопленок. Изучена эффективность физических методов (термическая обработка, УФ-облучение) и химических дезинфектантов (окислители, альдегиды, ЧАС) против вегетативных форм и спор клостридий (*C. difficile*, *C. perfringens*, *C. novyi*). Оценены перспективные направления: наночастицы металлов, бактериофаги, ферментные препараты и комбинированные методы обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Устойчивость споровых форм бактерий обусловлена наличием у патогенных агентов генов резистентности и факторами устойчивости, что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Основные гены устойчивости *Clostridium spp.* к дезинфицирующим средствам

Ген	Функция	Вид <i>Clostridium</i> <i>m</i>	Дезинфектант	Источ- ник
<i>sod</i>	Нейтрализация активных форм кислорода	<i>C. perfringens</i> , <i>C. difficile</i>	Перекись водорода, гипохлорит	[29]
<i>ahpC</i>	Разрушение органических пероксидов	<i>C. perfringens</i>	Перекись водорода	[29]
<i>spo0A</i>	Главный регулятор споруляции	<i>C. perfringens</i>	РАА, глутаральдегид	[30]
<i>sigK/sigE</i>	Формирование оболочки спор	<i>C. perfringens</i>	РАА, гипохлорит	[30]
<i>luxS</i>	Регуляция биоплёнок	<i>C. difficile</i>	ЧАС, РАА	[31]
<i>epsA-O</i>	Синтез матрикса биоплёнки	<i>C. perfringens</i>	Гипохлорит	[31]
<i>hrcA</i> , <i>clpB</i>	Защита белков от денатурации	<i>Clostridium spp.</i>	Надуксусная кислота (РАА)	[26]
<i>qacE</i> , <i>qacH</i>	Эффлюксные насосы	<i>Clostridium spp.</i>	Четвертичные аммониевые соединения (ЧАС)	[32]

Как видно из таблицы, клостридии (*C. perfringens*, *C. difficile*) обладают сложной системой генетической устойчивости к дезинфицирующим средствам, которая включает несколько ключевых групп генов. Гены антиоксидантной защиты: *sod* (супероксиддисмутаза) и *ahpC* (алкилгидропероксидаза), которые обеспечивают защиту от окислительных дезинфектантов, таких как перекись водорода и гипохлорит. Эти гены нейтрализуют активные формы кислорода, предотвращая повреждение клеточных структур. Гены спорообразования: *spo0A* – главный регулятор процесса споруляции, повышающий устойчивость к надуксусной кислоте (РАА) и глутаральдегиду; *sigK* и *sigE* –

сигма-факторы, контролирующие формирование защитной оболочки спор, что делает их устойчивыми к химическим воздействиям. Гены биопленкообразования: *luxS* регулирует систему кворум-сенсинга и образование внеклеточного матрикса; *epsA-O* кодируют компоненты полисахаридного матрикса биопленки, обеспечивающего физический барьер для дезинфектантов. Гены специфической устойчивости: *spoVA* – повышает устойчивость спор к перекиси водорода; *hrcA* и *clpB* (шапероны) защищают белки от денатурации под действием РАА, *qacE/qacH* – кодируют эффлюксные насосы, обеспечивающие устойчивость к четвертичным аммониевым соединениям (ЧАС)

[26, 29, 30, 31, 32].

Учитывая высокую устойчивость клостридий, особенно в споровой форме, для эффективной борьбы с ними необходим комплексный подход, сочетающий проверенные физические методы, химические дезинфектанты и перспективные биологические решения.

Физическими методами для эффективной борьбы с *Cl. difficile* являются - автоклавирование (121°C, 15-20 мин), УФ-облучение (254 нм), обработка паром (>80°C) [6, 11, 12, 13]. Зарубежный исследователь Kenters N. с соавторами выявили, что УФ-облучение требовало длительной экспозиции [21].

Для эффективной борьбы с *Cl. difficile* применяется химическая дезинфекция с использованием гипохлорита натрия (1000-5000 ppm), перекиси водорода (3-7%), перхлорсодержащих соединений [6, 11, 12, 13]. *C. perfringens* в вегетативной форме проявляет резистентность к некоторым биоцидам, но в форме спор она становится практически неуязвимой. Окислительные агенты (например, пероксиды) менее эффективны против спор, по сравнению с вегетативными клетками. Значительный интерес в борьбе с патогеном представляют ферментные средства (ДНКазы, протеазы и полисахаридазы), способные разрушать внеклеточный матрикс биопленки, что подтверждается их эффективностью в уменьшении плёночных образований. Так же необходимо отметить приоритетными направлениями исследований — это использование частиц серебра и меди, которые характеризуются обширными антимикробными действиями и способностью проникать в структуру биопленок, проявляя синергию с антибиотиками [16, 28].

В доступных литературных источниках представлены научные исследования эффективных отечественных дезинфицирующих средств. Например, результаты исследования Башарова А.А. (2023) в хозяйствах Республики Башкортостан показали, что применяемый дезинфицирующий препарат на основе глутарового альдегида (2%) был наиболее эффективен

против спорообразующих анаэробов, однако обладал токсичностью. Используемый препарат на основе перекиси водорода (6 %) представлял собой оптимальный баланс эффективности и безопасности, а недостаточную активность против спор показал хлоргексидин [19]. Также дополнительно были проведены исследования по оценке эффективности современных вакцин и дезинфектантов для профилактики клостридиозов (*Cl. perfringens* и *Cl. botulinum*) на молочных фермах Республики Башкортостан, результаты которых показали, что двукратная вакцинация снижала случаи клостридиозов на 62% с обязательным проведением дезинфекции, где надуксусная кислота (1%) показала 99% эффективности против спор при обработке кормушек и полов, а четвертичные аммониевые соединения (ЧАС) были неэффективны без предварительной механической очистки поверхностей [15].

Проведенные испытания на применение дезинфектантов группой отечественных исследователей в условиях типичных овцеводческих хозяйств Горного Алтая с учетом местных климатических особенностей выявили, что наибольшей эффективностью обладали гипохлорит натрия (5%) – полная инаktivация спор *Cl. perfringens* и *Cl. novyi* в течение 30 минут экспозиции и надуксусная кислота (1%) – высокая спорицидная активность в течение 15 минут. Умеренной эффективностью обладал формальдегид при экспозиции в 60 минут, где фенольные соединения показали эффективность при 3% концентрации действующего вещества [20].

Зарубежный исследователь Kenters N. с соавторами выявили, что перекись водорода (1,5%) наиболее эффективна против *Cl. difficile*, а комбинированные препараты на основе четвертичных аммониевых соединений обладали вариabельной эффективностью, УФ-облучение требовало длительной экспозиции [21].

Chojeska A. в своих исследованиях по оценке эффективности стандартных дезинфицирующих веществ и референс-агентов против спор *Cl. sporogenes*, установил, что глутаральдегид (2% раствор) и

гипохлорит натрия (1000-5000 ppm) показали высокую спороцидную активность. Перекись водорода (6-7,5%) требовала длительной экспозиции (>30 минут) для полной инактивации спор. При этом споры демонстрировали в 10-100 раз более высокую устойчивость, по сравнению с вегетативными формами анаэроба [22].

March J.K. с соавторами изучали влияние теплового шока на жизнеспособность и устойчивость спор *B. anthracis*, *B. subtilis* и *Cl. sporogenes* к дезинфектантам на основе надуксусной кислоты (РАА) и глутаральдегида. В результате проведенных опытов установлено, что тепловой шок может усиливать эффективность дезинфектантов против *Bacillus*, но менее значим для *Clostridium*, РАА предпочтительнее для обработки спор особенно в комбинации с нагревом, а для *Cl. sporogenes* требуются более высокие концентрации действующих веществ или длительная экспозиция [23].

При оценке эффективности промышленных дезинфицирующих средств против устойчивых спор *Cl. sporogenes* и *Cl. difficile* в условиях мясоперерабатывающих предприятий ученый McSharry S. с соавторами (2023) отметили, что РАА (0,5-2%) и глутаральдегид (2%) снизили количество спор *Cl. sporogenes* на 99,9% даже при наличии органических загрязнений, гипохлорит (1000 ppm) был эффективен только после тщательной механической очистки, четвертичные аммониевые соединения (ЧАС) и перекись водорода оказались неэффективны против спор без комбинации с термической обработкой. Изоляты *Cl. difficile* демонстрировали более высокую устойчивость в сравнении с *Cl. sporogenes*, органические остатки (белки, жир) снижали эффективность всех дезинфектантов на 30-50%, температура обработки ($\geq 40^{\circ}\text{C}$) усиливала действие РАА. Исследования были полезны для корректировки санитарных регламентов в мясной промышленности Ирландии, особенно для профилактики ботулизма и клостридиозов [24].

Gemein S. с коллегами в своей научной работе представили основные резуль-

таты испытаний пяти коммерческих дезинфицирующих средств против спор *Cl. difficile*, исходя из которых было выявлено, что наибольшую эффективность показал гипохлорит натрия (0,1-0,5%), обеспечивающий снижение количества спор в пять раз в суспензионных тестах на различных поверхностях, имитирующих реальные условия медицинских учреждений (сталь, пластик, керамическая плитка, линолеум, стекло, пористые материалы) при экспозиции всего 5-10 минут, однако его применение было ограничено высокой коррозионной активностью. А 0,2-0,5%-ная надуксусная кислота (РАА) демонстрировала стабильные результаты, но требовала более длительной экспозиции (15-30 минут). 1-2%-ный пероксимоносульфат калия и 3%-ный комбинированный препарат (РАА + ЧАС) показали умеренную эффективность, при этом их действенность существенно снижалась в присутствии органической нагрузки. 2%-ный глутаральдегид оказался наименее эффективным среди тестируемых средств и требовал длительной экспозиции (60 минут), что ставило под сомнение его спорицидные свойства в реальных условиях [25].

Ключевыми исследованиями автора Augustin V. с научными коллегами стали результаты по применению биоцидов на различных медицинских поверхностях с нанесенной стандартизированной суспензией спор (10^6 - 10^7 КОЕ/см²): диоксид хлора, который показал высокую спороцидную активность (снижение количества спор до 105 КОЕ/см² при концентрации вещества 500 ppm и экспозиции 60 минут); надуксусная кислота (0,5%) была эффективна против вегетативных форм (99,9% инактивация патогенов в течение 15 минут); глутаральдегид требовал длительной экспозиции (60 мин) для достижения снижения спор анаэробов до 103 КОЕ/см²; гипохлорит натрия (1000-5000 ppm, экспозиция 5-10 минут) снижал количество спор до 104 КОЕ/см²; перекись водорода при концентрации 3-6% и экспозиции 30 минут была эффективна в отношении спор ($\geq 2 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). Ис-

следователями рекомендованы комбинированные протоколы дезинфекции с предварительной механической очисткой против спор и вегетативных форм анаэробов: использование диоксида хлора в концентрации 500 ppm (10 мин) или 0,5% надуксусной кислоты + гипохлорит 1000 ppm, применяя последовательно, с промежуточной промывкой поверхностей [26].

Перспективными направлениями в борьбе с *Cl. difficile* являются разработка новых методов дезинфекции, включая фотодинамическую терапию, применение бактериофагов и наночастиц металлов. Большое внимание уделяется созданию вакцин и новых терапевтических подходов, направленных на нейтрализацию бактериальных токсинов [6, 7, 11, 12]. В настоящее время значительный интерес вызывают бактериофаги, которые демонстрируют высокую эффективность в разрушении бактериальных клеток *Cl. perfringens* непосредственно внутри патогенных микроорганизмов.

Ahmed H.A. (2022) с соавторами в своей работе показали, что применение наночастиц серебра (AgNP) в концентрации 100 мкг/мл, способствует снижению образования биоплёнок у 82,8 % изолятов *Cl. perfringens* типа А, выделенных из кишечника кур, за счет повреждения клеточных мембран и ДНК анаэробов [27].

Отечественными исследователями предложена современная стратегия борьбы с биоплёнками бактерий, включающая в себя применение ультразвуковой обработки, ингибиторов кворум-сенсинга (например, фураны), ферментов (ДНКазы, дисперсин В), наночастиц серебра (AgNP) и оксида цинка (ZnO) [16, 28].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Сложная система генетической защиты позволяет клостридиям выживать в условиях химической дезинфекции, что требует разработки комбинированных подходов для эффективной обработки. Из доступных источников литературы известно, что наибольшую эффективность показывали комбинации окислительных дезинфектантов (РАА, гипохлорит) с механическим удалением биопленок и тер-

мической обработкой [33, 34, 35, 36].

Борьба с клостридиями представляет серьезную проблему в животноводстве и пищевой промышленности, поскольку их споры обладают исключительной устойчивостью к большинству дезинфицирующих средств. Как показывает практика, радикальное решение проблемы клостридиоза требует комплексного подхода, сочетающего лечебные мероприятия с тщательной дезинфекцией помещений, являющихся первичным источником заражения [37, 38].

Современные исследования демонстрируют, что химическая резистентность клостридий крайне высока, и лишь ограниченное число дезинфектантов обладает реальной спороцидной активностью. Надуксусная кислота (РАА) показывает хорошую эффективность, однако ее применение сопряжено с серьезными технологическими сложностями – высокой коррозионной активностью и потенциальной взрывоопасностью при хранении [33]. Четвертичные аммониевые соединения и полигексаметиленгуанидины, несмотря на частые рекламные заявления, фактически неактивны против спор клостридий. Альдегидные соединения, включая глутаровый альдегид, демонстрируют лишь ограниченную эффективность [39].

В современной практике особое значение имеют галогеносодержащие средства (включая хлор-, бром-, йодсодержащие), сохраняющие статус наиболее надежных спороцидных препаратов. Однако в некоторых зарубежных странах имеется распространенное маркетинговое утверждение об «устарелости» галогенов. Так, по данным исследователей Ху В.С. с соавторами, использование хлорсодержащих и кислородсодержащих дезинфицирующих средств широко применяется для дезинфекции и с разной степенью эффективности уничтожает вегетативные клетки и споры, однако в исследованиях на биопленках *Cl. perfringens* выделенных с предприятий общественного питания была установлена исключительная устойчивость к галогеносодержащим средствам (в частности, к гипохлориту натрия) [40].

Практика ведущих европейских стран, в частности Германии, подтверждает ключевую роль галогеносодержащих средств в эффективном контроле клостридиоза в животноводстве. Хлорсодержащие дезинфектанты обладая бактерицидным, вирулицидным, фунгицидным и спороцидным действием в настоящее время остаются золотым стандартом для обеспечения санитарной безопасности помещений [38].

Критически важным аспектом является методика проведения дезинфекции. Из-за способности спор клостридий сохраняться в глубоких слоях органических отложений, простой обработки поверхностей недостаточно. Оптимальные результаты достигаются при сочетании двух-этапной обработки: первоначальной механической очистки с применением моюще-дезинфицирующих растворов с последующей интенсивной обработкой сильными хлорсодержащими препаратами. Обязательным условием является регулярный микробиологический контроль эффективности дезинфекции с помощью стандартных методик смывов и лабораторного анализа [41].

Таким образом, успешная борьба с клостридиями требует: 1) использования действительно эффективных спороцидных препаратов (прежде всего галогеносодержащих); 2) строгого соблюдения протоколов механической очистки и дезинфекции; 3) регулярного контроля качества обработки. Только комплексный подход позволяет гарантировать надежную защиту от этих устойчивых патогенов [19, 28, 38, 42, 43].

Оптимизация существующих методов включает разработку комбинированных подходов, сочетающих химические (РАА, гипохлориты) и физические (ультразвук, УФ-облучение) методы обработки. Перспективным является создание пролонгированных форм дезинфектантов с контролируемым высвобождением активных компонентов, а также внедрение автоматизированных систем обработки, обеспечивающих точное дозирование и контроль параметров дезинфекции. Особое

внимание уделяется разработке "интеллектуальных" дезинфектантов нового поколения, способных распознавать биопленочные структуры, эффективно преодолевать матрикс и избирательно воздействовать на споры.

BIOCIDAL RESISTANCE OF CLOSTRIDIUM: RESISTANCE MECHANISMS AND MODERN METHODS OF OVERCOMING IT (REVIEW)

Bezborodova N.A. - Cand. Vet. Sci., Senior Researcher, Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0003-2793-5001); **Romanova A.S.** - Cand. Tech. Sci., Senior Researcher, Laboratory of Leukemia (ORCID 0000-0003-0189-2963); **Shilova E.N.** - Dr. Vet. Sci., Leading Researcher, Laboratory of Viral Infections (ORCID 0000-0002-9506-6883); **Tomskikh O.G.** - Cand. Vet. Sci., Senior Researcher, Laboratory of Viral Infections (ORCID 0000-0003-3306-8346); **Yusupova Ch.R.** - Dr. Biol. Sci., Leading Researcher, Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0003-2970-6528); **Suzdaltseva M.A.*** - Senior Researcher, Department of Veterinary Laboratory Diagnostics with Testing Laboratory (ORCID 0000-0003-1528-1987).

FSBSI «Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences»

*lady.suzdaltseva2014@yandex.ru

Funding: *This work was carried out as part of a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of Russia, entitled "Study of modern features of priority pathogens and susceptible farm animals and development of an up-to-date complex of diagnostic, immunobiological preparations and approaches for managing, predicting and ensuring epizootic and biological safety" (0532-2026-0006).*

ABSTRACT

Clostridiosis caused by obligate anaerobes *Cl. perfringens* and *Cl. difficile* is a serious veterinary and medical problem due

to the unique resistance of their spores to external influences and the ability to form biofilms. The main difficulty in combating these pathogens is their exceptional resistance to most disinfectants, which requires the development of specialized treatment protocols. The article presents data from recent studies on the optimization of disinfection protocols in livestock complexes and medical institutions. Also, the conducted literature analysis demonstrates that a limited range of chemical agents exhibit effective sporicidal activity. The highest efficiency *in vitro* and under industrial conditions was demonstrated by oxidizing agents: peracetic acid (PAA, 0,5-2%) and sodium hypochlorite (1-5%). A critically important factor was the use of mandatory preliminary mechanical cleaning of surfaces, since organic contaminants (proteins, fats) reduce the efficiency of disinfectants by 30-50%. Products based on quaternary ammonium compounds (QACs) and hydrogen peroxide demonstrated insufficient efficiency against spores without a combination with thermal methods (autoclaving, steam). The resistance of clostridia is genetically determined and includes genes of antioxidant protection (*sod*, *ahpC*), sporulation (*spo0A*, *sigK*) and biofilm formation (*luxS*, *eps*). The article describes a comprehensive approach to combating clostridia – the use of effective sporicidal drugs (PAA, hypochlorites), strict adherence to a two-stage protocol (mechanical cleaning followed by chemical disinfection), and the introduction of regular microbiological monitoring to verify the quality of disinfection.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Безбородова, Н.А. Методы профилактики клостридиальной инфекции крупного рогатого скота на территории Российской Федерации / Н. А. Безбородова, О. Г. Томских, В. В. Кожуховская [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53, № 8. – С. 92-100. – DOI 10.26898/0370-8799-2023-8-11
2. ГОСТ Р 56994-2016 Дезинфектология. Дезинфекционные мероприятия в организациях, осуществляющих медицинскую деятельность. Общие требования. введ. 2017-07-01. — Москва: Стандартинформ. - 2016. — IV, 12 с.
3. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: федеральный закон от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ (ред. от 24 апреля 2023 года) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1999. — № 14. — Ст. 1650. — [Документ доступен в СПС «КонсультантПлюс»]
4. Правила по дезинфекции, дезинвазии, дезинсекции и дератизации в животноводческих хозяйствах: ВП 13.4.1318-96: утв. Департаментом ветеринарии Минсельхозпрода России 18 июня 1996 года. — Москва, 1996. — 42 с.
5. ГОСТ ISO 18593-2018. Микробиология пищевой цепи. Методы отбора проб с поверхностей с помощью контактных пластин и тампонов. — Введ. 2019-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 16 с.
6. Баранцевич, Е.Р. Clostridium difficile-ассоциированная диарея: современные аспекты диагностики и лечения / Баранцевич Е. Р., Тихонов П. И. // Инфекционные болезни. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 45-52. – DOI: 10.20953/1729-9225-2020-2-45-52
7. Клинические рекомендации по диагностике и лечению Clostridium difficile-ассоциированной диареи / под ред. А.А. Яковлева. - М.: Российское общество инфекционистов. – 2021. - 48 с.
8. Бондаренко, В.М. Микробиота кишечника и Clostridium difficile-ассоциированные заболевания / Бондаренко В.М., Лиходед В.Г. // - М.: Медицинское информационное агентство, 2019. - 256 с. - ISBN 978-5-8948-2145-3
9. McDonald, L.C. Clinical Practice Guidelines for Clostridium difficile Infection in Adults and Children: 2017 Update by the Infectious Diseases Society of America (IDSA) and Society for Healthcare Epidemiology of America (SHEA) / McDonald L.C. et al. // Clinical Infectious Diseases. - 2018. - Vol. 66, No. 7. - P. e1-e48. - DOI: 10.1093/cid/cix1085
10. Leffler, D.A. Clostridium difficile in-

- fection / Leffler D.A., Lamont J.T. // New England Journal of Medicine. - 2015. - Vol. 372, No. 16. - P. 1539-1548. - DOI: 10.1056/NEJMr1403772
11. Orenstein, R. Strategies to prevent *Clostridium difficile* infections in acute care hospitals: 2022 Update / Orenstein R. et al. // Infection Control & Hospital Epidemiology. - 2023. - Vol. 44, No. 4. - P. 527-549. - DOI: 10.1017/ice.2022.292
12. Применение дезинфицирующих средств и обеззараживание спорообразующих бактерий: эффективные методы [Электронный ресурс] // ABSOMED. - 2022. - URL: <https://absomed.ru/info-center/stati/primenenie-dezinfitsiruyushchikh-sredstv-i-obezzarazhivanie-sporoobrazuyushchikh-bakteriy-effektivny/> (дата обращения: 15.06.2024)
13. Rutala, W.A. Disinfection and sterilization in health care facilities: An overview and current issues / Rutala W.A., Weber D.J. // Infection Disease Clinics of North America. - 2021. - Vol. 35, No. 3. - P. 575-607. - DOI: 10.1016/j.idc.2021.04.003
14. Безбородова, Н. А. Патогенные виды клостридий и их устойчивость к антибиотикам, факторы вирулентности и геномные особенности / Н. А. Безбородова, О. В. Соколова, В. В. Кожуховская [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. - 2023. - № 3(41). - С. 39-51. - DOI 10.31677/2311-0651-2023-41-3-39-51
15. Башаров, А. А. Оценка эффективности вакцин и дезинфектантов против клостридиоза коров на молочных комплексах республики Башкортостан / Башаров А. А., Юзлекбаев Ф. Ф., Юмагузин И. Ф. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2023. - №. 11 (200). - С. 244-250. - DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-244-250
16. Ильина, Т.С. Бактериальные биопленки: роль в хронических инфекционных процессах и поиск средств борьбы с ними. / Ильина Т. С., Романова Ю. М. // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. - 2021. - 39(2):14-24. <https://doi.org/10.17116/molgen20213902114>
17. Maillard, J.-Y. Innate resistance to sporicides and potential failure to decontaminate. Journal of Hospital Infection. - 2011. - 77 (3), 204-209. DOI:10.1016/j.jhin.2010.06.028
18. Leggett, M.J. Bacterial spore structures and their protective role in biocide resistance / M.J. Leggett, P.A. Lambert, M.D. Dancer // Journal of Applied Microbiology. - 2012. - Vol. 113, № 3. - P. 485-498. - DOI: 10.1111/j.1365-2672.2012.05336.x
19. Башаров, А. А. Современные подходы к профилактике клостридиозов / А. А. Башаров // Журнал микробиологии. - 2023. - № 5. - С. 45-52
20. Насынов, Б. Б. Оценка эффективности дезинфицирующих средств при клостридиозах овец и коз [Электронный ресурс] / Насынов Б.Б., Шатрубова Е.В., Архипова Н.Д. // Материалы конференции "Проблемы жизнедеятельности животных". - Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет, 2012
21. Kenters, N. Effectiveness of various cleaning and disinfectant products on *Clostridium difficile* spores of PCR ribotypes 010, 014 and 027. 12. / Kenters N., Huijskens E., de Wit S. et al. // Antimicrob Resist Infect Control. - 2017. - 6, 54 <https://doi.org/10.1186/s13756-017-0210-3>
22. Chojacka, A. Susceptibility of *Clostridium sporogenes* Spores to Selected Reference Substances and Disinfectants // Polish Journal of Microbiology. - 2022. - 71(3). - 353-358. DOI: 10.33073/pjm-2022-031
23. March, J.K. Differential Effects of Heat Shock on Spore Viability and Resistance of *Bacillus anthracis*, *Bacillus subtilis*, and *Clostridium sporogenes* to Peracetic Acid and Glutaraldehyde Disinfectants / March J.K., Pratt M.D., Low C.-W., Cohen M.N., Satterfield B.A., Schaalje B., O'Neil K.L., Robison R.A. // Microbiology Open. - 2025. - DOI: 10.1002/mbo3.277
24. McSharry, S. Efficacy of disinfectants used in meat processing plants against spores of *Clostridium sporogenes* and *Clostridioides difficile* / McSharry S., Koolman L., Whyte P., Bolton D. // Journal of Applied Microbiology - 2023. - 134(5). - 1-12
25. Gemein, S. Efficacy of five 'sporicidal' surface disinfectants against *Clostridioides*

- difficile spores in suspension and four-field tests / Gemein S., Andric R., Christiansen B., et al. // *Journal of Hospital Infection*. – 2022. – Vol. 121. – P. 1-10. DOI: 10.1016/j.jhin.2022.01.010
26. Augustin, V. Inactivation of *Clostridioides difficile* spores by chemical biocides: Mechanisms, assessment methods, and environmental aspects / Augustin V., Hrushel A., Grechuh W., Kalka J., Tarka P., Kirat W. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – DOI:10.3390/ijerph19020750
27. Ahmed, H. A. Genetic relatedness, antibiotic resistance, and effect of silver nanoparticle on biofilm formation by *Clostridium perfringens* isolated from chickens, pigeons, camels, and human consumers / Ahmed H. A., El Bayomi R. M., Hamed R. I., Mohsen R. A., El-Gohary F. A., Hefny A. A., Elkhwaga E., Tolba H. M. N. // *Veterinary Sciences*. – 2022. – 9(3), 109. <https://doi.org/10.3390/vetsci9030109>
28. Хрянин А. А. Антибиотики и химиотерапия. – 2020. – Т. 65, № 5-6. С. 70-77
29. Briolat, V. Identification of the *Clostridium perfringens* genes involved in the adaptive response to oxidative stress / Briolat V., Reyssset G // *Journal of Bacteriology*. – 2002. – May 184(9):2333-43. – DOI:10.1128/JB.184.9.2333-2343.2002
30. Paredes-Sabja, D. Roles of DacB and Spm proteins in *Clostridium perfringens* spore resistance to moist heat, chemicals, and UV radiation / Paredes-Sabja D., Sarker N., Setlow B., Setlow P., Sarker M.R. // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2008. DOI:10.1128/AEM.00169-08
31. Charlebois, A. Comparative transcriptomic analysis of *Clostridium perfringens* biofilms and planktonic cells / Charlebois A., Jacques M., Archambault M // *Avian Pathology*. – 2016
32. Jaglic, Z. Genetic basis of resistance to quaternary ammonium compounds in *Clostridium difficile* / Jaglic Z., Michu E., Holasova M., Vlkova H., Babak V., Kolar M., Bardon J., Schlegelova J. // *Journal of Medical Microbiology*. – 2012. DOI: 10.1099/jmm.0.036491-0
33. McDonnell, G. Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance / McDonnell G., Russell A.D. // *Clinical Microbiology Reviews*. – 1999. – Vol.12, №1. – P.147-179. DOI: 10.1128/CMR.12.1.147
34. Rutala, W.A. Disinfection and Sterilization in Health Care Facilities: An Overview and Current Issues / Rutala W.A., Weber D.J. // *Infection Control & Hospital Epidemiology*. – 2014. – 35(5). – 564-577. – DOI: 10.1086/675822
35. Sattar, S.A. Combined Application of Chemical Disinfectants and Physical Agents for the Inactivation of *Clostridioides difficile* Spores / Sattar S.A., et al. // *Journal of Hospital Infection*. – 2019. – 101(1). – 92-100. – DOI: [10.1016/j.jhin.201
36. Maillard, J.-Y. Bacterial resistance to biocides, antiseptics and antibiotics: differences, similarities and implications for clinical practice // *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. – 2011. – Vol. 66, № 5. – P. 965-973. – DOI: 10.1093/jac/dkr049
37. Башаров, А.А. Современные методы контроля клостридиозов в животноводческих комплексах / Башаров А.А., Юзлекбаев Ф.Ф. // *Ветеринария*. – 2021. – №5. – С.3-9. DOI: 10.17238/issn2072-2419.2021.5.3
38. Kramer, A. How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review / Kramer A., Schwebke I., Kampf G. // *BMC Infectious Diseases*. – 2006. – Vol.6. – P.130. DOI: 10.1186/1471-2334-6-130
39. Rutala, W.A. Uses of Inorganic Hypochlorite (Bleach) in Health-Care Facilities / Rutala W.A., Weber D.J. // *Clinical Microbiology Reviews*. – 1997. – Vol.10, №4. – P.597-610. DOI: 10.1128/CMR.10.4.597
40. Ху, В.С. Биопленкообразование и спорообразование *Clostridium perfringens* и ее устойчивость к дезинфицирующему и окислительному стрессу [Biofilm formation and sporulation of *Clostridium perfringens* and its resistance to disinfectant and oxidative stress] / Ху В.С., Бу Д.У., Кан Я.Дж., Ку О.К. // *Antibiotics*. – 2021. – Vol. 10, № 4. – С. 396. – DOI: 10.3390/antibiotics10040396
41. Онищенко, Г.Г. Санитарно-эпидемиологические требования к дезин-

фекционным мероприятиям. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. - 2020. - 156 с. ISBN 978-5-7508-1632-4

42. Bezborodova, N.A. Improvement of Laboratory Diagnosis for Detection and Identification of Bovine Clostridiosis / N. A. Bezborodova, E. N. Shilova, V. V. Kozhukhovskaya [et al.] // WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine. - 2023. - Vol. 20. - P. 305-312. - DOI 10.37394/23208.2023.20.31

43. Fraiese, A. Currently available sporicides for use in healthcare, and their limitations. Journal of Hospital Infection. - 2011. - 77 (3), 210-212. DOI:10.1016/j.jhin.2010.06.029

REFERENCES

1. Bezborodova, N.A. Methods of prevention of clostridial infection of cattle in the territory of the Russian Federation / N. A. Bezborodova, O. G. Tomskikh, V. V. Kozhukhovskaya [et al.] // Siberian Bulletin of Agricultural Science. - 2023. - Vol. 53, No. 8. - pp. 92-100. - DOI 10.26898/0370-8799-2023-8-11 (In Russ.)
2. GOST R 56994-2016 Disinfection. Disinfection measures in organizations engaged in medical activities. General requirements. introduction. 2017-07-01. — Moscow: Chartinform. - 2016. — IV, 12 p. (In Russ.)
3. On the sanitary and epidemiological welfare of the population: Federal Law No. 52-FZ of March 30, 1999 (as amended on April 24, 2023) // Collection of Legislation of the Russian Federation. — 1999. — No. 14. — Art. 1650. — [The document is available in the SPS "ConsultantPlus"] (In Russ.)
4. Rules for disinfection, disinfection, disinfection and deratization in livestock farms: VP 13.4.1318-96: approved by Department of Veterinary Medicine of the Ministry of Agriculture and Food of Russia on June 18, 1996. — Moscow, 1996. — 42 p. (In Russ.)
5. GOST ISO 18593-2018. Microbiology of the food chain. Methods of sampling from surfaces using contact plates and swabs. — Introduction. 2019-07-01. — Moscow: Standartinform, 2019. — 16 p. (In Russ.)
6. Barantsevich, E.R. Clostridium difficile-

associated diarrhea: modern aspects of diagnosis and treatment / Barantsevich, E. R., Tikhonov, P. I. // Infectious diseases. - 2020. - Vol. 18, No. 2. - pp. 45-52. - DOI: 10.20953/1729-9225-2020-2-45-52 (In Russ.)

7. Clinical guidelines for the diagnosis and treatment of Clostridium intractable-associated diarrhea / ed. by A.A. Yakovlev, Moscow: Russian Society of Infectious Diseases. - 2021. - 48 p. (In Russ.)

8. Bondarenko, V.M. Intestinal microbiota and Clostridium intractable-associated diseases / Bondarenko V.M., In Likhodedg. // - Moscow: Medical Information Agency, 2019. 256 p. - ISBN at 978-5-8948-2145-3 (In Russ.)

9. McDonald, L.S. Clinical Practice Guidelines for Clostridium difficile infection in adults and children: updated in 2017 by the American Society of Infectious Diseases (IDSA) and the Society for Health Epidemiology of America (SHEA) / McDonald L.C. et al. // Clinical Infectious Diseases. - 2018. - Volume 66., No. 7. - P. e1-e48. - DOI: 10.1093/cid/cix1085

10. Leffler, D.A. Infection with Clostridium difficile / Leffler D.A., Lamont J.T. // New England Medical Journal. - 2015. - Volume 372, No. 16. - pp. 1539-1548. - DOI: 10.1056/NEJMr1403772

11. Orenstein, R. Strategies for the prevention of Clostridium difficile infections in emergency hospitals: update to 2022 / Orenstein R. et al. // Infection control and hospital epidemiology. - 2023. - Volume 44, No. 4. - pp. 527-549. - DOI: 10.1017/ice.2022.292

12. Application of disinfectants and disinfection of spore-forming bacteria: effective methods [Electronic resource] // ABSOMED. - 2022. - Address: <https://absomed.ru/info-center/stati/primenenie-dezinfitsiruyushchikh-sredstv-i-obezzarazhivanie-sporoobrazuyushchikh-bakteriy-effektivny> / (date of access: 06/15/2024) (In Russ.)

13. Rutala, U.A. Disinfection and sterilization in medical institutions: an overview and current problems / U.A. Rutala, D.J. Weber // Clinics of infectious diseases of North America. - 2021. - Volume 35, No. 3. - pp.

- 575-607. - DOI: 10.1016/j.idc.2021.04.003
14. Bezborodova, N. A. Pathogenic clostridium species and their antibiotic resistance, virulence factors and genomic features / N. A. Bezborodova, O. V. Sokolova, V. V. Kozhukhovskaya [et al.] // Innovations and food safety. – 2023. – № 3(41). – Pp. 39-51. – DOI: 10.31677/2311-0651-2023-41-3-39-51 (In Russ.)
15. Basharov, A. A. Evaluation of the effectiveness of vaccines and disinfectants against cow clostridiosis in dairy complexes of the Republic of Bashkortostan / Basharov A. A., Yuzlekbayev F. F., Yumaguzin I. F. // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. – 2023. – № 11 (200). – Pp. 244-250. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-244-250 (In Russ.)
16. Ilyina, T.S. Bacterial biofilms: their role in chronic infectious processes and the search for ways to combat them. / Ilyina T. S., Romanova Yu. M. // Molecular genetics, microbiology and virology. – 2021. – 39 (2):14–24. <https://doi.org/10.17116/molgen20213902114> (In Russ.)
17. Maillard J.-Y. Innate resistance to sporicides and potential inability to deactivate. Journal of hospital infections. – 2011. – 77 (3), 204-209. DOI:10.1016/j.jhin.2010.06.028
18. Leggett, M.J. Bacterial spore structures and their protective role in biocide resistance. Leggett, P.A. Lambert, M.D. Dancer // Journal of Applied Microbiology. – 2012. – Volume 113, No. 3. – pp. 485-498. – DOI: 10.1111/j.1365-2672.2012.05336.x
19. Basharov, A. A. Modern approaches to the prevention of clostridiosis / A. A. Basharov // Journal of Microbiology. – 2023. – No. 5. – pp. 45-52 (In Russ.)
20. Nasynov, B. B. Evaluation of the effectiveness of disinfectants in sheep and goat clostridiosis [Electronic resource] / Nasynov B.B., Shatrubova E.V., Arkhipova N.D. // Materials of the conference "Problems of animal life". Gorno-Altai: Gorno-Altai State University, 2012 (In Russ.)
21. Keters, N. The effectiveness of various cleaning and disinfecting agents against *Clostridium difficile* spores of PCR ribotypes 010, 014 and 027.12. / Keters N., Huyskens E., de Wit S. et al. // Antimicrobial infection control. – 2017. – No. 6, 54 <https://doi.org/10.1186/s13756-017-0210-3>
22. Chozhetskaya, A. Sensitivity of *Clostridium sporogenes* spores to some reference substances and disinfectants // Polish Microbiological Journal. – 2022. – 71(3). – 353-358. DOI: 10.33073/pjm-2022-031
23. March, J.K. Differential effect of heat shock on spore viability and resistance of *Bacillus anthracis*, *Bacillus subtilis* and *Clostridium sporogenes* to disinfectants with peracetic acid and glutaraldehyde / J.K. March, Pratt M.D., Lowe S.U., Cohen M.N., Satterfield B.A., Chalier B., O'Neill K.L., Robison R.A. // Microbiology is open. – 2025. – DOI: 10.1002/mbo3.277
24. McSharry, S. Effectiveness of disinfectants used in meat processing plants against *Clostridium sporogenes* and *Clostridioides difficile* spores / McSharry, S., Kullman, L., White, P., Bolton, D. // Journal of Applied Microbiology. – 2023. – 134(5). – 1-12
25. Gemein, S. Effectiveness of five "sporicidal" surface disinfection agents against *Clostridioides difficile* spores in suspension and four field trials / S. Gemein, R. Andrik, B. Christiansen et al. // Journal of Hospital Infection. – 2022. – Volume 121. – Pp. 1-10. DOI: 10.1016/j.jhin.2022.01.010
26. Augustin V. Inactivation of *Clostridioides difficile* spores with chemical biocides: mechanisms, assessment methods and environmental aspects / Augustin V., Grushel A., Grechukh V., Kalka J., Tarka P., Kirat V. // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Identification Number (DOI):10.3390/ijerph19020750
27. Ahmed, H. A. Genetic relationship, antibiotic resistance, and the effect of silver nanoparticles on biofilm formation of *Clostridium perfringens* isolated from chickens, pigeons, camels, and human consumers / Ahmed H. A., El Bayomi R. M., Hamed R. I., Mohsen R. A., El Gohari F. A., Hefni A. A., Elkhavaga E., Tolba H. M. N. // Veterinary Sciences. – 2022. – 9(3), 109. <https://doi.org/10.3390/vetsci9030109>
28. Khryanin A. A. Antibiotics and chemotherapy. – 2020. – Vol. 65, No. 5-6. pp. 70-

- 77 (In Russ.)
29. Briolat, V. Identification of *Clostridium perfringens* genes involved in the adaptive response to oxidative stress / V. Briolat, G. Reisset // *Journal of Bacteriology*. - 2002. - May 184(9):2333-43. - DOI:10.1128/JB.184.9.2333-2343.2002
30. Paredes-Sabja, D. The role of DacB and Spm proteins in the resistance of *Clostridium perfringens* spores to wet heat, chemicals and ultraviolet radiation / D. Paredes-Sabja, N. Sarker, B. Setlow, P. Setlow, M.R. Sarker // *Applied microbiology and environmental microbiology*. - 2008. DOI:10.1128/AEM.00169-08
31. Charlebois, A. Comparative transcriptomic analysis of *Clostridium perfringens* biofilms and planktonic cells / A. Charlebois, M. Jacques, M. Archambault // *Pathology of birds*. - 2016
32. Yaglic, Z. Genetic basis of resistance to quaternary ammonium compounds in *Clostridium difficile* / Z. Yaglic, E. Michu, M. Golasova, H. Vlkova, V. Babak, M. Kolar, J. Bardon, J. Shlegelova // *Journal of Medical Microbiology*. - 2012. DOI: 10.1099/jmm.0.036491-0
33. McDonnell, G. Antiseptics and disinfectants: activity, action and resistance / McDonnell G., Russell A.D. // *Reviews of clinical microbiology*. 1999. Volume 12, No. 1. pp.147-179. DOI: 10.1128/CMR.12.1.147
34. Rutala, U.A. Disinfection and sterilization in medical institutions: an overview and current problems / U.A. Rutala, D.J. Weber // *Infection control and hospital epidemiology*. - 2014. - 35(5). - 564-577. - DOI: 10.1086/675822
35. Sattar, S.A. Combined use of chemical disinfectants and physical agents for inactivation of *Clostridioides difficile* spores / S.A. Sattar et al. // *Journal of hospital infection*. - 2019. - 101(1). - 92-100. - DOI: [10.1016/J.jhin.201
36. Maillard, J.-Y. Bacterial resistance to biocides, antiseptics and antibiotics: differences, similarities and implications for clinical practice // *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. - 2011. - Vol. 66, № 5. - P. 965-973. - DOI: 10.1093/jac/dkr049
37. Basharov, A. N.A. N. Modern methods of clostridiosis control in livestock complexes / Basharov A. N.A. N., Yuzlekbaev F. N.F. N. // *Veterinary medicine*. - 2021. - No.5. - St.3-9. DOI: 10.17238/issn2072-2419.2021.5.3 (In Russ.)
38. Kramer, A. How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review / Kramer A., Schwebke I., Kampf G. // *BMC Infectious Diseases*. - 2006. - Vol.6. - P.130. DOI: 10.1186/1471-2334-6-130
39. Rutala, W.A. Uses of Inorganic Hypochlorite (Bleach) in Health-Care Facilities / Rutala W.A., Weber D.J. // *Clinical Microbiology Reviews*. - 1997. - Vol.10, №4. - P.597-610. DOI: 10.1128/CMR.10.4.597
40. Shu, V.S. Biofilm formation and sporulation of *Clostridium perfringens* and its resistance to disinfecting and oxidative stress [text] / V.S. Shu // *Biology and Biotechnology*. its resistance to disinfectants and oxidative stress.k. // *Antibiotics*. - 2021. - Volume 10, No. 4. - p. 396. - DOI: 10.3390/antibiotics10040396
41. Onishchenko, G.G. Sanitary and epidemiological requirements for disinfection measures. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. - 2020. - 156 p. ISBN 978-5-7508-1632-4 (In Russ.)
42. Bezborodova, N.A. Improvement of Laboratory Diagnosis for Detection and Identification of Bovine Clostridiosis / N. A. Bezborodova, E. N. Shilova, V. V. Kozhukhovskaya [et al.] // *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine*. - 2023. - Vol. 20. - P. 305-312. - DOI 10.37394/23208.2023.20.31
43. Fraise, A. Currently available sporicides for use in healthcare, and their limitations. *Journal of Hospital Infection*. - 2011. - 77 (3), 210-212. DOI:10.1016/j.jhin.2010.06.029

УДК: 615.37:577.1:612.1:616.24-002.153:636.2-053.2
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.26

ВЛИЯНИЕ ИММУНОСТИМУЛЯТОРА АЛЛОКИН-АЛЬФА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ТЕЛЯТ ПРИ БРОНХОПНЕВМОНИИ

Сухинин А.А. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0002-1234-3440); Степанова Н.А.* – асп. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0009-0006-9374-8545).

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

* nas2001@list.ru

Ключевые слова: бронхопневмония телят, иммуностимулятор, аллокин-альфа, иммунитет, фагоцитарная активность

Key words: bronchopneumonia of calves, immunostimulator, allokin-alpha, immunity, phagocytic activity

Поступила: 23.10.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Бронхопневмония телят, связанная с иммунологической незрелостью организма, наносит серьёзный ущерб промышленному скотоводству. В связи с ростом антибиотикорезистентности возбудителей бронхопневмонии все более актуальны альтернативные методы лечения, включающие иммуностимуляторы, в частности аллокин-альфа, механизм действия которого заключается в переключении механизма иммунного ответа с гуморального на клеточный. Цель исследования заключалась в изучении влияния иммуностимулятора аллокин-альфа на биохимические и иммунологические показатели крови телят, больных бронхопневмонией. Исследования проводились в весенний период в племенном заводе Ленинградской области на телятах голштинской породы трехмесячного возраста и на базе кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии ФГБОУ ВО СПбГУВМ. В крови телят измеряли общий белок, альбумин, глобулин, мочевины, азот, креатинин, билирубин, аланинаминотрансферазу, аспартатаминотрансферазу, щелочную фосфатазу, амилазу, глюкозу, холестерин, кальций, фосфор и их соотношение. Среди иммунологических показателей оценивались такие параметры как бактерицидная активность сыворотки крови, миелопероксидаза, лизосомально-катионные белки, показатели фагоцитарной активности. Применение иммуностимулятора ускоряет восстановление функций иммунной системы. Так уровень миелопероксидазы остаётся повышенным всего на 27,7 % относительно контроля, тогда как у животных без иммуностимулятора этот показатель составляет 28,4 %. Фагоцитарная активность достоверно повышена на 30,4 %, но приближается к значениям нормы в отличие от первой группы (выше на 55,4 %). При применении аллокина-альфа у больных животных наблюдается меньший дефицит белка (процент содержания глобули-

на близок к норме здоровых животных, выше на 1,1 %), но сохраняется поражение печени (повышение трансаминаз). Эти изменения свидетельствуют о постепенном восстановлении общего состояния организма после болезни.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Среди факторов риска возникновения болезней молодняка исследователи относят гипоксические состояния, несбалансированные рационы, ускорение темпов производственного цикла в промышленном скотоводстве, что приводит к повышению интенсивности нагрузки на организм крупного рогатого скота, а затем ведёт к снижению резистентности организма телят [2,11]. Снижение естественной резистентности, а также нарушение зоогигиенических параметров содержания и кормления животных приводит к подверженности организма телят влиянию не только патогенной микрофлоры и вирусным агентам, но и воздействию условно-патогенных микроорганизмов [16]. Высокий уровень заболеваемости телят, а также последствия переболевания бронхопневмонией ведут к возникновению экономических убытков, складывающихся из падежа молодняка, вынужденного убоя до 50% поголовья телят, отставании в росте и развитии и снижении набора живой массы [4,5,6,17,20].

После болезней пищеварительной системы поражение респираторного тракта, в частности изучаемая нами бронхопневмония, занимает второе место по распространенности. У больных животных регистрируют развитие иммунодефицита, лимфоцитопению, снижение фагоцитарной активности [18]. Развитие антибиотикорезистентности у возбудителей бронхопневмонии телят меняет практику назначения лекарственных средств в арсенале ветеринарного врача. Так, например, среди профилактических средств всё большее внимание приковывают к себе дезинфектанты широкого спектра антимикробного действия, среди лечебных – иммуностимуляторы, бактериофаги, а среди средств диагностики завоевывают место новые методы, в частности исследование цитокинового профиля [2,9,12,13,15].

Используемый в рамках нашего ис-

следования иммуностимулятор аллокин-альфа является синтетическим олигопептидом, по своей структуре аналогом природному аллоферону, а по действию – интерферону альфа. Иммуномодулирующие и противовирусное действие обусловлено активацией ИФН и стимуляцией НК-клеток [14]. Усиление противовирусного ответа осуществляется посредством синтеза ИФН-α и ИФН-γ, также препарат стимулирует синтез ИЛ-12, ФНО-α [7]. Цель исследования заключалась в изучении влияния иммуностимулятора аллокин-альфа на биохимические и иммунологические показатели крови телят, больных бронхопневмонией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Проведение исследований осуществлялось весной 2025 года на базе племенного завода Ленинградской области. Хозяйство благополучно по инфекционным болезням крупного рогатого скота. Во время эксперимента исследуемые телята вакцинированы от возбудителей инфекционного ринотрахеита, парагриппа-3, респираторно-синцитиальной инфекции, вирусной диареи крупного рогатого скота, пастереллеза крупного рогатого скота, трихофитии. Диагноз «бронхопневмония» ставили комплексно на основании данных клинического исследования, анализа выделенных микроорганизмов из носоглоточной слизи у исследуемых животных. У больных животных констатировали ассоциированную инфекцию. Среди клинических признаков отмечали субфебрильную температуру тела, угнетение, одышку, периодический сухой кашель, слизистогнойные истечения из носовых ходов. Отбор проб носоглоточной слизи производился до начала эксперимента стерильным тупфером, помещаемым в транспортную среду Кэри-Блэйра. Материал транспортировали в течение 3 часов после отбора проб. Выделение чистых культур микроорганизмов осуществлялось с помощью посева материала на дифферен-

циально-диагностические питательные среды. Идентификация проводилась посредством культуральных и биохимических методов. Культивирование микроорганизмов осуществляли на таких питательных средах, как среда Эндо, кровяной агар, мясо-пептонный агар, солевой агар с маннитом, железосульфитный агар, среда Китта-Тароции, PALCAM. Типизация микроорганизмов осуществлялась методом масспектрометрии на масспектрометре с лазерной десорбцией MALDI-TOF.

При проведении эксперимента сформировали 3 группы телят голштинской породы трехмесячного возраста, состоявшая из которых из 10 голов. Всего в эксперименте участвовало 30 животных. Для участвовавшего в эксперименте молодняка организовали одинаковые условия содержания и кормления. Группы формировались по принципу аналогов: в контрольную группу вошли здоровые телята (n=10), в первую подопытную группу - телята (n=10) с признаками бронхопневмонии, лечившиеся по схеме, принятой в хозяйстве, во вторую подопытную группу – телята (n=10) с признаками бронхопневмонии, лечившиеся по схеме, принятой в хозяйстве, дополненной иммуностимулятором аллокин-альфа. Животным первой подопытной группы на схеме лечения хозяйства, назначали: внутримышечное введение антибактериального средства широкого спектра действия из группы азалидов «Азикан» (действующее вещество азитромицин) в дозировке 1 мл на 15 кг массы тела однократно в течение 3 дней, внутримышечное введение нестероидного противовоспалительного препарата «Кетопрофен 10%» (действующее вещество – кетопрофен) в дозировке 3 мг на 1 кг массы тела однократно в течение 3 дней и внутримышечное введение препарата для интенсивной терапии критических и шоковых состояний «Тонокард» (действующее вещество – бутафосфан, аскорбиновая кислота, камфара) в дозировке 3 мл на 30 кг массы тела однократно в течение 3 дней. Животным второй подопытной группы допол-

нительно к схеме лечения назначали иммуностимулятор. Согласно ведущимся разработкам будущего препарата ветеринарного применения (действующее вещество – аллоферон) при пересчете рекомендуемых дозировок для животных в рамках нашего эксперимента аллокин-альфа вводился двукратно в дозировке 0,02 мг/кг массы тела теленка, что составляло в среднем 1 мг на голову, с интервалом 6 дней подкожно в область средней трети шеи. Препарат в форме лиофилизата предварительно разводился 1 мл физиологического раствора (0,9% NaCl). Также выбор дозировки осуществлялся на основании рекомендаций производителя, наработок кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии ФГБОУ ВО СПбГУВМ, ранних исследований кафедры, проводившихся во время работы над кандидатской диссертацией Гумберидзе М.М. «Эффективность препарата «Аллокин-альфа» при Алеутской болезни норок» [3, 19].

Все плановые профилактические и диагностические мероприятия осуществлялись у животных контрольной и подопытных групп. Биохимическое исследование крови проводили в первый день эксперимента до начала лечения и на 7 день эксперимента (на следующий день после окончания лечения). Биохимические исследования проводили на базе клинико-биохимической лаборатории ФГБОУ ВО СПбГУВМ на автоматическом биохимическом анализаторе Clima MC-15 (RAL, Испания) с автоматической системой расчета. В крови у телят контрольной и подопытных групп измеряли общий белок, альбумин, глобулин, мочевины, азот, креатинин, билирубин, аланинаминотрансферазу (АЛТ), аспартатаминотрансферазу (АСТ), щелочную фосфатазу (ЩФ), амилазу, глюкозу, холестерин, кальций, фосфор и их соотношение.

Иммунологическое исследование крови проводили в первый день эксперимента до начала лечения, на 7 день эксперимента (на следующий день после окончания лечения) и дополнительно на 15 день эксперимента, что может быть объяснено

желанием в рамках эксперимента проверить заявление разработчика. Производители в инструкции к препарату отмечают повышение функциональной активности показателей клеточного иммунитета в течение 7 дней после введения данного средства [3,10]. В качестве оценки фагоцитарной активности исследовали бактерицидную активность сыворотки крови, миелопероксидазу, лизосомально-катионные белки, фагоцитарный индекс, активность и число. Оценка фагоцитарной активности лейкоцитов осуществлялась по методическим рекомендациям по оценке и коррекции иммунного статуса животных, разработанным А.Г. Шаховым и др. (2005) с использованием тест-культуры *Staphylococcus aureus*. Бактерицидная активность сыворотки крови (БАСК) оценивалась с использованием в качестве тест-культуры *Escherichia coli* фотоэлектроколориметрическим методом (по Смирновой О.В. и Кузьминой Т.А., 1966) на фотометре фотоэлектрическом КФК-3-«ЗОМЗ». Обнаружение миелопероксидазы в фагоцитах и постановка лизосомально-катионного теста осуществлялись согласно методическим рекомендациям по дифференциальной диагностике, профилактике и контролю микобактериальных инфекций у животных, разработанным Н.А. Денгис и др. (2023) [6]. Оценка иммуностимулирующих свойств препарата аллокин-альфа проводилась на кафедре микробиологии, вирусологии и иммунологии ФГБОУ ВО СПбГУВМ. Полученные данные обрабатывались с помощью статистических методов в приложении Microsoft Excel 2013. Определяли среднее значение (М), ошибку средней арифметической величины ($\pm m$). Достоверность влияния факторов на показатели оценивалась t-критерием Стьюдента. Отличия считались достоверными на уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При исследовании биохимических показателей крови (табл. 1) телят больных бронхопневмонией было установлено повышение общего белка относительно контрольной группы на 15,1 % и 18,5

% у первой и второй подопытных групп соответственно. Это объясняется активацией синтеза белка в печени в ответ на воспаление, что ранее подтверждалось в исследованиях препарата иммунофан [1]. При изучении белковых фракций альбумин был достоверно снижен, в то время как глобулин повышен. Такая картина характерна для острой фазы воспалительной реакции (маркеры воспаления), но у животных, которым применяли иммуностимулятор, уровень глобулина был ближе к значениям здоровых животных контрольной группы. Можно предположить модулирующий эффект аллокина-альфа, благодаря которому на фоне воспаления белковая фракция сыворотки крови стремилась к показателям нормы.

При исследовании биохимического состава крови нами не отмечалось достоверное различие таких показателей, как мочевины, азот, билирубин, холестерин. Это может указывать на локальность патологического процесса, несмотря на острое течение бронхопневмонии.

При изучении креатинина (маркера снижения мышечной массы) отмечалось его достоверное снижение у животных обеих групп (на 16,0 % у первой и 14,8 % у второй). У больных телят отмечали снижение аппетита, что нарушило поступление белка в организм с кормом.

Повышение трансаминаз у животных исследуемых групп может свидетельствовать о поражении печени, которое ранее до эксперимента не было выявлено: так аланинаминотрансфераза (АЛТ) повышена у телят больных бронхопневмонией на 12,3 % по сравнению с контрольной группой. Аспартатаминотрансфераза (АСТ) по сравнению с контролем ниже у животных первой подопытной группы на 7,4 %, а у второй, наоборот, выше на 2,5 %, что может быть объяснено активацией глюконогенеза, связанной с необходимостью энергии для иммунокомпетентных клеток. Щелочная фосфатаза (ЩФ) как один из маркеров увеличения функциональной нагрузки на печень [1] была достоверно снижена у животных обеих подопытных групп (на 18,8 % и 17,6 % соответственно).

Таблица 1 – Сравнительная оценка биохимических показателей подопытных и контрольной групп телят до и после применения аллокин-альфа

Показатели	Контрольная группа (n=10)		Подопытная группа 1 (n=10)		Подопытная группа 2 (n=10)	
	1 день экспери-мента	7 день экспери-мента	1 день экспери-мента	7 день экспери-мента	1 день экспери-мента	7 день экспери-мента
Общий белок, г/л	71,84±1,17	63,78±2,25	82,68±2,41 [◊]	65,24±0,94	85,10±1,33 [◊]	66,68±1,51
Альбумин, г/л	45,01±0,77	34,76±0,92	38,16±1,44 ^{◊*}	35,18±0,89	46,06±0,61*	36,48±1,58
Глобулин, г/л	26,84±1,99	29,08±2,76	44,52±2,74 ^{◊*}	30,06±1,58	39,02±1,64 ^{◊*}	30,20±1,63
Мочевина, ммоль/л	4,32±0,06	4,95±0,30	4,07±0,17	5,02±1,33	4,02±0,08	4,76±0,29
Азот, ммоль/л	2,02±0,03	2,30±0,14	1,89±0,08	2,34±0,06	1,88±0,04	2,22±0,14
Креатинин, мкмоль/л	76,54±2,37	166,56±39,89	64,26±1,40 [◊]	107,86±2,22 [◊]	65,24±1,82 [◊]	104,16±2,01 [◊]
Билирубин, мкмоль/л	2,70±0,18	3,38±0,25	3,76±0,19	3,04±0,09	3,44±0,39	3,34±0,22
АЛТ, МЕ/л	22,62±0,75	28,66±0,99	21,76±0,67*	29,22±1,59*	25,40±0,63 ^{◊*}	43,60±7,40 ^{◊*}
АСТ, МЕ/л	93,94±6,15	124,46±4,23	87,01±2,99 ^{◊*}	105,83±4,76 ^{◊*}	96,26±3,45*	194,76±50,09 ^{◊*}
ЩФ, МЕ/л	367,96±19,00	374,56±22,25	298,62±23,37 [◊]	308,50±26,32 ^{◊*}	285,84±21,62 [◊]	283,62±22,12 ^{◊*}
Амилаза МЕ/л	36,32±2,96	47,46±2,72	41,76±7,04	53,34±2,75 [◊]	35,21±2,88	48,54±5,59
Глюкоза, ммоль/л	5,42±0,17	4,16±0,22	4,61±0,15*	4,24±0,21	6,10±0,15*	4,00±0,25
Холестерин, ммоль/л	3,15±0,20	1,43±0,09	3,07±0,13	1,68±0,05	2,76±0,23	1,33±0,09
Кальций, ммоль/л	2,57±0,06	2,66±0,03	2,44±0,03	2,47±0,05	2,54±0,08	2,47±0,02
Фосфор, ммоль/л	2,98±0,08	3,21±0,13	2,97±0,08	2,84±0,19	2,77±0,13	3,16±0,09
Са-Р отношение	0,87±0,02	0,84±0,04	0,82±0,02	0,91±0,07	0,94±0,06	0,79±0,03

Примечание: * - достоверны отличия группы 2 от группы 3, $p < 0,05$

[◊] - достоверны отличия группы 1 от группы 2, $p < 0,05$

[◊] - достоверны отличия группы 1 от группы 3, $p < 0,05$.

Таблица 2 – Сравнительная оценка иммунологических показателей подопытных и контрольной групп телят до и после применения аллокин-альфа

Показатели	Контрольная группа (n=10)			Подопытная группа 1 (n=10)			Подопытная группа 2 (n=10)		
	1 день эксперимента	7 день эксперимента	15 день эксперимента	1 день эксперимента	7 день эксперимента	15 день эксперимента	1 день эксперимента	7 день эксперимента	15 день эксперимента
БАСК, %	59,08±4,86	68,73±7,04	77,22±3,53	23,45±13,89	40,96±18,33	60,29±5,13	54,54±7,28	68,06±5,13	75,63±2,76
Миелопероксидаза (СЦК), усл.ед.	2,14±0,03	2,06±0,03	2,10±0,46	2,87±0,03 [◊]	2,65±0,04 [◊]	2,40±0,03	2,85±0,02 [◊]	2,63±0,04 [◊]	2,26±0,02
Лизоомально-катионные белки (СЦИК), усл.ед.	1,97±0,04	1,98±0,02	1,89±0,05	2,86±0,03 [◊]	2,67±0,04 [◊]	2,54±0,03 [◊]	2,80±0,02 [◊]	2,41±0,04	2,38±0,05
Фагоцитарный индекс, усл.ед.	6,24±0,24	6,24±0,32	6,27±0,20	6,27±0,26	7,44±0,35	5,25±0,24	7,04±0,27	8,14±0,22 [◊]	6,14±0,27
Фагоцитарная активность, %	10,38±0,25	10,18±0,41	9,64±0,45	16,34±2,05 [◊]	15,82±0,43 ^{◊*}	11,02±0,36	15,90±0,89 [◊]	17,06±0,58*	10,28±0,28
Фагоцитарное число, усл.ед.	65,19±8,09	61,77±3,19	66,80±4,53	43,91±5,25 [◊]	47,36±2,72 [◊]	48,14±2,81 ^{◊*}	46,68±3,27 [◊]	48,27±2,27 [◊]	60,19±3,24 ^{◊*}

Примечание: * - достоверны отличия группы 2 от группы 3, $p < 0,05$
[◊] - достоверны отличия группы 1 от группы 2, $p < 0,05$
[◊] - достоверны отличия группы 1 от группы 3, $p < 0,$

Значение глюкозы достоверно различалось между подопытными группами на 32,3 %. Это объясняется сдвигом энергетического обмена на фоне острого воспаления при поражении респираторного тракта.

Результаты оценки клеточного иммунитета исследуемых животных контрольной и подопытных групп в динамике представлены в таблице 2. Достоверных различий бактерицидной активности сыворотки крови у животных контрольной и подопытных групп не выявлено.

При сравнении показателей клеточного иммунитета в начале эксперимента выявлено достоверное различие показателя миелопероксидазы в фагоцитах между контрольной и подопытными группами: у телят подопытной группы этот показатель был выше на 34,1 %, у второй подопытной группой – на 33,2 %. Повышение уровня миелопероксидазы у телят подопытных групп свидетельствует о повышении активности фагоцитов, что говорит об остром воспалении.

Повышение уровня лизосомально-катионных белков в фагоцитах телят двух подопытных групп в начале исследования (на 45,2% и 42,1% соответственно) по сравнению с показателем контрольной группы свидетельствует о анаэробном пути уничтожения бактерий фагоцитами.

Исходное достоверное усиление фагоцитарной активности у больных животных (на 57,4% у первой подопытной группы и 53,2% у второй) свидетельствует о гиперэргическом воздействии инфекции на клеточное звено иммунитета на фоне острой бронхопневмонии. Выявлено достоверное различие фагоцитарного числа в начале эксперимента между контрольной и первой подопытной группой – отмечалось снижение данного показателя на 32,6 %, между контрольной и второй подопытной группой – на 28,4 %. Такая картина отражает истощение пула циркулирующих в крови фагоцитов, что является следствием острого воспаления и массовой миграцией фагоцитов в его очаг.

Как было отмечено выше, по окончании терапии среди животных первой под-

опытной группы, которым в составе комплексного лечения не применялся иммуностимулятор, у трех особей сохранялся сухой редкий кашель и хрипы при аускультации. Показатели белкового обмена достоверно не отличались от значений здоровых животных, что может быть объяснено этиотропным действием антимикробного препарата и патогенетическим действием противовоспалительного средства, что привело к снижению воспалительной реакции, таким образом общий уровень белков снижается, а синтез альбумина печенью восстанавливается. Креатинин по сравнению с показателем контрольной группы ниже на 35,2 %. Это объясняется сохраняющейся тенденцией к преобладанию процессов распада в организме. Нормализация уровня АЛТ при сохраняющемся повышении АСТ, а также стойкое снижение ЩФ может свидетельствовать о сохранении метаболических нарушений в организме переболевших бронхопневмонией телят. Можно предположить не до конца восстановившуюся функциональную активность печени, распад белков в скелетной мускулатуре, о чем может говорить снижение уровня креатинина, сохраняющееся иммунодефицитное состояние. Достоверное повышение амилазы может быть объяснено функциональным напряжением поджелудочной железы в связи с интоксикацией, что не отмечалось при применении аллокина-альфа.

При оценке иммунологического статуса животных в первой подопытной группе несмотря на комплексное лечение уровень миелопероксидазы всё ещё выше значений контрольной группы на 28,4 %. Это свидетельствует о снижении воспалительной реакции и сохраняющейся напряженности иммунной системы. При сравнении уровня лизосомально-катионных белков у первой подопытной и контрольной групп на 7 день эксперимента разница составляла 34,8 %, а в конце эксперимента – 34,4 %, что говорит о неокончательном удалении возбудителя и продолжающейся борьбе фагоцитов с ним. По окончании лечения у животных, которым

препарат не вводился, продолжает наблюдаться усиление фагоцитарной активности крови (выше по сравнению с контролем на 55,4 %), что может быть связано с продолжающимся острым воспалением. На 7 день эксперимента фагоцитарное число было выше на 23,3 %, а на 15 день эксперимента – на 27,9 %. Несмотря на комплексную терапию у животных первой подопытной группы всё ещё не восстановлен пул фагоцитарных клеток, в то время как выраженная положительная динамика у животных второй подопытной группы говорит о нормализации данного звена клеточного иммунитета.

Среди больных животных, которым в составе комплексной терапии применялся иммуностимулятор, в конце лечения отмечали у одной особи сухой периодический кашель и хрипы. Как и у первой подопытной группы нами не регистрировались достоверные отличия показателей белкового обмена у больных и здоровых животных. Процентное содержание глобулина у животных второй подопытной группы было ближе к показателям здоровых животных (1,1 % против 2,6 %), что можно связать с модулирующим эффектом аллокина-альфа, при котором белковая фракция сыворотки крови стремилась к показателям нормы. Нами также отмечался сниженный уровень креатинина (на 37,5 %), что, как и в первой подопытной группе, может быть объяснимо преобладанием процессов катаболизма в организме животных, перенесших бронхопневмонию.

При исследовании АЛТ нами отмечалось достоверное повышение данного показателя в конце введения иммуностимулятора – на 52,1 %. Это объясняется нарушением функциональной активности печени после острого течения бронхопневмонии. АСТ выше по сравнению с контролем на 56,5 %. При сопоставлении данного показателя на фоне роста АЛТ можно предположить, что при сохраняющемся поражении печени организм животных нуждается в энергии. Как и у первой подопытной группы, уровень ЩФ в конце лечения у телят был повышен.

Нами не регистрировалось достоверное различие кальция, фосфора и их соотношения, что указывает на отсутствие негативного влияния острой воспалительной реакции при бронхопневмонии и применяемой комплексной терапии на минеральный обмен.

При иммунологическом исследовании животных различие между контрольной и второй подопытной группами при исследовании уровня миелопероксидазы составило 27,7 %. При сравнении уровня лизосомально-катионных белков у первой подопытной и контрольной групп на 7 день эксперимента разница составляла 21,7 %, а в конце эксперимента – 25,9 %, что, как и у животных первой подопытной группы, свидетельствует о продолжающейся элиминацией возбудителя из организма. Несмотря на статистическую незначимость различия между подопытными группами у второй подопытной группы применение иммуностимулятора способствует более быстрой нормализации фагоцитарного звена клеточного иммунитета. Фагоцитарный индекс был достоверно повышен на 30,4 %, что указывает на стимулирование аллокином-альфа функциональной активности фагоцитов.

По окончании курса иммуностимулятора у животных второй подопытной группы фагоцитарная активность повышена на 7,8 %, что свидетельствует о нормализации фагоцитарного звена аллокином-альфа (восстановленный показатель стремится к значению здоровых животных). На 7 день эксперимента различие фагоцитарного числа было выше на 21,9 % (против 23,3 % у первой подопытной группы), что свидетельствует о положительной динамике терапии в обеих группах, но более выраженное улучшение во второй подопытной группе может быть связано с иммуностимулирующим действием аллокина-альфа. В конце эксперимента регистрировалось достоверное различие данного показателя на 27,9 %, 9,9%, а между двумя подопытными группами – 25,0 %.

На основании рассмотренных нами параметров клеточного иммунитета мож-

но сказать, что аллокин-альфа избирательно действует на клеточное звено иммунной защиты, в то время как гуморальное звено (бактерицидная активность сыворотки крови) у исследуемых групп достоверно не различалась. Аллокин-альфа не просто стимулировал клеточный иммунитет, а нормализовал регистрируемые нами отклонения. Изначально повышенные или пониженные показатели стремились к значениям контрольной группы.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, анализ иммунологических и биохимических показателей телят с бронхопневмонией показал, что применение аллокин-альфа в составе комплексной терапии оказывает выраженное корректирующее действие на клеточное звено иммунитета, приводя к ускорению восстановления защитной функции организма животных благодаря усилению функциональной активности фагоцитов. Также применение иммуностимулятора оказывало положительное влияние на энергетический и белковый обмены. Нами не регистрировалось влияние аллокина-альфа на показатели печени. У телят, переболевших бронхопневмонией, в конце эксперимента отмечалось повышение уровня трансаминаз и щелочной фосфатазы при сохраняющейся функциональной недостаточности печени. Таким образом, подводя итоги всему вышесказанному, мы можем рекомендовать создание препарата ветеринарного применения на основе аллоферона и дальнейшее его использование в составе комплексной терапии болезней респираторного тракта крупного рогатого скота.

THE EFFECT OF THE ALLOKIN-ALPHA IMMUNOSTIMULATOR ON BIOCHEMICAL AND IMMUNOLOGICAL BLOOD PARAMETERS OF CALVES

Sukhinin A.A. – Doctor of Biology Sciences, Professor, Head of the Department microbiology, virology and immunology (ORCID 0000-0002-1234-3440); **Stepanova N.A.*** – postgraduate student of the Department microbiology, virology and immunology (ORCID 0009-0006-9374-8545).

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* nas2001@list.ru

ABSTRACT

Bronchopneumonia of calves associated with the immunological immaturity of the body, causes serious damage to industrial cattle breeding. Due to the increasing antibiotic resistance of bronchopneumonia pathogens, alternative treatment methods are becoming more relevant including immunostimulants in particular allokin-alpha, which mechanism of action is to switch the mechanism of the immune response from humoral to cellular. The aim of the study was to study the effect of the immunostimulator allokin-alpha on the biochemical and immunological parameters of the blood of calves with bronchopneumonia. The research conducted in the spring period in a breeding plant in the Leningrad region on calves of the Holstein breed at three months of age and on basis of the Department of Microbiology, Virology and Immunology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education. Total protein, albumin, globulin, urea, nitrogen, creatinine, bilirubin, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase, amylase, glucose, cholesterol, calcium, phosphorus and their ratios measured in the blood of calves. Among the immunological parameters, such parameters as bactericidal activity of blood serum, myeloperoxidase, lysosomal cationic proteins, and phagocytic activity evaluated. The use of an immunostimulator accelerates the restoration of immune system functions. Thus, the level of myeloperoxidase remains elevated by only 27,7 % relative to the control, whereas in animals without an immunostimulator this indicator is 28,4 %. Phagocytic activity significantly increased by 30,4 %, but it was approaching normal values, unlike in the first group (55,4 % higher). When allokin-alpha is used in sick animals, there is a lower protein deficiency (the percentage of globulin content is close to the norm in healthy animals, 1,1 % higher), but liver damage persists (increased

transaminases). These changes indicate a gradual recovery of the general condition of the body after the disease.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шахов А.Г. Влияние иммуномодуляторов синтетического и бактериального происхождения на гемоморфологический и биохимический статус телят-гипотрофиков // А.Г. Шахов, Ю.Н. Алехин, А.В. Голубцов, Л.Ю. Сашнина, Т.А. Ерина, О.В. Пригородова / Ветеринария. – 2014. – № 4. – С. 18-25.
2. Жуков М.С., Цитокиновый профиль у новорожденных телят, перенёсших антенатальную и интранатальную гипоксию // М.С. Жуков, П.А. Паршин, Ю.Н. Алехин, И.Т. Шапошников, Ю.Н. Бригадиров / Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 1. – С. 326-332.
3. Гумберидзе М.М. Эффективность препарата «Аллокин-альфа» при Алеутской болезни норки : диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук // ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». Санкт-Петербург, – 2023. – 145 с.
4. Витковский М.И. Особенности клинико-морфологического проявления бронхопневмонии у телят / М.И. Витковский, Е.Г. Турицына // Вестник КрасГАУ. – 2018. – №6 (141). – С. 80-83.
5. Глотов А.Г. Влияние колострального иммунитета на эффективность вакцинации телят против вирусных инфекций (обзор литературы) / А.Г. Глотов, Т.И. Глотова / Ветеринария. – 2019. – №6. – С. 3-11.
6. Глотов, А.Г. Этиология бронхопневмонии крупного рогатого скота на молочных комплексах / А.Г. Глотов, Т.И. Глотова, О.В. Семенова, К.В. Войтова // Ветеринария. – 2014. – №4. – С. 7-11.
7. Денгис Н.А. Дифференциальная диагностика, профилактика и контроль микобактериальных инфекций у животных: методические рекомендации // Н.А. Денгис, Е.А. Кособоков, В.С. Власенко, Н.Н. Новикова / Омск : ФГБНУ «Омский АНЦ». – 2023. – 20 с.
8. Ершов Ф.И. Влияние терапии «аллокином-альфа» на течение рецидивов хронического генитального герпеса // Ф.И. Ершов, А.А. Кубанова, Б.В. Пинегин, А.Е. Шульженко, Г.П. Беккер, С.И. Черныш, Л.В. Бугаев / MATERIA MEDICA. – 2003. – №4. – С. 103-111.
9. Иванова С.Ф. Применение иммуномодулятора «Бестим» в комплексной терапии бронхопневмонии телят с целью коррекции иммунного статуса / С.Ф. Иванова, А.А. Сухинин // Актуальные проблемы ветеринарной фармакологии, токсикологии и фармации : Материалы III Съезда фармакологов и токсикологов России, Санкт-Петербург, 09–10 июня 2011 года / Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины. – 2011. – С. 206-207.
10. Инструкция по медицинскому применению препарата аллокин-альфа [Электронный ресурс] : Allokin.ru. Режим доступа : <https://allokin.ru/information/instructions/?ysclid=m69qift54r976323498> (дата обращения: 05.02.2026).
11. Калюжный И.И. Влияние состояния агроэкосистемы на формирование стационарного неблагополучия по болезням молодняка крупного рогатого скота // И.И. Калюжный, Ю.В. Калинкина, А.А. Федорин, В.Н. Чучин, М.С. Жуков/ Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2016. – № 8. – С. 19-26.
12. Киянчук М.В. Оценка эффективности ингаляционного применения препаратов бактериофагов при бронхопневмонии, ассоциированной с *Klebsiella pneumoniae* // М.В. Киянчук, А.А. Сухинин / Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 3. – С. 31-33.
13. Кузьмин В.А. Производственные испытания препарата Фумийод для лечения молодняка животных с респираторными болезнями / В. А. Кузьмин, Л. С. Фогель, А. А. Сухинин [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 3. – С. 41-45.
14. Кукес В.Г. Клиническая фармакология иммуотропных препаратов // В.Г. Кукес, Д.А. Сычев / Москва : ГЭОТАР-Медиа. – 2020. – 432 с.
15. Макавчик С.А. Эффективность Ази-

циклина при респираторных инфекциях телят бактериальной этиологии // С. А. Макавчик, А. А. Сухинин, С. В. Енгашев, Е. С. Енгашева / Ветеринария. – 2020. – № 5. – С. 24-27.

16. Маснабиева Л.Б. Вариабельность показателей иммунной системы при различной ингаляционной нагрузке диоксидом азота воздушной среды // Л.Б. Маснабиева, И.В. Кудаева / Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2018. – № 42. – С. 192-206.

17. Пудовикин Д.Н. Болезни молодняка крупного рогатого скота: практические рекомендации : учебное пособие // Д. Н. Пудовкин, С. В. Щепеткина, Л. Ю. Карпенко О. А. Ришко / Санкт-Петербург : СПбГАВМ. – 2019. – 184 с.

18. Сисягина Е.П.. Разработка средств и способов терапии и профилактики респираторных болезней телят : диссертация ... доктора ветеринарных наук : 06.02.02 // Нижегород. гос. с.-х. акад. Нижний Новгород. – 2010. – 317 с.

19. Сухинин А.А. Влияние иммуностимулятора Аллокин-альфа на клиникогематологические показатели телят // А.А. Сухинин, М.С. Борисова, Н.А. Степанова / Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 3. – С. 13-22.

20. Сухинин А.А. Этиологическая структура респираторных болезней крупного рогатого скота в Северо-Западном регионе / А. А. Сухинин, С. А. Макавчик, С. В. Герасимов, О. В. Прасолова // Ветеринария. – 2015. – № 12. – С. 21-23

REFERENCES

1. Shakhov A.G. Influence of immunomodulators of synthetic and bacterial origin on the hemomorphological and biochemical status of hypotrophic calves // A.G. Shakhov, Yu.N. Alyokhin, A.V. Golubtsov, L.Y. Sashnina, T.A. Erin, O.V. Prigorodova / Veterinary medicine. - 2014. – №4. – P. 18-25. (In Russ.)

2. Zhukov M.S.. Cytokine profile in newborn calves undergoing antenatal and intranatal hypoxia // M.S. Zhukov, P.A. Parshin, Yu.N. Alyokhin, I.T. Shaposhnikov, Yu.N. Brigadirov / International Bulletin of

Veterinary Medicine. - 2025. – № 1. – P. 326-332. (In Russ.)

3. Gumberidze M.M. Efficacy of «Allokin-alpha» in Aleutian disease of minks: dissertation for the degree of Candidate of Veterinary Sciences / Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine». Saint Petersburg, – 2023. – 145 p. (In Russ.)

4. Vitkovsky M.I. Clinical and morphological features of bronchopneumonia in calves / M.I. Vitkovsky, E.G. Turitsyna // Vestnik KrasGAU. – 2018. №6 (141). – P. 80-83. (In Russ.)

5. Glotov A.G. Influence of colostral immunity on vaccination efficacy against viral infections in calves (literature review) // A.G. Glotov, T.I. Glotova / Veterinary. – 2019. – №6. – P. 3–11. (In Russ.)

6. Glotov A.G. Etiology of bovine bronchopneumonia on dairy complexes / A.G. Glotov, T.I. Glotova, O.V. Semenova, K.V. Voytova // Veterinary. –2014. – № 4. – P. 7-11. (In Russ.)

7. Dengis N.A. Differential diagnosis, prevention and control of mycobacterial infections in animals: methodological recommendations // N.A. Dengis, E.A. Kosobokov, V.S. Vlasenko, N.N. Novikova / Omsk : FGBNU "Omsk ANTS". – 2023. – 20 p. (In Russ.)

8. Ershov, F.I. Effect of «Allokin-alpha» therapy on the course of chronic genital herpes recurrences / F.I. Ershov, A.A. Kubanova, B.V. Pinegin, A.E. Shulzhenko, G.P. Bekker, S.I. Chernysh, L.V. Bugaev // MATERIA MEDICA. – 2003. – №4. – P. 103-111 (In Russ.)

9. Ivanova S.F. Use of immunostimulant «Bestim» in complex therapy of calf bronchopneumonia for immune status correction // S.F. Ivanova, A.A. Sukhinin / Actual problems of veterinary pharmacology, toxicology and pharmacy: Proceedings of the 3rd Congress of Pharmacologists and Toxicologists of Russia. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, 2011. – P. 206–207. (In Russ.)

10. Instructions for medical use of the drug allokin-alpha [Electronic resource] :

- Allokin.ru . Access mode : <https://allokin.ru/information/instructions/?ysclid=m69qift54r976323498> (accessed: 05.02.2026).
11. Kalyuzhny I.I., Kalinkina Yu.V., Fedorin A.A., Chuchin V.N., Zhukov M.S. The influence of the state of the agroecosystem on the formation of inpatient distress due to diseases of young cattle. / Veterinary, animal science, and biotechnology. - 2016. - №8. - P. 19-26. (In Russ.)
12. Kiyanchuk M.V. Evaluation of inhalation bacteriophage efficacy in bronchopneumonia associated with *Klebsiella pneumoniae* // M.V. Kiyanchuk, A.A. Sukhinin / Legal regulation in veterinary medicine. - 2024. - №3. - P. 31-33. (In Russ.)
13. Kuzmin V.A. Field trials of Fumiyod for treatment of young animals with respiratory diseases // V.A. Kuzmin, L.S. Fogel, A.A. Sukhinin [et al.] / International bulletin of Veterinary Medicine. - 2020. - №3. - P. 41-45. (In Russ.)
14. Kukes V.G. Clinical pharmacology of immunotropic drugs // V.G. Kukes, D.A. Sychev / Moscow: GEOTAR-Media, 2020. - 432 p. (In Russ.)
15. Makavchik S.A. Efficacy of Azicycline in respiratory infections of bacterial etiology in calves // S.A. Makavchik, A.A. Sukhinin, S.V. Engashev, E.S. Engasheva / Veterinary. - 2020. - №5. - P. 24-27. (In Russ.)
16. Masnavieva L.B. Variability of immune system parameters under various inhalation loads of nitrogen dioxide in the air // L.B. Masnavieva, I.V. Kudaeva / Bulletin of Tomsk State University. Biology. - 2018. - № 42. - P. 192-206. (In Russ.)
17. Pudovikin D.N. Diseases of young cattle: practical recommendations // D.N. Pudovikin, S.V. Shchepetkina, L.Yu. Karpenko, O.A. Rishko / Saint Petersburg: SPbSUVM, 2019. - 184 p. (In Russ.)
18. Sisyagina E.P. Development of means and methods for therapy and prevention of respiratory diseases in calves: dissertation ... Doctor of Veterinary Sciences: 06.02.02 / E.P. Sisyagina. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2010. - 317 p. (In Russ.)
19. Sukhinin A.A. The effect of the Allokin-alpha immunostimulator on the clinical and hematological parameters of calves // A.A. Sukhinin, M.S. Borisova, N.A. Stepanova / International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2025. - No. 3. - P. 13-22. (In Russ.)
20. Sukhinin A.A. Etiological structure of respiratory diseases in cattle in the Northwestern region // A.A. Sukhinin, S.A. Makavchik, S.V. Gerasimov, O.V. Prasolova / Veterinary. - 2015. - №12. - P. 21-23. (In Russ.)

УДК: 619:578.833.31:578.825.1

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.38

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ПЦР В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОЙ ИНДИКАЦИИ ВИРУСОВ КЛАССИЧЕСКОЙ ЧУМЫ СВИНЕЙ И БОЛЕЗНИ АУЕСКИ

Хаммадов Н.И.^{1,2*} – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5669-1486), Горбунова М.Е.¹ – канд. биол. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0002-0707-2117), Сальманова Г.Р.¹ – мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-2356-133X), Громова Е.А.¹ – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-0416-6193), Усольцев К.В.¹ – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5279-9836), Галеева А.Г.^{1,2} – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-2650-6459), Спиридонов Г.Н.¹ – доктор биол. наук, гл. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-3558-3667), Шангараев Р.И.¹ – канд. ветеринар. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0003-3689-1442)

¹ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности»

²ФГБОУ ВО Казанский ГАУ Институт "Казанская академия
ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана"

* nikhammadov@mail.ru

Ключевые слова: классическая чума свиней, болезнь Ауески, олигонуклеотиды, диагностика, ПЦР

Keywords: classical swine fever, Aujeszki's disease, oligonucleotides, diagnosis, PCR

Финансирование: 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 № 4/2025-ПД-ВНИВИ).

Поступила: 02.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Особое внимание при проведении профилактических мероприятий, а также оперативных действий в случае возникновения вспышек классической чумы свиней (КЧС) и болезни Ауески (БА) следует уделять разработке и внедрению инновационных методов диагностики, что позволит своевременно выявлять и локализовать очаги инфекции. Целью данной работы являлось конструирование мультиплексной ПЦР-РВ тест-системы для диагностики классической чумы свиней и болезни Ауески. С помощью биоинформационного анализа нуклеотидных последовательностей вируса КЧС и возбудителя БА, обнаружены наибо-

лее перспективные участки для индикации данных патогенов – размером 139 пар нуклеотидов (п.н.) расположенный в области генома вируса КЧС и 135 п.н. в области генома БА. Исходя из вариабельности нуклеотидных последовательностей выбранных регионов сконструированы олигонуклеотиды, пригодные для индикации искомых вирусов методом ПЦР-РВ в одной пробирке, используя разные каналы флуоресценции. Для каждой из созданных комбинаций олигонуклеотидов с использованием специально разработанного положительного контроля, который представляет собой генетическую конструкцию плазмидной ДНК (5827 п.н.), содержащую маркеры для обнаружения всех определяемых вирусов и образцов РНК/ДНК, полученных из биологического материала свиней, были проведены моно- и мультплексные реакции. На основании полученных результатов определена программа амплификации и оптимальный состав реакционной ПЦР-РВ смеси. Установлено, что каждому биологическому патогену соответствовала индивидуальная флуоресцентная метка. Чувствительность разработанного ПЦР-РВ теста для диагностики КЧС и БА может достигать – 4 копии ДНК в реакционной смеси. При апробации способа мультплексной ПЦР-РВ с использованием штаммов «ШиМынь» вируса КЧС и «Арский» возбудителя БА был получен следующий результат – рост сигнала флуоресценции по каналу ROX (Ct – 18,3) для КЧС и по каналу R6G (Ct – 22,6) – БА. Таким образом, нами продемонстрирована возможность проведения одновременной ПЦР для выявления геномов искомых возбудителей.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Для свиноводства Российской Федерации вспышки классической чумы и болезни Ауески представляют серьезную проблему [1, 2] согласно решению Международного эпизоотического бюро, относясь к категории опасных болезней, которые должны находиться под строгим регулярным контролем ветеринарной службы [2].

Классическая чума свиней (КЧС), представляет собой высококонтагиозное инфекционное заболевание, возбудителем которого является *Pestivirus C*, поражающий всех представителей семейства *Suidae*. Болезнь характеризуется острым течением с развитием септического процесса и геморрагическим диатезом, при подостром и хроническом – изменениями в легочной ткани и толстом кишечнике, что обуславливает клиническую картину и патоморфологические проявления [3, 4]. По данным ФГБУ ВНИИЗЖ ИАЦ Управления ветнадзора на 2025 г случаев заболевания среди свиней на территории РФ не выявлено, ситуация благополучная на фоне массовой профилактической вакцинации. На сегодняшний день для вакцинопрофилактики применяются живые вакцины, а также ведутся работы по созданию рекомбинантных антигенов виру-

са КЧС [5, 6].

Болезнь Ауески (БА) характеризуется энзоотическим вирусным заболеванием свиней и других домашних, а также диких животных с высокой летальностью [7]. С 2014 года в Российской Федерации не зафиксировано официально зарегистрированных вспышек БА среди домашних свиней. Тем не менее, серопозитивные случаи в дикой и домашней популяции животных выявляются ежегодно, что свидетельствует о продолжающемся присутствии патогена в экосистеме [8]. Возбудителем данной инфекции является герпесвирус из семейства *Herpesviridae*, подсемейства *Alphaherpesvirinae*, носителями которого также могут быть домашние и дикие плотоядные, к резервуарным хозяевам относятся мелкие грызуны, еноты [9]. Инфекция клинически проявляется поражением органов центральной нервной системы, абортами, респираторными явлениями. Также стоит отметить, что переболевшие свинья пожизненно являются латентными носителями вируса, представляя опасность для здорового поголовья [10].

Основными методами контроля и борьбы с КЧС и БА кроме вакцинации является быстрая и точная постановка диагноза при выявлении животных-

вирусоносителей. Для лабораторной диагностики КЧС используют методы иммунофлюоресценции, так же известный как метод флуоресцирующих антител (МФА), иммуноферментный анализ (ИФА) и полимеразную цепную реакцию (ПЦР). Несмотря на отсутствие заболеваемости КЧС, использовании различных методов диагностики и наличии тест-наборов, проблема индикации вируса все также остается актуальной. Сложность заключается в необходимости дифференциации КЧС от других патогенов рода *Pestivirus*, например, такого как вирус вирусной диареи крупного рогатого скота и близкородственных возбудителей, вызывающих схожие заболевания у животных. Для лабораторной диагностики БА применяют серологический (ИФА), молекулярно-биологический метод (ПЦР) и биологическую пробу, некоторые, из которых являются достаточно трудоемкими и длительными, а также другие иммунологические реакции (РНГА), которые в свою очередь также имеют ряд существенных недостатков: невысокую чувствительность и возможность перекрестных реакций.

Для эффективной, достоверной прижизненной диагностики и качественного мониторинга всего поголовья животноводческого хозяйства оптимально подходят методики, основанные на генетических исследованиях, а именно применение ПЦР. Оптимально и более перспективно применение мультиплексной ПЦР для выявления генетического материала сразу двух вирусов в одной реакции.

В связи с вышеизложенным, разработка современных комплексных методов диагностики данных заболеваний свиней является актуальной проблемой современной науки и практики.

Цель работы являлось конструирование мультиплексной ПЦР-РВ тест-системы для диагностики классической чумы свиней и болезни Ауески.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Нуклеотидные последовательности изолятов вируса КЧС, возбудителя БА и гена *TNF Sus scrofa* определены путем поисковых запросов баз данных ресурсов

NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Множественное выравнивание, дизайн олигонуклеотидов и положительного контрольного образца ПКО осуществляли с использованием программы Vector NTI 9.1 (Invitrogen Corporation) как было описано ранее [1, 11]. Олигонуклеотидные праймеры, зонды, ПКО синтезированы в ЗАО «Евроген» (Россия).

В работе использовали цельную кровь свиньи, высокопатогенный штамм «Ши-Мынь» вируса КЧС (Государственная коллекция микроорганизмов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»), культивированный на перевиваемой культуре клеток эмбриональных почек свиньи (SPEV, 473 пассаж), с инфекционным титром не менее $6,5 \lg \text{ ККИД } 50/\text{см}^3$ и штамм «Арский» возбудителя БА (Государственная коллекция микроорганизмов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»). Для инактивации штамма «Ши-Мынь» вируса КЧС применяли 0,025%-ный β -пропиолактон («Sigma», США) который инкубировали при температуре 4°C в течение суток. Выделение РНК/ДНК проводили с использованием коммерческого набора реагентов «Рибо-преп» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия). При поставке ПЦР-РВ применяли готовую реакционную смесь «5x qPCRmix-HS SYBR» (ЗАО «Евроген», Россия) и MMLV – обратная транскриптаза (ЗАО «Евроген», Россия). Для подтверждения полученных результатов использовали метод классической ПЦР с дальнейшей визуализацией продуктов амплификации в 1,5 % агарозном геле, маркер длин ДНК 100 + bp DNA Ladder» (ЗАО «Евроген», Москва)

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Полимеразная цепная реакция благодаря высокой чувствительности, специфичности может являться одним из наиболее эффективных лабораторных методов диагностики как КЧС, так и БА. Одним из основных этапов при разработке диагностических ПЦР тест-систем является подбор наиболее консервативного локуса генома возбудителя с целью дизайна специфических олигонуклеотидных праймеров и зонда. Для этой цели необхо-

димо изучить геном данного возбудителя и определить уникальные его участки.

На сегодняшний день (30.05.2025 г) в базу данных GenBank депонирована информация о 4700 нуклеотидных последовательностях гена вируса КЧС и 1898 последовательностей возбудителя БА. Геном вируса КЧС представлен одноцепочечной РНК длиной приблизительно 12,3 тыс. нуклеотидов [12, 13], что представляет уникальную возможность для проведения полногеномного анализа, направленного на выявление специфических локусов, пригодных для индикации данного возбудителя. В рамках данного исследования при разработке олигонуклеотидов задействовали пять полногеномных последовательностей вируса КЧС, сохраненных из базы данных GenBank, которые представляют собой информацию о генетическом материале штаммов JSZL, HuN23/2013, Riems, Shimen/HVRI и зарегистрированы различными учеными под следующими идентификаторами – KT119352, KP233071, AY259122, AY775178 соответственно, и NC 002657. Использование данных последовательностей в анализе позволяет провести всесторонний анализ генетического разнообразия вируса КЧС, что является важным для разработки эффективных стратегий профилактики и контроля данного заболевания. По результатам множественного выравнивания указанных выше изолятов КЧС было установлено, что наиболее

перспективным участком для амплификации данного возбудителя является маркерный локус размером 138 пар нуклеотидов (п.н.) расположенный в области генома от 68 до 206 п.н. (обозначение относительно штамма AY775178).

Для подбора генов и локусов ДНК, пригодных для использования при индикации вируса БА из базы данных GenBank были сохранены семь нуклеотидных последовательностей возбудителя, которые имели следующие идентификационные номера: Y15446, E05619, AF176491, AF176494, MN590203 MN443968 и Y14834. Данные последовательности по предварительному BLAST-анализу характеризовались низкими показателями вариабельности среди нуклеотидных последовательностей искомого вируса, наряду с минимальной гомологией с ДНК гетерогенных организмов. Проведенное множественное выравнивание анализируемых нуклеотидных последовательностей генома БА показало, что наиболее перспективным для дизайна олигонуклеотидных затравок для ПЦР-РВ является участок размером 135 п.н в области от 121057 по 121192 п.н. (относительно Y14834 (gp50 gene)).

Далее в пределах установленных специфических локусов для вируса КЧС и возбудителя болезни Ауески сконструировали олигонуклеотидные праймеры и зонды (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика разработанных олигонуклеотидов

Название праймера	Позиция в нуклеотидной последовательности, п.н.	Нуклеотидная последовательность
вирус классической чумы свиней (GenBank: AY775178)		
КЧС F	69 – 85	cccctccagcgacggcc
КЧС R	175 – 201	cacgtcgaaactactgacgactgtcctg
КЧС P	148 – 178	(ROX)ctccctgggtggtctaagtcctgagtagcagg(BHQ2)
возбудитель болезни Ауески (GenBank: Y14834)		
Auesky F	121057-121076	cactcacctgccagcgccat
Auesky R	121171-121192	gccacgactcgggtgtacgggta
Auesky P	121089-121108	(R6G)cgctattggcggcgctggtcg(BHQ2)

Представленные в таблице 1 олигонуклеотиды характеризовались оптимальными для ПЦР-РВ параметрами: по содержанию ГЦ-пар для КЧС F, КЧС R и КЧС P – 82,4, 55,6 и 58,1 % и Auesky F, Auesky R и Auesky P – 65, 63,6 и 71,4 %, соответственно; минимальное и максимальное значение температуры плавления для олигонуклеотидов КЧС составило от 60,6 до 62 оС, Auesky – от 59,8 до 60,6 оС; не образуют тугоплавких шпилек со свободной энергией Гиббса менее – 1,1 ккал/моль.

В состав любой системы для проведения ПЦР обязательно входят два контрольных образца: положительный (ПКО) и отрицательный (ОКО), которые необходимы для проверки корректности работы реакционной смеси [14]. Следует отметить, что при проведении ПЦР в случаях выявления РНК-содержащих вирусов, например, возбудителя КЧС, методом обратной транскрипции с последующей ПЦР (ОТ-ПЦР) отсутствует возможность контроля стадии обратной транскрипции, что может привести к ложноотрицательным результатам. Для решения данной проблемы в ПЦР-диагностике широко используется внутренний контрольный образец (ВКО), который представляет собой препарат ДНК, отличный от ДНК искомого микроорганизма, что позволяет оценить эффективность амплификации комплементарной ДНК (кДНК) в каждой конкретной пробе. С этой целью нами было принято решение о применении в качестве ВКО РНК, которые в процессе жизнедеятельности производят сами животные, чей материал будет анализироваться на предмет наличия целевых генетических маркеров. Таким образом при конструировании контроля амплификации можно использовать различные биомаркеры, в том числе локусы в рамках экзонов гена цитокинов, такого как *TNF*. Для индикации участка гена *TNF* (ВКО) размером 131 п.н в области от 103 по 234 п.н. (GenBank: JF831365.1) была сконструирована следующая праймерная комбинация и зонд: Sus TNF F – gtgctcagcctcttctccttctct Sus TNF R – gggccagagggttgatgcctc. В нашем случае ви-

зуализация сигнала флуоресценции, связанного с амплификацией ВКО основано на применении красителя Sybr green, а патогенов-мишеней (КЧС и БА) флуоресцентные зонды, меченные по каналам ROX и R6G, так как реакции амплификации во всех случаях протекают одновременно в одной лунке.

Следует отметить, что разработанные праймеры для индикации КЧС и БА имеют температуру плавления от 59.8 до 62 °С, а праймеры для контроля амплификации – 55,4 °С, такая разница температур подразумевает более благоприятные условия амплификации специфичных праймеров и минимизирует влияние олигонуклеотидов для контроля амплификации на ход реакции.

При разработке ПКО была использована нуклеотидная последовательность, которая представляет собой чередование сконструированных праймеров и зондов для индикации вирусов КЧС и БА. Схематично данная вставка выглядит так: «5' КЧС F, Auesky F, КЧС P, Auesky P, КЧС R, Auesky R, 3'». Данная последовательность была синтезирована в компании «Евроген» (г. Москва) и там же клонирована в вектор рЕТ-28a+. В результате конструирования длина вектора, содержащего маркерные последовательности для индикации всех определяемых вирусов, составила 5827 п.н. Характеристика сконструированной плазмиды представлена в виде карты на рисунке 1.

После синтеза олигонуклеотидов и ПКО провели серию экспериментов с применением ПКО для разработки и оптимизации протокола ОТ-ПЦР-РВ индикации вирусов КЧС и БА в мультиплексном формате. Для определения точной температуры отжига праймеров были проведены реакции с использованием температурного градиента. Режим амплификации включал в себя диапазон температур от 55 °С до 61°С. Как отдельные, так и мультиплексные варианты ПЦР показали и высокую чувствительность к обнаружению ДНК-мишени в реакционной смеси при температуре отжига праймеров 60 °С. В дальнейшей работе приме-

няли оптимизированный температурно-временной протокол проведения реакции амплификации, состоящий обратной транскрипции при 37 °C в течение 30 мин, денатурации при 95 °C – 5 мин, 7 циклов: денатурацию ДНК – 94 °C 30 с, отжиг праймеров при 60 °C – 30 с; 35 циклов: денатурацию ДНК – 94 °C 30 с, отжиг праймеров при 60 °C – 30 с (детекция по каналам ROX, R6G, Cy5)

Оптимизированный состав реакционной смеси включал следующие компонен-

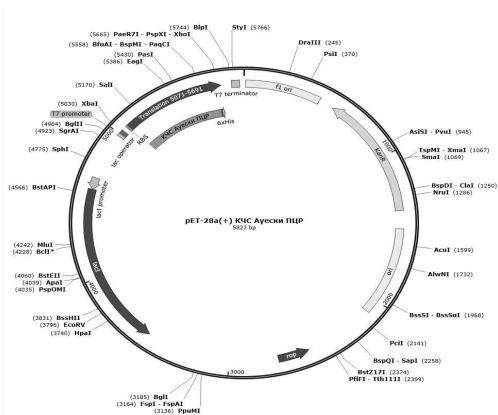


Рисунок 1 – Структура плазмидного вектора *pFLD*, содержащего маркерные последовательности для индикации вирусов КЧС и БА.

При проведении ПЦР-РВ установлено, что смесь олигонуклеотидных затравок при взаимодействии с используемыми ДНК-маркерами не препятствует накоплению специфических продуктов амплификации. Каждому биологическому патогену и ВКО соответствовала индивидуальная флуоресцентная метка: для возбудителя КЧС - канал ROX (Ct – 16,8), для БА - канал R6G (Ct – 15,2) и для ВКО канал Fam (Ct – 14,5). Для подтверждения полученных результатов применяли метод классической ПЦР с дальнейшей визуализацией продуктов амплификации в агарозном геле. По результатам анализа подтвердили, что при амплификации положительного контроля с праймерами для индикации КЧС синтезируется ампликон

ты в расчете на одну пробу: 5x gPCRmix
HS SYBR – 3 мкл, праймеры и зонды по
0,3 мкл каждого, MMLV revertase – 0,3
мкл, ДНК/ПНК – 5 мкл, H₂O – 4,3 мкл.

При проведении ПЦР-PB с использованием указанного выше протокола постановки мультиплексной ПЦР-PB происходит стабильное нарастание уровня флуоресценции по трем каналам - ROX, R6G, Cy5 (рисунок 2).

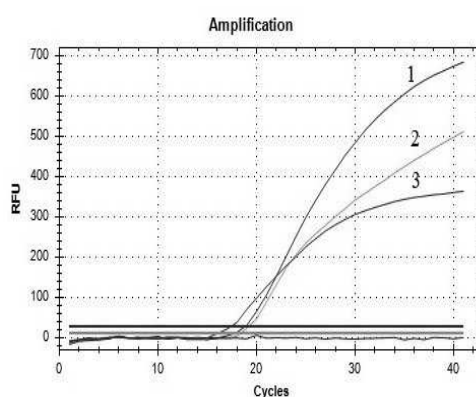


Рисунок 2 – Проверка работоспособности, разрабатываемой мультиплексной ПЦР-РВ: 1 – индикация БА, 2 – индикация КЧС, 3 – индикация ВКО.

молекулярной массой 130 п.н, для Auesky
– 100 п.н.

Также проводили оценку аналитической чувствительности ПЦР для идентификации вирусов КЧС и БА, которую определяли с использованием десятикратных разведений ПКО из начальной концентрации (7 962 038 732 молекул/мкл) до концентрации 0,08 молекул/мкл. Минимальная концентрация КЧС и БА в образце, при которой был зарегистрирован положительный результат (C_t менее 31), составляет 4 молекулы ДНК в реакционной смеси для ПЦР.

Для апробации разработанного способа мультитеплексной ПЦ-РВ использовали штаммы «ШиМынь» вируса КЧС и «Арский» возбудителя БА. При амплифи-

кации кДНК данных изолятов был получен следующий результат – рост сигнала флюоресценции по каналу ROX (Ct – 18,3) для КЧС и по каналу R6G (Ct – 22,6) – БА. Таким образом, нами продемонстрирована возможность проведения одновременной ПЦР для выявления геномов искомых возбудителей.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

С помощью биоинформационного анализа нуклеотидных последовательностей вируса КЧС и возбудителя БА, представленных в базе данных GenBank, обнаружены наиболее перспективные участки для индикации данных патогенов методом ПЦР-РВ, расположенные в следующих позициях: размером 139 п.н. в области генома вируса КЧС от 68 до 206 п.н. (обозначение относительно штамма AY775178) и размером 135 п.н. в области генома БА от 121057 по 121192 п.н. (относительно Y14834 (gp50 gene)). Исходя из вариативности нуклеотидных последовательностей выбранных регионов анализируемых штаммов, сконструированы олигонуклеотидные праймеры и зонды, пригодные для индикации искомых вирусов методом ПЦР-РВ в одной пробирке, используя разные каналы флуоресценции. Для контроля амплификации разработаны олигонуклеотидные праймеры и зонд комплементарные локусу гена *TNF*. В качестве положительного контроля сконструирована генетическая конструкция плазмидной ДНК (5827 п.н.), содержащая маркерные последовательности для индикации всех определяемых вирусов.

С каждым из разработанных наборов праймеров и зондов, разработанных для одновременной индикации КЧС и БА, проведены моно- и мультиплексные реакции. Исследования проведены с использованием сконструированного положительного контроля и образцов РНК/ДНК, выделенных из биологического материала свиньи. На основании полученных результатов определена программа амплификации и оптимальный состав реакционной ПЦР-РВ смеси. Установлено, что смесь олигонуклеотидных затравок

при взаимодействии с используемыми ДНК-маркерами не препятствует накоплению специфических продуктов амплификации.

Для апробации разработанного способа мультиплексной ПЦР-РВ использовали штаммы «ШиМынь» вируса КЧС и «Арский» возбудителя БА. При амплификации кДНК данных изолятов был получен следующий результат – рост сигнала флюоресценции по каналу ROX (Ct – 18,3) для КЧС и по каналу R6G (Ct – 22,6) – БА. Таким образом, нами продемонстрирована возможность проведения одновременной ПЦР для выявления геномов искомых возбудителей.

DEVELOPMENT OF REAL-TIME MULTIPLEX PCR FOR SIMULTANEOUS INDICATION OF CLASSICAL SWINE FEVER AND AUJESKI'S DISEASE VIRUSES

Khammadov N.I. ^{1,2} – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5669-1486), **Gorbunova M.E.** ¹ – Candidate of Biological Sciences, Researcher (ORCID 0000-0002-0707-2117), **Salmanova G.R.** ¹ – Junior Researcher (ORCID 0000-0003-2356-133X), **Gromova E.A.** ¹ – Candidate of Biological Sciences, Senior researcher (ORCID 0000-0002-0416-6193), **Usoltsev K.V.** ¹ – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5279-9836), **Galeeva A.G.** ^{1,2} – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0003-2650-6459), **Spiridonov G.N.** ¹ – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher (ORCID 0000-0003-3558-3667), **Shangaraev R.I.** ¹ – Candidate of Veterinary Sciences, Researcher, (ORCID 0000-0003-3689-1442)

¹FSBSI «Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety»

²FSBEI HE «Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman»

* nikhammadov@mail.ru

Funding: The work was carried out using a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and

other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and scientific-pedagogical staff to defend doctoral dissertations and carry out research work (Agreement dated 22.12.2025 No. 4/2025-PD-VNIVT).

ABSTRACT

Special attention should be paid to the development and implementation of innovative diagnostic methods when carrying out preventive measures, as well as operational actions in the event of outbreaks of classical swine fever (CSF) and Aujeszky's disease (AD), which will allow timely detection and localization of infection foci. The purpose of this work was to design a multiplex RT-PCR test system for the diagnosis of classical swine fever and Aujeszky's disease. Using bioinformatic analysis of the nucleotide sequences of the CSF virus and the pathogen of AD, the most promising sites for the indication of these pathogens were found – 139 pairs of nucleotides (bp) in size located in the region of the CSF virus genome and 135 bp in the region of the AD genome. Based on the variability of the nucleotide sequences of the selected regions, oligonucleotides were constructed that are suitable for indicating the desired viruses by RT-PCR in one tube using different fluorescence channels. Mono- and multiplex reactions were performed for each of the created combinations of oligonucleotides using a specially developed positive control, which is a genetic construct of plasmid DNA (5827 bp) containing markers for the detection of all detectable viruses and RNA/DNA samples obtained from pig biological material. Based on the results obtained, the amplification program and the optimal composition of the reaction RT-PCR mixture were determined. It was found that an individual fluorescent label corresponded to each biological pathogen. The sensitivity of the developed RT-PCR test for the diagnosis of CSF and AD can reach 4 copies of DNA in the reaction mixture. When testing the multiplex RT-PCR method using the strains "ShImyn" of the CSF virus and "Arsky" of the causative

agent AD, the following result was obtained – an increase in the fluorescence signal along the ROX channel (Ct – 18.3) for CSF and along the R6G channel (Ct – 22.6) for AD. Thus, we have demonstrated the possibility of simultaneous PCR to identify the genomes of the desired pathogens.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хаммадов Н.И., Горбунова М.Е., Сальманова Г.Р., Фахрутдинов Н.А., Гулюкин А.М., Галеева А.Г., Громова Е.А. Конструирование специфических праймеров для ПЦР-диагностики классической чумы. Ветеринарный врач. 2024; 3:41-46. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_3_41
2. Аноятбекова А.М., Южаков А.Г., Аноятбеков М., Алипер Т.И., Гулюкин А.М. Атипичный пестивирус свиней (Pestivirus K) — новая проблема в промышленном свиноводстве (обзор). Сельскохозяйственная Биология. 2023; 58(2):260-273. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.260rus>
3. Юсупова Г.Р. Влияние вакцины из штамма "КС" против классической чумы на иммунологические показатели свиней. Ветеринарный врач. 2008; 3:30-32.
4. Coronado L, Perera C.L., Rios L., Frías M.T., Pérez L.J. A Critical Review about Different Vaccines against Classical Swine Fever Virus and Their Repercussions in Endemic Regions. Vaccines (Basel). 2021; 15:9(2):154. <https://doi.org/10.3390/vaccines9020154>
5. Галеева А.Г., Усольцев К.В., Хаммадов Н.И., Насыров Ш.М. Дизайн антигенной композиции на основе фрагмента гликопротеина Е2 вируса классической чумы свиней. Ветеринарный врач. 2024; 1:28-33. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_1_28
6. Галеева А.Г., Ефимова М.А., Усольцев К.В., Насыров Ш.М., Хаммадов Н.И., Ахунова А.Р., Хайруллин Р.Ф., Яруллина Г.М. Экспрессия в *E. coli* маркированного рекомбинантного гликопротеина Е2 вируса классической чумы свиней. Международный вестник ветеринарии. 2024; 2:49-52. <https://doi.org/10.52419/issn2072->

2419.2024.2.49

7. Балышева В.И., Жестерев В.И., Лошманова Н.И., Баньковская Н.С., Слищук Т.Е. Ассоциированная вакцина против болезни Ауески и болезни Тешена. Ветеринария. 2011; 9: 26-27.

8. Оганесян А.С., Шибаяев М.А., Петрова О.Н., Баскакова Н.Е., Караулов А. К. Ситуационный анализ по болезням свиней: общая оценка рисков и приоритизация эпизоотических угроз для систем биозащиты свиноводческих предприятий в Российской Федерации. Ветеринария сегодня. 2024; 13 (3):82-291. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-282-29>

9. Чадаева А.А., Поволяева О.С., Лаптева О.Г., Луницин А.В., Юрков С.Г. Чувствительность культур клеток различного тканевого и видового происхождения к вирусу болезни Ауески. Ветеринария. 2021; 7:33-37. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.7.33-37>

10. Баборенко Е. П. Изучение поствакцинального иммунитета при использовании вакцин против вируса болезни Ауески свиней из маркированного штамма. Ветеринария сегодня. 2016; 4(19):49-52.

11. Усольцев К.В., Шангараев Р.И., Хаертынов К.С., Горбунова М.Е., Хаммадов Н.И., Осянин К.А., Хамидуллина А.И. Дизайн праймеров для индикации патогенных лептоспир методом гнездовой полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2025; 2:95-106. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202502111>

12. Оганесян А.С., Шевцов А.А., Щербakov А.В., Коренной Ф.И., Караулов А.К. Классическая чума свиней: ретроспективный анализ эпизоотической ситуации в Российской Федерации (2007-2021 гг.) и прогноз на 2022 г. Ветеринария сегодня. 2022; 11(3):229-238. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-3-229-238>.

13. Wang F.I., Deng M.C., Huang Y.L., Chang C.Y. Structures and Functions of Pestivirus Glycoproteins: Not Simply Surface Matters. Viruses. 2015; 29;7(7):3506-29.

<https://doi.org/10.3390/v7072783>

14. Сизикова Т.Е., Мельникова Е.В., Маношкин А.В., Петров А.А., Мельников Д.Г., Пантюхов В.Б., Лебедев В.Н., Борисевич С.В. Использование внешних и внутренних контрольных образцов при постановке полимеразной цепной реакции и обратной транскрипции полимеразной цепной реакции Клиническая лабораторная диагностика. 2013; 3:41-44.

REFERENCES

1. Khammadv N.I., Gorbunova M.E., Salmanova G.R., Fakhrutdinov N.A., Gulyukin A.M., Galeeva A.G., Gromova E.A. Design of specific primers for PCR diagnosis of classical swine fever. The Veterinarian. 2024; 3:41-46. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_3_41. (In Russ.)
2. Anoyatbekova A.M., Yuzhakov A.G., Anoyatbekov M., Aliper T.I., Gulyukin A.M. Atypical porcine pestivirus (Pestivirus K) — a new challenge for pig farming (review). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2023; 58(2):260-273. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.2.260rus>. (In Russ.)
3. Yusupova G.R. The effect of the vaccine from the "KS" strain against classical plague on the immunological parameters of pigs. A veterinarian. 2008; 3:30-32. (In Russ.)
4. Coronado L, Perera C.L., Rios L., Frías M.T., Pérez L.J. A Critical Review about Different Vaccines against Classical Swine Fever Virus and Their Repercussions in Endemic Regions. Vaccines (Basel). 2021; 15;9 (2):154. <https://doi.org/10.3390/vaccines9020154>
5. Galeeva A.G., Usoltcev K.V., Khammadv N.I., Nasyrov Sh.M. Design of antigenic composition based on partial E2 glycoprotein of classical swine fever virus. The Veterinarian. 2024; 1:28-33. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_1_28. (In Russ.)
6. Galeeva A.G., Efimova M.A., Usoltsev K.V., Nasyrov SH.M., Hammadv N.I., Akhunova A.R., Khairullin R.F., Yarullina G.M. Expression of the labeled recombinant glycoprotein E2 of the classical swine fever virus in E. Coli. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024; 2:49-52. <https://doi.org/10.3390/v202402004>

- doi.org/ 10.52419/issn2072-2419.2024.2.49. (In Russ.)
7. Baluisheva V.I., Zhesterev V.I., Loshmanova N.I., Bankovskaya N.S., Slishechuk T.Ye. Associated vaccine against Aujeszky's and Teschen diseases. *Veterinariya*. 2011; 9: 26-27. (In Russ.)
8. Oganessian A. S., Shibayev M. A., Petrova O. N., Baskakova N. Ye., Karaulov A. K. Situational analysis on porcine diseases: general risk assessment and prioritization of epizootic threats to biosecurity systems of pig establishments in the Russian Federation. *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (3): 282–291. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-282-291>. (In Russ.)
9. Chadaeva A.A., Povolyaeva O.S., Lapteva O.G., Lunitsin A.V., Yurkov S.G. Sensitivity of cell cultures of various tissue and species origin to Aujeszky's disease virus. *Veterinariya*. 2021; 7:33-37. doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.7.33-37. (In Russ.)
10. Baborenko E.P. Study of postvaccinal immunity after use of marked strain-based vaccine against Aujeszky's disease in pigs. *Veterinary Science Today*. 2016; 4(19):49-52.
11. Usoltsev K.V., Shangaraev R.I., Khaertynov K.S., Gorbunova M.E., Khammadox N.I., Osyanin K.A., Khamidullina A.I. Design of primers for indication of pathogenic leptospira by nested polymerase chain reaction in real time. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2025; 2:95-106. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202502111>. (In Russ.)
12. Oganessian A.S., Shevtsov A.A., Shcherbakov A.V., Korennoy F.I., Karaulov A.K. Classical swine fever: a retrospective analysis of the epizootic situation in the Russian Federation (2007-2021) and forecast for 2022. *Veterinary Science Today*. 2022; 11 (3):229-238. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-3-229-238>. (In Russ.)
13. Wang F.I., Deng M.C., Huang Y.L., Chang C.Y. Structures and Functions of Pestivirus Glycoproteins: Not Simply Surface Matters. *Viruses*. 2015; 29;7(7):3506-29. <https://doi.org/10.3390/v7072783>
14. Sizikova T.E., Melnikova E.V., Manoshkin A.V., Petrov A.A., Melnikov D.G., Pantyukhov V.B., Lebedev V.N., Borisevich S.V. The use of external and internal control samples in the formulation of polymerase chain reaction and reverse transcription of polymerase chain reaction Clinical laboratory diagnostics. 2013; 3:41-44. (In Russ.)

УДК: 616.98:579.834.115:636.7(470.23-25)

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.48

ОЦЕНКА ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПО ЛЕПТОСПИРОЗУ СОБАК В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Березкин В.А.^{1*} – канд. ветеринар. наук, асс. каф. эпизоотологии им. В.П. Урбана (ORCID 0000-0002-5557-1287); **Калиматова А.А.¹** – студ. 5 курса ФВМ (ORCID 0009-0004-1478-8705); **Рябико Е.Г.²** – мл. науч. сотр. лаборатории зооантропонозных инфекций (ORCID 0000-0001-8738-3021); **Токаревич Н.К.²** – д-р мед. наук, проф., зав. лабораторией зооантропонозных инфекций (ORCID 0000-0001-6433-3486); **Голодяева М.С.¹** – канд. ветеринар. наук, доц. каф. внутренних болезней животных им. А.В. Синева (ORCID 0000-0002-4059-526X); **Айдиев А.Б.¹** – канд. ветеринар. наук, доц., доц. каф. эпизоотологии им. В.П. Урбана (ORCID 0000-0002-0747-2858); **Козыренко О.В.¹** – д-р ветеринар. наук, проф., проф. каф. эпизоотологии им. В.П. Урбана (ORCID 0000-0002-8306-9219); **Кузнецов Ю.Е.¹** – д-р ветеринар. наук, доц., зав. каф. паразитологии им. Якимова В.Л. (ORCID 0000-0001-9095-7049)

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

² ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт
эпидемиологии и микробиологии им. Пастера» Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

*berezki.v@yandex.ru

Ключевые слова: лептоспироз собак, Санкт-Петербург, специфическая профилактика, реакция микроагглютинации, *Leptospira*

Keywords: canine leptospirosis, Saint Petersburg, specific prevention, microagglutination test, *Leptospira*

Поступила: 12.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 04.01.2026



РЕФЕРАТ

Лептоспироз – это зоонозное заболевание, которое в условиях мегаполиса встречается преимущественно у собак, что делает контроль и профилактику этой болезни особенно актуальными для защиты здоровья домашних животных и населения в целом. Заражение собак происходит при контакте с мочой носителей или через заражённую окружающую среду, где лептоспиры сохраняются длительное время [1]. Проведен серологический мониторинг по выявлению доминирующей серогруппы лептоспир у собак на территории Санкт-Петербурга. Установлено, что в период с 2022 по 2024 гг. преобладающей оказалась серогруппа *Icterohaemorrhagiae* (463 случая), что подтверждается высокими титрами антител до 1:1600. При анализе антител к серогруппам в ассоциации с доминирующей серогруппой наиболее часто встречались *Synopteri* (52 образца) и *Pomona* (50 образцов). Наименьшее количество находок (по 3 образца) отмечено для серогрупп *Bataviae*, *Tarassovi* и *Sejroe*. Использование вакцины против лептоспироза собак обеспечивает

защиту против некоторых серогрупп, а именно *Icterohaemorrhagiae*, *Canicola*, и *Grippytyphosa*. Однако на территории РФ отсутствуют отечественные вакцины, которые включают в свой состав следующие серогруппы: *Cynopteri*, *Pomona*, *Pyrogenes*, *Autumnalis*, *Ballum*, *Hebdomadis*, *Javanica*, *Australis*, *Bataviae*, *Tarassovi* и *Sejroe*, поэтому лептоспироз следует включать в дифференциальную диагностику у вакцинированных собак, демонстрирующих клинические признаки инфекционного заболевания. Также актуальной задачей является поиск свежих вакцинных штаммов лептоспир, так как используемые в настоящее время штаммы являются достаточно устаревшими, что могло привести к частичной потере их иммуногенных свойств. Полученные данные требуют усиления профилактических мероприятий, направленных на улучшение эпизоотической ситуации по лептоспирозу собак в Санкт-Петербурге. Для чего большое значение имеет разработка и применение поливалентных вакцин, содержащих антигены наиболее распространённых в регионе серогрупп лептоспир, а также внедрение системы регулярного серологического мониторинга среди популяции собак города.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Лептоспироз – зоонозное заболевание, вызываемое спирохетами рода *Leptospira*. У собак основной путь заражения – прямой или опосредованный контакт с мочой инфицированных животных-резервуаров (чаще грызунов). Лептоспиры проникают в кровоток через повреждённую кожу или слизистые оболочки, повреждают эндотелий сосудов и колонизируют паренхиматозные органы, прежде всего печень и почки [2]. Особенность патогенеза – длительное персистирование и выделение возбудителя с мочой, что обеспечивает его циркуляцию в природе. Болезнь отличается полиморфной, часто тяжёлой клинической картиной с риском летального исхода [3].

Основные резервуарные хозяева – грызуны, в особенности *Rattus norvegicus*, а также домашние животные [4]. Возбудитель не обладает строгой видовой специфичностью и способен инфицировать широкий круг хозяев. При этом они могут выступать как бессимптомные носители, и являться источником возбудителя инфекции [5]. Инфекционный агент выделяется с мочой зараженных животных через 7-10 дней от начала клинических проявлений и может сохраняться в окружающей среде до 1,5-3 лет [6].

Особенностью иммунитета при лептоспирозе является то, что он имеет типоспецифический (серотиповой) характер [7]. Образование антител к лептоспирам начинается с 3-5-го дня от начала проявления клинических признаков и к 11-21-

му титры антител достигают 1:1600. По данным многих авторов, антитела у переболевших собак сохраняются в течение нескольких месяцев (2-4), а иногда и больше года [6,8].

Лептоспироз особенно распространен в регионах, где наблюдается большое количество годовых осадков (влажный климат). В некоторой степени сезонная заболеваемость лептоспирозом варьирует географически в зависимости от местных режимов выпадения осадков и периодов низких температур, которые сохраняют жизнеспособность лептоспир [9].

На урбанизированной территории инфекцию чаще регистрируют у домашних и бродячих собак, тогда как кошки подвержены этой инфекции в значительно меньшей степени. Собаки представляют серьезную эпидемиологическую опасность для человека. Следовательно, системный контроль и профилактика (вакцинация) данного заболевания крайне важны как для защиты здоровья питомцев, так и для предотвращения вспышек среди населения [1,10]. Эффективность вакцин требует хорошего знания региональной эпизоотологии, которое можно получить только путем изучения этиологической структуры локально распространенных сероваров лептоспир [11].

Многие ученые изучали проблему лептоспироза животных в Санкт-Петербурге [6,7,12,13,14]. На территории города еще в конце 1940-х годов сформировался стационарный эпизоотический очаг лептоспироза собак, который сохра-

няет свою актуальность и продолжает оставаться значимой проблемой и в настоящее время [15, 8, 13].

Цель исследования – определить уровень серопревалентности и идентифицировать доминирующие серогруппы лептоспир, а также серогруппы в ассоциации у домашних собак, подозрительных на лептоспироз в Санкт-Петербурге, а также рассмотреть рынок отечественных вакцин против данного заболевания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены на кафедре эпизоотологии им. В.П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» и ГБУ «Санкт-Петербургская городская ветеринарная лаборатория». В качестве материала использована сыворотки крови домашних собак, подозрительных на лептоспироз, доставленные из коммерческих и государственных ветеринарных клиник города в ГБУ «Санкт-Петербургская городская ветеринарная лаборатория» в период с января 2022 по декабрь 2024 года. Всего методом реакции микроагглютинации (РМА) проанализирован 1381 образец.

Проведение серологического исследования на лептоспироз и оценку результатов РМА проводили согласно ГОСТ 25386-91 [16]. Для постановки РМА применяли набор из 23 живых диагностических штаммов лептоспир, представляющих основные серогруппы, циркулирующие в РФ: *Australis*, *Autumnalis*, *Ballum*, *Bataviae*, *Canicola*, *Celledony*, *Cynopteri*, *Djasiman*, *Grippotyphosa*, *Hebdomadis*,

Icterohaemorrhagiae, *Javanica*, *Louisiana*, *Manhao*, *Mini*, *Panama*, *Pomona*, *Pyrogenes*, *Ranarum*, *Sarmin*, *Sejroe*, *Shermani*, *Tarassovi*. Серогруппы с наивысшими титрами считали доминирующими, а серогруппы с более низкими титрами — ассоциированными.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате исследования установлен высокий уровень серопревалентности к лептоспирам среди домашних собак г. Санкт-Петербург (таблица 1).

Исходя из полученных данных, наибольший уровень серопревалентности зафиксирован в Приморском районе – 15,7%, на втором месте Красногвардейский район – 13,2%, на третьем – Невский район (9,4%). Далее следуют Пушкинский (8,7%), Выборгский (7,5%), Красносельский (6,9%), Калининский (6,8%), Центральный (6%), Кировский (3,6%), Московский (3,6%), Фрунзенский (3,5%) и Адмиралтейский (2,8%) районы. Реже всего антитела к возбудителям лептоспироза регистрировали у собак из Петродворцового (2,7%), Колпинского (2,5%), Василеостровского (2,2%), Курортного (1,9%), Петроградского (1,7%) и Кронштадтского (1,3%) районов (рис.1). Территориальный фактор является ключевым в эпизоотологии лептоспироза. Кроме того, близость к водоемам и увлажненным территориям способствует распространению возбудителя.

Дальнейшим этапом нашей работы было определение доминирующих серогрупп лептоспир (рис. 2). Также были рассмотрены серогруппы, которые присутствуют в ассоциации (рис.3).

Таблица 1 – Результаты исследований образцов сывороток крови собак на наличие антител к лептоспирам

Год	Исследовано животных, голов	Положительные Находки, штук	% положительных реакций
2022	270	69	25,5
2023	396	273	69,0
2024	715	293	41,0
Всего	1381	635	45,9



Рисунок 1 – Распределение серопреvalентности к лептоспирам среди собак по районам Санкт-Петербурга.

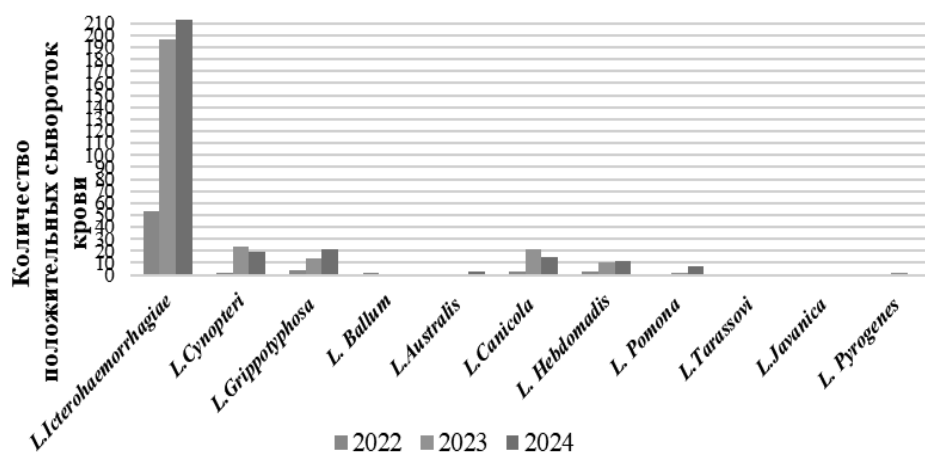


Рисунок 2 – Доминирующие серогруппы лептоспир.

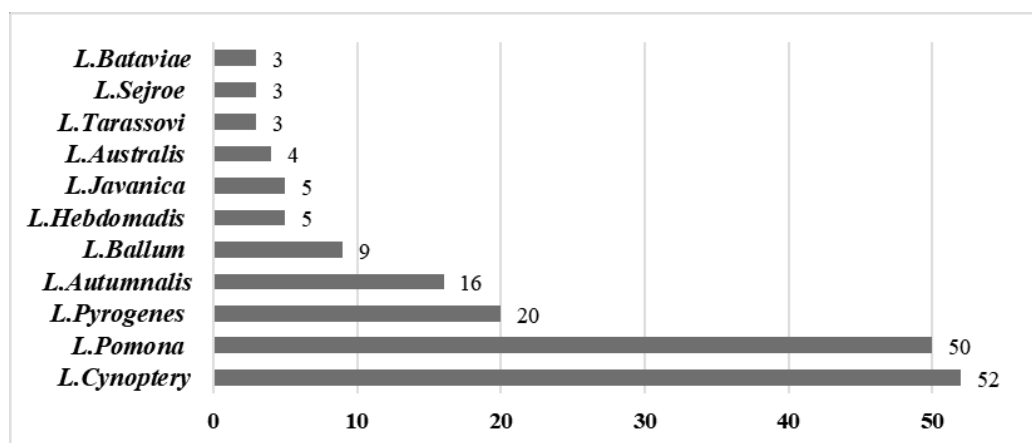


Рисунок 3 – Серогруппы лептоспир в ассоциации с доминирующей серогруппой.

Полученные данные о серологической структуре лептоспироза у собак в Санкт-Петербурге в целом согласуются с динамикой, прослеживаемой в предыдущих исследованиях. На протяжении длительного периода (1990–1999 гг. и 2005–2007 гг.) в этиологической структуре устойчиво доминировали серогруппы *Icterohaemorrhagiae* и *Canicola* [12,13], что указывает на их стабильную циркуляцию в популяции собак города.

В последующем (2012–2017 гг.) к числу преобладающих добавилась серогруппа *Grippityphosa* [14], что, отражает расширение спектра возбудителей, возможно, связанное с изменениями в составе, численности или ареале резервуарных хозяев (например, грызунов) или с други-

ми эпидемиологическими процессами.

Результаты настоящего исследования подтверждают сохраняющееся ведущее значение серогруппы *Icterohaemorrhagiae*. Однако отличием является выявление в качестве следующей по значимости серогруппы *Cynopteri*. Этот факт представляет особый интерес, так как ранее данная серогруппа не фигурировала среди доминирующих в Санкт-Петербурге.

Также мы изучили рынок отечественных вакцин против лептоспироза собак (таблица 2). Установлено, что в составе существующих вакцин отсутствуют серогруппы лептоспир, к которым у обследованных нами животных были обнаружены антитела.

Таблица 2 – Российские вакцины, используемые для профилактики лептоспироза собак

№	Название вакцины	Производитель / Разработчик	Серогруппы в составе вакцины	Штамм	Год открытия и выделения штамма
1	Гексаканивак	НПВИЗЦ "ВЕТЗВЕРОЦЕНТР"	<i>Icterohaemorrhagiae</i> <i>Canicola</i>	ВГНКИ-2 <i>Icterohaemorrhagiae</i>	1972
2	Дипентавак			ВГНКИ-3. <i>Canicola</i>	1973
3	Астерион ДНРРi L/ и LR	ООО "ВЕТБИОХИМ"	<i>Icterohaemorrhagiae</i> <i>Canicola</i> <i>Grippityphosa</i>	ВГНКИ-2. <i>Icterohaemorrhagiae</i>	1972
				ВГНКИ-3. <i>Canicola</i>	1973
4	Мультикан – 6,7,8			ВГНКИ-1 <i>Grippityphosa</i>	1969

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Установлен высокий уровень серопревалентности к возбудителям лептоспироза среди собак Санкт-Петербурга. Доминирующей серогруппой в период исследования оказалась *Icterohaemorrhagiae*, а в ассоциации чаще всего преобладала серогруппа *Cynopteri*.

Антитела к лептоспирам чаще всего обнаруживались у собак из Приморского (15,7%), Красногвардейского (13,2%) и Невского районов (9,4%).

Проведённое исследование выявило две основные проблемы вакцинопрофилактики лептоспироза собак в регионе. Во

-первых, спектр серогрупп в существующих российских вакцинах не соответствует текущей циркуляции возбудителя в Санкт-Петербурге. Во-вторых, сами используемые штаммы устарели и могли утратить часть иммуногенных свойств. Для эффективной борьбы с лептоспирозной инфекцией у собак необходима разработка поливалентных вакцин, которые в своем составе должны содержать более широкий спектр серогрупп. При их создании принципиально важным является формирование бактериального компонента из культивированных и идентифицированных локальных сероваров лептоспир.

Полученные данные требуют усиления профилактических мероприятий, направленных на улучшение эпизоотической ситуации по лептоспирозу собак в Санкт-Петербурге, особенно в районах с высоким уровнем серопревалентности, а также регулярного серологического мониторинга популяции животных для отслеживания динамики серогрупповой структуры и оценки эффективности проводимых противоэпизоотических мер.

ASSESSMENT OF THE EPIZOOTIC SITUATION OF CANINE LEPTOSPIROSIS IN SAINT PETERSBURG

Berezkin V.A.¹ – Ph.D. in Veterinary Sciences, Assistant of the Department of Epizootology named after V.P. Urban (ORCID 0000-0002-5557-1287); **Kalimatova A.A.**¹ – 5th year student Faculty of Veterinary Medicine (ORCID 0009-0004-1478-8705); **Riabiko E.G.**² – Junior Researcher, Laboratory of Zooanthroponoses (ORCID 0000-0001-8738-3021); **Tokarevich N.K.**² – DSc (Medicine), Professor, Head of the Laboratory of Zooanthroponoses (ORCID 0000-0001-6433-3486); **Golodyaeva M.S.**¹ – Ph.D. in Veterinary Sciences, Associate Professor of the A.V. Sinev Department of Internal Animal Diseases (ORCID 0000-0002-4059-526X); **Aidiev A.B.**¹ – Ph.D. in Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Epizootology named after V.P. Urban (ORCID 0000-0002-0747-2858); **Kozyrenko O.V.**¹ – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Epizootology named after V.P. Urban (ORCID 0000-0002-8306-9219); **Kuznetsov Yu.E.**¹ – Doctor of Veterinary Medicine. PhD, Associate Professor, Head of the Department of Parasitology Yakimova V.L. (ORCID 0000-0001-9095-7049).

¹St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

²St. Petersburg Pasteur Institute

*berezki.v@yandex.ru

ABSTRACT

Leptospirosis is a zoonotic disease that

occurs predominantly in dogs in megacities, which makes the control and prevention of this disease particularly relevant for protecting the health of pets and the general population. Dogs become infected through contact with the urine of carriers or through contaminated environments where leptospires persist for long periods [1]. Serological monitoring was conducted to identify the dominant leptospire serogroup in dogs in St. Petersburg. It was found that in the period from 2022 to 2024, the predominant serogroup was *Icterohaemorrhagiae* (463 cases), which is confirmed by high antibody titers up to 1:1600. When analyzing antibodies to serogroups in association with the dominant serogroup, *Cynopteri* (52 samples) and *Pomona* (50 samples) were the most common. The lowest number of findings (3 samples each) was recorded for the serogroups *Bataviae*, *Tarassovi*, and *Sejroe*. The use of a dog leptospirosis vaccine provides protection against certain serogroups, namely *Icterohaemorrhagiae*, *Canicola*, and *Grippotyphosa*. However, there are no domestic vaccines in the Russian Federation that include the following serogroups: *Cynopteri*, *Pomona*, *Pyrogenes*, *Autumnalis*, *Ballum*, *Hebdomadis*, *Javanica*, *Australis*, *Bataviae*, *Tarassovi*, and *Sejroe*. Therefore, leptospirosis should be included in the differential diagnosis of vaccinated dogs showing clinical signs of an infectious disease. Another important task is to find fresh vaccine strains of leptospires, as the currently used strains are quite outdated, which may have led to a partial loss of their immunogenic properties. The obtained data require strengthening of preventive measures aimed at improving the epizootic situation of leptospirosis in dogs in St. Petersburg. The development and use of polyvalent vaccines containing antigens of the most common leptospire serogroups in the region, as well as the implementation of a regular serological monitoring system among the city's dog population, are of great importance.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sykes JE, Francey T, Schuller S, Stoddard RA, Cowgill LD, Moore GE. Updated ACVIM consensus statement on leptospiro-

- sis in dogs // J Vet Intern Med. 2023 Nov-Dec;37(6):1966-1982. doi: 10.1111/jvim.16903. Epub 2023 Oct 20. PMID: 37861061; PMCID: PMC10658540.
2. Vincent AT, Schiettekatte O, Goarant C, Neela VK, Bernet E, Thibeaux R, Ismail N, Mohd Khalid MKN, Amran F, Masuzawa T, Nakao R, Amara Korba A, Bourhy P, Veyrier FJ, Picardeau M. Revisiting the taxonomy and evolution of pathogenicity of the genus *Leptospira* through the prism of genomics // PLoS Negl Trop Dis. 2019 May 23;13(5):e0007270. doi: 10.1371/journal.pntd.0007270. PMID: 31120895; PMCID: PMC6532842.
 3. Klaasen HL, van der Veen M, Molkenboer MJ, Sutton D. A novel tetravalent *Leptospira* bacterin protects against infection and shedding following challenge in dogs // Vet Rec. 2013 Feb 16;172(7):181. doi: 10.1136/vr.101100. Epub 2012 Nov 23.
 4. Boey K, Shiokawa K, Rajeev S. *Leptospira* infection in rats: a literature review of global prevalence and distribution // PLoS Negl Trop Dis. 2019;13:e0007499.
 5. Ko AI, Goarant C, Picardeau M. *Leptospira*: the dawn of the molecular genetics era for an emerging zoonotic pathogen // Nat Rev Microbiol. 2009 Oct;7(10):736-47. doi: 10.1038/nrmicro2208. PMID: 19756012; PMCID: PMC3384523.
 6. Басель Бадра, А. В. Святковский, Т. Б. Кузина. Иммунологический скрининг лептоспироза собак в Санкт-Петербурге в реакции микроагглютинации за период 1998-2006 гг // Ветеринарная практика. 2006;2:10-15.
 7. В. А. Кузьмин, Л. С. Фогель, К. С. Савенков (и др.) / Этиологическая структура лептоспироза животных и людей в Санкт-Петербурге // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2016. – № 1. – С. 72-74.
 8. Киндрас Т.М. Эпизоотология и профилактика лептоспироза собак в городе // Патогенез, диагностика и лечение бактериальных заболеваний мелких домашних животных: сборник докладов / Биол. науч.-практ. центр «ЧИН». 1996;вып. 2:14-18.
 9. Taylor C, Brodbelt DC, Dobson B, Catchpole B, O'Neill DG, Stevens KB. Spatio-temporal distribution and agroecological factors associated with canine leptospirosis in Great Britain // Prev Vet Med. 2021;193:105407.
 10. Levett PN. Leptospirosis // Clin Microbiol Rev. 2001 Apr;14(2):296-326. doi: 10.1128/CMR.14.2.296-326.2001. PMID: 11292640; PMCID: PMC88975.
 11. Eric Klaasen HL, Adler B. Recent advances in canine leptospirosis: focus on vaccine development. Vet Med (Auckl). 2015 Jun 19;6:245-260. doi: 10.2147/VMRR.S59521. PMID: 30101111; PMCID: PMC6067773.
 12. Кузьмин В.А., Данко Ю.Ю., Фогель Л.С. и др. Эпизоотологические и эпидемиологические особенности лептоспироза в Санкт-Петербурге // Иппология и ветеринария. 2015;3(17):43-46.
 13. Стоянова Н.А. Эпизоотическая ситуация по лептоспирозу и её эпидемические проявления в условиях Санкт-Петербурга / Н.А.Стоянова, Б.Бадра, Н.К.Токаревич и др. // Матер. Москов. науч.-практ. конф. по лептоспирозу.-М.,2007. – С.62-63.
 14. Stoyanova, N. A. Immunological screening of leptospirosis in dogs in St. Petersburg / N. A. Stoyanova, N. K. Tokarevich // Russian Journal of Infection and Immunity. – 2018. – Vol. 8, No. 4. – P. 619. – EDN YWWKSL.
 15. Алиев А.А., Омарова С.Н. Обзор эпизоотической ситуации в Санкт-Петербурге // Тез. докл. Междунар. научно-практ. конгресса / Актуальные проблемы ветеринарной медицины. 2005. С. 36-38.
 16. ГОСТ 25386-91. Животные сельскохозяйственные. Методы лабораторной диагностики лептоспироза. Группа G 79. 30 с.

REFERENCES

1. Sykes JE, Francey T, Schuller S, Stoddard RA, Cowgill LD, Moore GE. Updated ACVIM consensus statement on leptospirosis in dogs // J Vet Intern Med. 2023 Nov-Dec;37(6):1966-1982. doi: 10.1111/jvim.16903. Epub 2023 Oct 20. PMID:

- 37861061; PMCID: PMC10658540.
2. Vincent AT, Schiettekatte O, Goarant C, Neela VK, Bernet E, Thibeaux R, Ismail N, Mohd Khalid MKN, Amran F, Masuzawa T, Nakao R, Amara Korba A, Bourhy P, Veyrier FJ, Picardeau M. Revisiting the taxonomy and evolution of pathogenicity of the genus *Leptospira* through the prism of genomics // *PLoS Negl Trop Dis*. 2019 May 23;13(5):e0007270. doi: 10.1371/journal.pntd.0007270. PMID: 31120895; PMCID: PMC6532842.
3. Klaasen HL, van der Veen M, Molkenboer MJ, Sutton D. A novel tetravalent *Leptospira* bacterin protects against infection and shedding following challenge in dogs // *Vet Rec*. 2013 Feb 16;172(7):181. doi: 10.1136/vr.101100. Epub 2012 Nov 23.
4. Boey K, Shiokawa K, Rajeev S. *Leptospira* infection in rats: a literature review of global prevalence and distribution // *PLoS Negl Trop Dis*. 2019;13:e0007499.
5. Ko AI, Goarant C, Picardeau M. *Leptospira*: the dawn of the molecular genetics era for an emerging zoonotic pathogen // *Nat Rev Microbiol*. 2009 Oct;7(10):736-47. doi: 10.1038/nrmicro2208. PMID: 19756012; PMCID: PMC3384523.
6. Basel Badra, A. V. Svyatkovsky, and T. B. Kuzina. Immunological screening of canine leptospirosis in St. Petersburg using the microagglutination reaction from 1998 to 2006 // *Veterinary Practice*. 2006;2:10-15. (In Russ.)
7. V. A. Kuzmin, L. S. Vogel, K. S. Savenkov (et al.) / The etiological structure of leptospirosis in animals and humans in St. Petersburg // *Issues of regulatory and legal regulation in veterinary medicine*. – 2016. – No. 1. – Pp. 72-74. (In Russ.)
8. Kindras T.M. Epizootiology and prevention of leptospirosis in dogs in the city // *Pathogenesis, diagnostics and treatment of bacterial diseases of small domestic animals: collection of reports / Biol. scientific-practical center "CHIN"*. 1996;issue 2:14-18. (In Russ.)
9. Taylor C, Brodbelt DC, Dobson B, Catchpole B, O'Neill DG, Stevens KB. Spatio-temporal distribution and agroecological factors associated with canine leptospirosis in Great Britain // *Prev Vet Med*. 2021;193:105407.
10. Levett PN. Leptospirosis // *Clin Microbiol Rev*. 2001 Apr;14(2):296-326. doi: 10.1128/CMR.14.2.296-326.2001. PMID: 11292640; PMCID: PMC88975.
11. Eric Klaasen HL, Adler B. Recent advances in canine leptospirosis: focus on vaccine development. *Vet Med (Auckl)*. 2015 Jun 19;6:245-260. doi: 10.2147/VMRR.S59521. PMID: 30101111; PMCID: PMC6067773.
12. Kuzmin V.A., Danko Yu.Yu., Vogel L.S., et al. Epizootiological and epidemiological features of leptospirosis in St. Petersburg // *Hippology and Veterinary Medicine*. 2015;3(17):43-46. (In Russ.)
13. Stoyanova N.A. Epizootic situation on leptospirosis and its epidemic manifestations in the conditions of St. Petersburg / N.A. Stoyanova, B. Badra, N.K. Tokarevich, et al. // *Mater. Mosk. nauch.-prakt. konf. on leptospirosis.-M.,2007. – P.62-63. (In Russ.)*
14. Stoyanova, N. A. Immunological screening of leptospirosis in dogs in St. Petersburg / N. A. Stoyanova, N. K. Tokarevich // *Russian Journal of Infection and Immunity*. – 2018. – Vol. 8, No. 4. – P. 619. – EDN YWWKSL.
15. Aliev A.A., Omarova S.N. Review of the epizootic situation in St. Petersburg // *Tez. dokl. International scientific and practical Congress / Actual problems of veterinary medicine*. 2005. pp. 36-38. (In Russ.)
16. GOST 25386-91. Agricultural animals. Methods of laboratory diagnosis of leptospirosis. Group G 79. 30 p. (In Russ.)

УДК: 616.24-002-072.2-078:636.7

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.56

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БРОНХОАЛЬВЕОЛЯРНОГО ЛАВАЖА У БОЛЬНЫХ БРОНХОПНЕВМОНИЕЙ СОБАК

Градова Ю.В.* – асп. (ORCID 0009-0000-6616-0697); Ковалев С.П. – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. клинической диагностики (ORCID 0000-0001-9130-164X)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*bushik.dog@yandex.ru

Ключевые слова: пневмония собак, бронхоальвеолярный лаваж, микробиологическое исследование.

Key words: pneumonia in dogs, microbiological examination, bronchoalveolar lavage.

Поступила: 15.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Выделение микроорганизмов в диагностическом титре является существенным доказательством наличия пневмонии, осложненной инфекционной составляющей. Определение чувствительности к антимикробным препаратам позволяет подобрать адекватную антибиотикотерапию. Целью данной работы являлось исследование микробного состава микрофлоры дыхательных путей в материале, полученном путем бронхоальвеолярного лаважа от больных бронхопневмонией собак, и некоторых свойств микроорганизмов у животных с острой бронхопневмонией. Данная статья описывает результаты микробиологического исследования материала от 72 собак с признаками острой пневмонии. Животным под седацией проводилась процедура бронхоальвеолярного лаважа (БАЛ), отобранный материал отправлялся на микробиологическое исследование. У 65 % больных животных пневмония достоверно была связана с бактериальной этиологией. У 57 % собак встречали антибиотикорезистентность микроорганизмов в образцах БАЛ, и поэтому терапия подбиралась с учетом результатов микробиологического исследования. Антибиотикорезистентность отдельных микроорганизмов встречали в каждом образце БАЛ, причем у 5 собак бактерии были резистентны ко всем исследованным группам антибиотиков, в дальнейшем эти собаки погибли. Сочетанную инфекцию (наличие более одного микроорганизма в БАЛ) обнаруживали в 51,7 % случаев. Чаще всего антибиотикорезистентные штаммы были нечувствительны к бета-лактамам и тетрациклинам, что согласуется с частотой их назначения. Из 34 обнаруженных в БАЛ видов микроорганизмов 91,2 % входило в состав нормофлоры или условно-патогенной транзитной микрофлоры аппарата дыхания или ротовой полости, поэтому интерпретация микробиологического исследования должна учитывать клиническую картину. Наиболее часто встречали *Pasteurella multocida*, *Escherichia coli*, *Streptococcus fryi*.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Дыхательные пути не являются стерильными, и при определенных условиях микрофлора дыхательных путей способна осложнить течение пневмонии (или присоединиться к воспалению легочной ткани) [1, 9]. Многие авторы связывают это с ослаблением иммунитета, воздействием стресса или плохих условий содержания, иммуносупрессивной или противораковой терапией, травмами грудной клетки или оперативными вмешательствами на ней, ятрогенными факторами (например, интубация трахеи, питание через носожелудочный зонд, трахеостомия, искусственная вентиляция легких, торакальная или абдоминальная хирургия, постоянный внутривенный катетер, загрязненные инфузионные растворы). Помимо этих причин, бронхопневмония может быть обусловлена анатомическими или функциональными болезнями (например, брахицефалический синдром, гипоплазия трахеи, дискинезия мерцательного эпителия). Болезни желудочно-кишечного тракта, приводящие к рвоте или регургитации, а также метаболические болезни, приводящие к истощению (например, сахарный диабет, синдром Кушинга, хроническая почечная недостаточность, болезни печени), тоже встречаются в качестве этиологического фактора развития бронхопневмонии [5, 7, 10, 11].

Смертность при большинстве инфекций аппарата дыхания невысокая, но варьирует в зависимости от региона и времени года [5]. Но пневмония опасна тем, что может протекать сверхостро и вызывать сопутствующие осложнения, что в сочетании с другими факторами (возраст, физиологическое состояние, хронические болезни) может быть летально [13].

Наличие микроорганизмов в диагностических титрах является существенным доказательством наличия бактериальной пневмонии [5, 10, 11]. Определение чувствительности полученных микроорганизмов к антибиотикам помогает врачу подобрать адекватную терапию [11].

Ткани и органы, сообщающиеся с внешней средой, являются стерильными

только у новорожденных животных, а далее заселяются собственной микрофлорой, которая может быть биологическим фактором защиты, а может и источником инфекций в случае снижения иммунитета. Только в самой глубине легких микрофлора в норме не обнаруживается [6].

Те виды микробов, что в большом количестве встречаются в дыхательных путях, обозначают как представителей постоянной микрофлоры (она же – индигенная, облигатная, главная), а те виды, что уступают постоянным по плотности заселения, причисляют к факультативным, условно-патогенным. Пример факультативного микроорганизма у собак – *Pasteurella multocida* [6, 14, 15].

По мнению ряда авторов, в составе нормобиоты трахеи и крупных бронхов встречаются *Neisseria spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Corinebacterium spp.*, *Streptococcus spp.*, *Micrococcus spp.*, *Moraxella spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Escherichia coli*, реже устанавливалось носительство *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium spp.*, представителей аэробных бацилл в значимых титрах (от 10^3). Механизм защиты от патогенной микрофлоры разнообразен, в основном заключается в конкурентной борьбе и препятствии адгезии. Помимо этого, *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Neisseria spp.*, *Escherichia coli* вырабатывают бактериоцины, а *Lactobacillus spp.* – антибиотикоподобные вещества. Также нормофлора поглощает необходимые для роста и колонизации питательные вещества (в том числе железо), без которых патогенные микроорганизмы не смогут размножиться [6, 12].

В руководстве по инфекционным болезням кошек и собак Я. Рэмси и Б. Теннанта (2019) описаны наиболее часто встречаемые инфекции аппарата дыхания у собак – это парагрипп собак, аденовирус собак, чума плотоядных, микоплазмоз, бордетеллез, пастереллез. *Streptococcus zooepidemicus*, *Bordetella bronchiseptica* и *Mycobacterium spp.* могут передаваться другим животным, но большинство других бактериальных возбудителей при поражении нижних дыхательных пу-

тей больного животного не заразны [5, 12].

Для определения места локализации инфекции используют рентгенографию, эндоскопию [2], компьютерную томографию, магнито-резонансную томографию, ультразвуковую диагностику и взятие материала для исследования – для его исследования используют микробиологический, цитологический и молекулярно-генетический методы [5]. Целью данной работы являлось исследование микробного состава микрофлоры дыхательных путей в материале, полученном путем бронхоальвеолярного лаважа от больных бронхопневмонией собак, и некоторых свойств микроорганизмов у животных с острой бронхопневмонией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводили на базе ветеринарной клиники Санкт-Петербурга в период с сентября 2023 года по февраль 2026 года.

Для данной работы отобраны 72 клинических случая пневмонии у собак, в которых производилось микробиологическое исследование бронхоальвеолярного лаважа. Процедуру проводили под седацией, при этом использовали два способа – «слепой» (без бронхоскопа) или обычный (с бронхоскопом). Через трахеальную трубку вводили теплый стерильный физиологический раствор (5-10 мл аликвоты) в количестве до 5 мл/кг (20-100 мл собакам) через катетер, помещенный в биопсийный канал, и тут же отсасывали обратно.

После получения бронхоальвеолярного лаважа материал переносили в транспортную среду Эймса, доставлялся в лабораторию. Микробиологическое исследование выполняли в сертифицированной лаборатории Санкт-Петербурга.

Образцы первично высевали в объеме 100 мкл на чашку Петри с кровавым агаром (с добавлением 5 % дефибрированной бараньей крови) для выделения чистой культуры, поскольку данная среда подходит для широкого спектра микроорганизмов, идентификация проводили на

MALDI-TOF, а в дальнейшем идентифицированные культуры исследовали с помощью стандартизированного диско-диффузионного метода EUCAST для определения антибиотикочувствительности. Исследовали чувствительность к препаратам, принадлежащих к следующим классам антимикробных препаратов: бета-лактамы, фторхинолоны, карбапенемы, тетрациклины, макролиды, аминогликозиды, сульфаниламиды.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В полученных БАЛ обнаружили следующие микроорганизмы: *Achromobacter xyloxidans* у одной собаки, *Acinetobacter baumannii* у 2 собак, *Acinetobacter nosocomialis* у одной собаки, *Acinetobacter pittii* у одной собаки, *Acinetobacter radioresistens* у одной собаки, *Bergeyella zoohelcum* у одной собаки, *Bordetella bronchiseptica* у 4 собак, *Enterobacter cloacae* у двух собак, *Enterococcus faecalis* у 3 собак, *Escherichia coli* у 11 собак, *Klebsiella oxytoca* у одной собаки, *Klebsiella pneumoniae* у 6 собак, *Moraxella canis* у одной собаки, *Neisseria weaver* у одной собаки, *Pasteurella spp.* у 25 собак, из них до рода определены у 8 собак, *Pasteurella canis* у 6 собак, *Pasteurella dagmatis* у 2 собак, *Pasteurella multocida* у 7 собак, *Pasteurella stomatis* у 2 собак, *Proteus mirabilis* у одной собаки, *Pseudomonas stutzeri* у одной собаки, *Raoultella ornithinolytica* у одной собаки, *Serratia marcescens* у одной собаки, *Staphylococcus epidermidis* у одной собаки, *Staphylococcus haemolyticus* у одной собаки, *Staphylococcus pseudintermedius* у 5 собак, *Staphylococcus schleiferi* у 2 собак, *Streptococcus agalactiae* у 2 собак, *Streptococcus anginosus* у одной собаки, *Streptococcus canis* у 9 собак, *Streptococcus dysgalactiae* у одной собаки, *Streptococcus fryi* у 13 собак, *Streptococcus lutei* у одной собаки, *Streptococcus minor* у одной собаки, *Streptococcus viridans* у одной собаки.

Таким образом, у больных животных выявлено многообразие микроорганизмов (34 вида). Но 17,8 % исследованных собак посева оказались стерильными (13 из 73 образцов), а у 35,0 % животных (21 из 60

образцов) количество найденных микроорганизмов было меньше клинически значимого титра (менее 10^3). Таким образом, достоверно можно судить о наличии бактериальной этиологии только у 65 % исследованных животных с клиническим диагнозом «острая бронхопневмония».

Большинство описанных штаммов (91,2 %) входило в состав нормофлоры или условно-патогенной транзитной микрофлоры аппарата дыхания или ротовой полости. Наиболее часто встречали *Pasteurella multocida* (7 образцов) (рис.), *Escherichia coli* (11 образцов), *Streptococcus fryi* (13 образцов), что согласуется с данными литературы [14, 15].

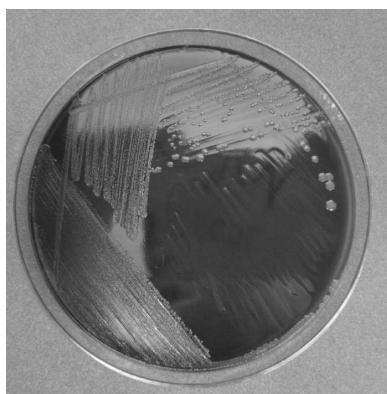


Рисунок 1 – Культура *Pasteurella multocida*, полученная из БАЛ больной бронхопневмонией собаки.

Антибиотикорезистентность встречали у 47 микроорганизмов, причем у 5 собак бактерии были резистентны ко всем исследованным группам антибиотиков, в дальнейшем эти собаки погибли. Чаще всего антибиотикорезистентные штаммы были нечувствительны к бета-лактамам и тетрациклинам, что согласуется с частотой их назначения в нашем исследовании и по международным рекомендациям [10-13, 16].

Сочетанную инфекцию (наличие более одного микроорганизма) обнаруживали в 51,7 % случаев.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

У 65 % больных животных пневмония достоверно была связана с бактериальной

этиологией.

У 57 % собак встречали антибиотикорезистентность микроорганизмов в образцах БАЛ, и поэтому терапия должна подбираться с учетом результатов микробиологического исследования.

Антибиотикорезистентность встречали у 47 микроорганизмов, причем у 5 собак бактерии были резистентны ко всем исследованным группам антибиотиков, в дальнейшем эти собаки погибли.

Сочетанную инфекцию (наличие более одного микроорганизма в БАЛ) обнаруживали в 51,7 % случаев.

Чаще всего антибиотикорезистентные штаммы были нечувствительны к бета-лактамам и тетрациклинам, что согласуется с частотой их назначения.

Из 34 обнаруженных в БАЛ видов микроорганизмов 91,2 % входило в состав нормофлоры или условно-патогенной транзитной микрофлоры аппарата дыхания или ротовой полости, поэтому интерпретация микробиологического исследования должна учитывать клиническую картину.

Наиболее часто встречали *Pasteurella multocida*, *Escherichia coli*, *Streptococcus fryi*.

MICROBIOLOGICAL EXAMINATION OF BRONCHOALVEOLAR LAVAGE IN DOGS WITH BRONCHOPNEUMONIA

Gradova Yu.V.* – postgraduate student (ORCID 0009-0000-6616-0697); Kovalev S.P. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Clinical Diagnostics (ORCID 0000-0001-9130-164X).

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*bushik.dog@yandex.ru

ABSTRACT

The isolation of microorganisms in the diagnostic titer is significant evidence of the presence of bacterial pneumonia. Determination of sensitivity to antimicrobial drugs allows you to select adequate antibiotic therapy. The aim of this work was to study the

microbial composition of the respiratory tract microflora in the material obtained by bronchoalveolar lavage from dogs with bronchopneumonia, and some properties of microorganisms in animals with acute bronchopneumonia. This article describes the results of a microbiological study of material from 72 dogs with signs of acute pneumonia. The animals underwent bronchoalveolar lavage (BAL) under sedation, and the selected material was sent for microbiological examination. In 65 % of sick animals, pneumonia was significantly associated with bacterial etiology. In 57 % of dogs, antibiotic resistance of microorganisms was found in BAL samples, and therefore therapy should be selected taking into account the results of microbiological examination. Antibiotic resistance was found in 47 microorganisms, and in 5 dogs, the bacteria were resistant to all the studied groups of antibiotics, and these dogs subsequently died. A combined infection (the presence of more than one microorganism in the BAL) was detected in 51.7 % of cases. Most often, antibiotic-resistant strains were insensitive to beta-lactams and tetracyclines, which is consistent with the frequency of their administration. Of the 34 species of microorganisms found in the BAL, 91.2 % were part of the normoflora or conditionally pathogenic transient microflora of the respiratory or oral apparatus, therefore, the interpretation of the microbiological study should take into account the clinical picture. *Pasteurella multocida*, *Escherichia coli*, and *Streptococcus fryi* were the most common.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Внутренние болезни животных: учебник для вузов / Г. Г. Щербаков, А. В. Яшин, А. П. Курдеко [и др.]. – 7-е изд. – СПб : Лань, 2024. – 716 с.
2. Дьяченко, И. А. Результаты эндоскопического исследования дыхательного аппарата у собак / И. А. Дьяченко, С. П. Ковалев // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 4. – С. 75-78.
3. Жичкина, Л. И. Панкреатит и дисбактериоз у кошек и собак / Л. И. Жичкина, М. К. Касумов, И. В. Марцинковская // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2010. – №3 (7). – С. 42-46.
4. Забровская, А. В. Предотвращение возникновения и распространения штаммов микроорганизмов, устойчивых к антимикробным препаратам / А. В. Забровская // Иппология и ветеринария. – 2018. – № 2. – С. 64-70.
5. Инфекционные болезни собак и кошек. Под ред. Я. Рэмси, Б. Теннант / Пер. с англ. Лисициной Т. – М.: Издательство Аквариум, 2019. – 304 с.
6. Микрофлора тела животных: методические указания / сост.: М. Н. Веревкина, Н. А. Ожередова ; Ставропольский гос. аграрный ун-т. – Ставрополь, 2019. – 32 с.
7. Прусаков, А. В. Методические указания по внутренним незаразным болезням животных "Виды нарушения иммунологического статуса у собак" : для студентов очной, очно-заочной (вечерней) и заочной форм обучения факультета ветеринарной медицины / А. В. Прусаков, Г. В. Куляков, Р. С. Катаргин. – СПб: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной, 2020. – 15 с.
8. Смирнова, Л. И. Клиническая ветеринарная микробиология: учебное пособие / Л. И. Смирнова, С. А. Макавчик. — Санкт-Петербург: СПбГУВМ, 2022. — 228 с.
9. Шевченко, М. О. Анализ встречаемости аспирационной пневмонии у мелких домашних животных / М. О. Шевченко, С. П. Ковалев // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 66-67.
10. Canine and Feline Respiratory Medicine, 2 ed. – USA: John Wiley & Sons, 2020. – 220 p.
11. Dear, J. D. Bacterial Pneumonia in Dogs and Cats: An Update // Vet Clin North Am Small Anim Pract. – 2020. - № 50 (2). – P. 447-465.
12. Greene, C. E. Infectious Diseases of the Dog and Cat, 5-th ed. – USA: Elsevier Science, 2021. – 1400 p.
13. Lappin, M.R. Antimicrobial use guidelines for treatment of respiratory tract disease in dogs and cats: antimicrobial guide-

lines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases / M.R. Lappin, J. Blondeau, D. Boothe // *J Vet Intern Med.* – 2017. – № 31 (2). – P. 279–294.

14. Vientós-Plotts, A.I. Respiratory Dysbiosis in Canine Bacterial Pneumonia: Standard Culture vs. Microbiome Sequencing / A.I. Vientós-Plotts, A. C. Ericsson, H. Rindt et al. // *Front Vet Sci.* – 2019. – № 11. – Vol. 6. – P. 354.

15. Vientós-Plotts, A.I. The respiratory microbiota and its impact on health and disease in dogs and cats: A One Health perspective / A.I. Vientós-Plotts, A.C. Ericsson, C.R. Reinero // *J Vet Intern Med.* – 2023. – № 37 (5). – P. 1641–1655.

16. Wayne, A. Outcomes in dogs with uncomplicated, presumptive bacterial pneumonia treated with short or long course antibiotics / A. Wayne, M. Davis, V.B. Sinnott // *Can Vet J.* – 2017. – № 58 (6). – P. 610–613.

REFERENCES

1. Internal diseases of animals : a textbook for universities / G. G. Shcherbakov, A.V. Yashin, A. P. Kurdeko [et al.]. – 7th ed. – St. Petersburg : Lan, 2024. – 716 p. (In Russ.)

2. Dyachenko, I. A. Results of endoscopic examination of the respiratory apparatus in dogs / I. A. Dyachenko, S. P. Kovalev // *Regulatory and legal regulation in veterinary medicine.* – 2024. – №. 4. – P. 75–78. (In Russ.)

3. Zhichkina, L. I. Pancreatitis and dysbiosis in cats and dogs / L. I. Zhichkina, M. K. Kasumov, I. V. Marcinkovskaya // *Actual issues of veterinary biology.* – 2010. – № 3. – P. 42–46. (In Russ.)

4. Zbrovskaya, A.V. Prevention of the emergence and spread of strains of microorganisms resistant to antimicrobial drugs / A.V. Zbrovskaya // *Hippology and veterinary medicine.* – 2018. – № 2. – P. 64–70. (In Russ.)

5. Infectious diseases of dogs and cats. Edited by J. Ramsey, B. Tennant / Translated from English. Lisitsina T. – Moscow: Aquarium Publishing House, 2019. 304 p. (In Russ.)

6. Microflora of the animal body: guide-

lines / comp.: M. N. Verevkina, N. A. Ozheredova ; Stavropol State Agrarian University – Stavropol, 2019. 32 p. (In Russ.)

7. Prusakov, A.V. Methodological guidelines on internal non-infectious animal diseases "Types of immunological status disorders in dogs": for full-time, part-time (evening) and part-time students of the Faculty of Veterinary Medicine / A.V. Prusakov, G. V. Kulyakov, R. S. Katargin. – St. Petersburg : St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2020. – 15 p. (In Russ.)

8. Smimova, L. I. Klinicheskaya veterinarnaya mikrobiologiya : uchebnoye posobiye / L. I. Smimova, S. A. Makavchik. — Sankt-Peterburg : SPbGUV, 2022. — 228 p. (In Russ.)

9. Shevchenko, M. O. Analysis of the occurrence of aspiration pneumonia in small domestic animals / M. O. Shevchenko, S. P. Kovalev // *Regulatory and legal regulation in veterinary medicine.* – 2024. – №. 2. – P. 66–67. (In Russ.)

10. Canine and Feline Respiratory Medicine, 2 ed. – USA: John Wiley & Sons, 2020. – 220 p.

11. Dear, J. D. Bacterial Pneumonia in Dogs and Cats: An Update // *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* – 2020. – № 50 (2). – P. 447–465.

12. Greene, C. E. Infectious Diseases of the Dog and Cat, 5-th ed. – USA: Elsevier Science, 2021. – 1400 p.

13. Lappin, M.R. Antimicrobial use guidelines for treatment of respiratory tract disease in dogs and cats: antimicrobial guidelines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases / M.R. Lappin, J. Blondeau, D. Boothe // *J Vet Intern Med.* – 2017. – № 31 (2). – P. 279–294.

14. Vientós-Plotts, A.I. Respiratory Dysbiosis in Canine Bacterial Pneumonia: Standard Culture vs. Microbiome Sequencing / A.I. Vientós-Plotts, A. C. Ericsson, H. Rindt et al. // *Front Vet Sci.* – 2019. – № 11. – Vol. 6. – P. 354.

15. Vientós-Plotts, A.I. The respiratory microbiota and its impact on health and disease in dogs and cats: A One Health perspective / A.I. Vientós-Plotts, A.C. Ericsson, C.R. Reinero // *J Vet Intern Med.* – 2023. – № 37 (5). – P. 1641–1655.

16. Wayne, A. Outcomes in dogs with uncomplicated, presumptive bacterial pneumonia treated with short or long course antibiotics / A. Wayne, M. Davis, V.B. Sinnott // *Can Vet J.* – 2017. – № 58 (6). – P. 610–613.

УДК: 619:616.9-085:636.8.048

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.62

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ КАЛИЦИВИРОЗА КОШЕК (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)

Данников С.П. – д-р биол. наук, доц. проф. каф. физиологии, хирургии и акушерства (ORCID 0000-0002-9839-3310); Шахова В.Н. – д-р биол. наук, доц. проф. каф. терапии и фармакологии (ORCID 0000-0003-3999-5362); Гвоздецкий Н.А. – канд. вет. наук, доцент базовой кафедры эпизоотологии и микробиологии (ORCID 0000-0002-6856-4932); Квочко А.Н. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. физиологии, хирургии и акушерства (ORCID 0000-0003-4445-7638).

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

ds.as@mail.ru

Ключевые слова: инфекционные болезни, респираторные заболевания кошек, калицивироз, полимеразно-цепная реакция, противовирусные препараты.

Key words: infectious diseases, feline respiratory diseases, calicivirus, polymerase chain reaction, antiviral drugs.

Поступила: 15.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Проанализированы и обобщены результаты научных исследований по вопросам диагностики и лечения калицивироза кошек. Выяснено, что для создания новых эффективных наборов праймеров для диагностики FCV методом ПЦР необходимо

непрерывный мониторинг филогенетических и молекулярно-генетических характеристик этого вируса. Ротовая полость – предпочтительное место взятия образцов для выявления FCV. Создан метод на основе ПЦР с обратной транскрипцией и транс-расщепляющей активностью CRISPR-Cas13a, метод ERA в сочетании с LFD, нацеленный на позицию FCV-ORF1, а также флуоресцентный изотермический анализ с использованием RPA для быстрого выявления FCV. Разработан сверхчувствительный метод визуального обнаружения FCV и FHV-1 с помощью однопроволочного анализа dRPA-Cas12a/Cas13a, метод тройной наноПЦР для выявления FCV, FPV и FHV-1, метод флуоресцентной количественной ПЦР TaqMan MGB для одновременного выявления FPV и FHV-1, FCV и FIPV. Также в рамках одной ПЦР стало возможным одновременно обнаружить и генетически различить вакцинальные и полевые штаммы вируса. Эффективная системная противовирусная терапия при FCV в настоящий момент не разработана, в связи с чем поддерживающая и симптоматическая терапия, а также качественный уход и кормление занимают одну из ключевых позиций в лечении инфицированных кошек. Клинические исследования показали, что нитазоксанид, мизорибин, СрG49 обладают противовирусной активностью, а для местного применения хороший эффект показал PSSNa. Введение антител против FHV-1 и FCV приводит к сравнительно быстрому сни-

жению тяжести респираторных симптомов и улучшению общего самочувствия. Имеются сведения о положительном влиянии на больных калицивирозом кошек и их клинико-лабораторные показатели препаратов «Ронколейкин» и «Гамапрен», а применение интерферона кошки в сочетании с «Ремаксолом» оказывает положительное влияние на баланс про- и антиоксидантов. В исследованиях *in vitro* в отношении FCV раскрыт сильный ингибирующий эффект мефлохина, AZD6244, склареола, NTZ, 2CMC, NITD-008, хлорида меди и хлорида лития. Обнаружено противовирусное действие некоторых растительных экстрактов, ICA, FMN и CPAE. Сверхэкспрессия сурвивина приводит к снижению инфицирования FCV. Секретом мезенхимальных стволовых клеток кошек не препятствует проникновению вирусов FCV в клетки CRFK, но оказывает противовирусное действие на репликацию вируса. Имеются сведения о потенциальном терапевтическом применении РНК-интерференции при FCV.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Калицивирус кошек (FCV) – один из самых распространенных вирусных патогенов у домашних кошек во всем мире. Первое сообщение о FCV датируется 1957 годом, когда FCV был выделен из желудочно-кишечного тракта кошек в Новой Зеландии. В последующих научных исследованиях было установлено, что FCV является причиной респираторных заболеваний у кошек. Характер молекулярно-генетических особенностей возбудителя инфекции позволяют ему успешно выживать в популяции кошек и представлять определенные трудности в отношении диагностики, лечения и профилактики калицивироза [1].

Основными клиническими признаками калицивироза являются язвы в ротовой полости, симптомы заболеваний верхних дыхательных путей и повышенная температура тела. Калицивирус кошек может быть выделен практически у всех кошек с хроническим стоматитом или гингивитом. У кошек с вирулентным системным калицивирозом (VS-FCV) наблюдаются лихорадка, отек кожи, язвенные поражения на голове и конечностях, а также желтуха [2]. В некоторых случаях могут наблюдаться симптомы артрита [3], энтерита [4] и поражения глаз [5].

FCV проникает в организм в основном через носовые ходы, рот и конъюнктиву. Ротоглотка является основным местом репликации вируса, вызывающей некроз эпителия. После выздоровления от острой формы заболевания большинство кошек избавляются от вируса в течение 30 дней.

Некоторые кошки являются пожизненными носителями из-за его колонизации FCV в миндалинах и других тканях. Очевидно, что понимание молекулярно-генетических свойств этого вируса и его патогенетических особенностей вызвали импульс для развития более универсальных вирусологических исследований и разработке новых лекарственных препаратов [6]. Однако FCV по-прежнему представляет опасность для семейства кошачьих по всему миру, особенно в форме VS-FCV, который, несмотря на современные достижения ветеринарной терапии и фармакологии, сопровождается достаточно существенной летальностью [7, 8]. Системная противовирусная терапия при FCV в настоящий момент крайне ограничена, поскольку большинство препаратов, для которых проведен ряд клинических исследований, остаются неэффективными, однако поиск решений в отношении этиотропной терапии этого заболевания активно продолжается [9]. В связи с этим, повышение качества диагностики и лечения калицивироза кошек остается актуальной проблемой ветеринарной медицины, требующей своевременной систематизации и анализа результатов последних научных исследований. Цель обзора – проанализировать и обобщить результаты отечественных и зарубежных научных исследований по вопросам диагностики и лечения калицивироза кошек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Проведен поиск информации (обзорные и оригинальные научные пуб-

ликации, руководства) на русском и английском языках, в которой отражены вопросы диагностики и лечения FCV. Поиск публикаций осуществлялся в научных электронных библиотеках «eLIBRARY.RU» и «КиберЛенинка», в информационных поисковых системах «PubMed», «ResearchGate», «OpenAlex» и «Google Scholar». Временной диапазон поиска был неограниченным, в обзор не были включены публикации из не рецензируемых изданий.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Диагноз FCV может быть поставлен на основании выделения вируса или с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) с обратной транскрипцией. Вирусную РНК можно обнаружить в мазках с конъюнктивы и ротовой полости, в крови, соскобах с кожи или в тканях лёгких. К положительным результатам ПЦР следует относиться с осторожностью, так как они могут быть следствием выделения вируса в небольших количествах у персистентно инфицированных носителей. Диагностика VS-FCV проводится на основании клинических признаков и выделения одного и того же штамма из крови нескольких больных кошек [2]. При этом S. J. Kim, Y.H. Park и K.T. Park (2020) [10], наглядно продемонстрировали, что для повышения качества диагностики FCV методом ПЦР и создания новых эффективных наборов праймеров, необходим непрерывный мониторинг филогенетических и молекулярно-генетических характеристик этого вируса.

В 2022 были опубликованы два чувствительных метода обнаружения нуклеиновой кислоты FCV на основе ПЦР с обратной транскрипцией и трансрасщепляющей активности CRISPR-Cas13a. [11]. В этом же году D. Liu et al. (2022) [12] разработали и представили метод ферментативной рекомбиназной амплификации (ERA) в сочетании с устройством бокового потока (LFD) для обнаружения FCV, нацеленный на относительно распространенную позицию FCV-ORF1. Результаты исследований авторов показали, что оптимальными

условиями реакции являются температура 40°C и время 30 минут. Метод ERA-LFD обладает высокой чувствительностью: предел обнаружения составляет всего 3,2 50%-ные инфицирующие дозы (TCID₅₀) РНК FCV на реакцию. Анализ специфичности показал отсутствие перекрестной реакции с панлейкопенией кошек (FPV), вирусом герпеса кошек 1 типа (FHV-1) и вирусом инфекционного перитонита кошек (FIPV). Метод ERA-LFD отличается высокой повторяемостью и воспроизводимостью: внутри- и межанализаторные коэффициенты вариации для этого метода составляют менее 7 %.

При поиске оптимальных мест отбора проб для выявления инфекций верхних дыхательных путей, C. Schulz et al. (2015) [13] продемонстрировали, что из 104 больных кошек инфекционные агенты были выявлены у 93 (89,4 %) кошек. Из них у 55,8 % был положительный результат на FHV-1, у 50,0 % — на FCV и у 35,6 % — на Chlamydia felis. При этом FCV чаще обнаруживался в ротоглотке (92,3%) и на языке (90,4%), чем на конъюнктиве (38,5%). В связи с этим ротовую полость можно рекомендовать в качестве предпочтительного места для взятия одного образца с целью выявления FCV, FHV-1 и Chlamydia felis, если можно взять только один образец. Однако взятие образцов из разных мест значительно повышает вероятность выявления вышеуказанных патогенов.

В связи с тем фактом, что FCV и FHV-1 являются наиболее распространёнными вирусными патогенами, вызывающими респираторные заболевания у кошек, и часто встречаются в сочетании друг с другом, в 2023 году был разработан и внедрен двойной метод экспресс-анализа для выявления этих вирусов [14]. Позже был опубликован сверхчувствительный метод визуального обнаружения FCV и FHV-1 с помощью однопроволочного анализа dRPA-Cas12a/Cas13a, что, по мнению авторов публикации, обеспечивает беспрецедентное удобство при наблюдении за коинфекцией этих вирусов и принятии решений по тактике лечения

[15].

J. Ye et al. (2022) [16] предложили способ метода тройной наноПЦР для выявления FCV, FPV и FHV-1, а затем H Wang et al. (2025) [17] успешно разработали метод флуоресцентной количественной ПЦР TaqMan MGB (Minor Groove Binder) для одновременного выявления FPV, и FHV-1, FCV и FIPV.

В 2026 году опубликованы сведения о разработке флуоресцентного изотермического анализа с использованием рекомбинантной полимеразной амплификации (RPA) для быстрого выявления FCV. Результаты показали, что предел обнаружения при анализе РНК в реальном времени составляет 100 копий/мкл, что говорит о высокой чувствительности метода. Кроме того, анализ РНК в реальном времени показал отличные результаты при выявлении клинических образцов по сравнению с методом количественной ПЦР TaqMan. Частота выявления FCV составила 38,5% (57/148) при использовании анализа (RPA) в режиме реального времени и была немного выше, чем 37,2 % (55/148) при использовании количественной ПЦР. В целом анализ RPA в режиме реального времени может применяться для выявления FCV в клинической диагностике и представляет собой альтернативную стратегию для быстрого и чувствительного выявления FCV в лабораториях и ветеринарных клиниках, особенно в тех, где возможности ограничены [18].

Плазмидный анализ высокого разрешения для одновременного выявления и дифференциации штаммов FCV, представленный K. Phongroop et al. (2023) [19], показал, что в рамках одной ПЦР можно одновременно обнаружить и генетически различить вакцинальные и полевые штаммы, а также штаммы VS-FCV, что впервые продемонстрировало возможности и преимущества комбинированного анализа обратной транскрипции, количественной ПЦР и гибридизации с использованием флуоресцентных меток (ОТ-кПЦР-ФМ) для выявления FCV и дифференциации штаммов у кошек, заражённых естественным путём.

Переходя к вопросу лечения калицивируса у кошек, прежде всего необходима поддерживающая терапия (в том числе инфузионная) и оптимальный уход. Кошек с анорексией следует кормить пищей с привлекательным вкусом и запахом, которая должна быть однородной и тёплой, при этом у многих животных становятся эффективным и оправданным применение стимуляторов аппетита. Крайне важно уделять внимание консистенции корма и избегать возможной боли при приеме пищи. У животных со значительными поражениями ротовой полости и тяжелым течением заболевания показана установка эзофагостомы. Применение обезболивающих препаратов, в том числе местных анальгетиков могут улучшить аппетит. Для улучшения проходимости и очищения дыхательных путей показаны муколитические препараты (например, бромгексина гидрохлорид) или ингаляции с физиологическим раствором. Для предотвращения вторичных бактериальных инфекций, представляющих угрозу для молодых кошек или животных с ослабленным иммунитетом, рекомендуется назначать антибиотики широкого спектра действия. Однако, согласно современным рекомендациям, их применение оправдано только при длительном течении болезни (более 10 дней) или тяжёлом состоянии животного [2, 20]. Антибиотиками выбора в таких случаях считаются доксициклин или амоксициллин с клавулановой кислотой [21].

A. Synowies et al. (2019) [22] попытались оценить противовирусную эффективность поли (4-стиролсульфонатов натрия) (PSSNa) как мощных ингибиторов FHV-1 и FCV для местного применения. Исследования показали, что PSSNa воздействует непосредственно на частицы FHV-1, блокируя их взаимодействие с клеткой-хозяином и предотвращая заражение. Противовирусная эффективность же в отношении FCV основана на ингибировании на поздних стадиях цикла репликации вируса. Z. Cui et al. (2020) [23] сообщают, что нитазоксанид и мизоринин обладают противовирусной активностью

в отношении различных штаммов FCV, а также продемонстрировали синергетический эффект этих двух препаратов. Клинические исследования продемонстрировали, что нитазоксанид значительно уменьшает клинические симптомы инфекции, а также уменьшает выделение вируса.

В исследованиях с использованием анализа ингибирования цитопатического эффекта на основе резазурина, P. McDonagh et al. (2015) [24] раскрыли сильный ингибирующий эффект мефлохина в отношении панели из семи изолятов FCV из Австралии, при этом расчетные значения полумаксимальной ингибирующей концентрации (IC_{50}) для полевых изолятов были примерно на 50% ниже, чем против референсного штамма FCV F9. Комбинированная терапия *in vitro* с использованием рекомбинантного интерферона- ω (IFN- ω) кошки, модификатора биологического ответа (МБО), в настоящее время зарегистрированного для лечения FCV, продемонстрировала аддитивный эффект с одновременным снижением IC_{50} мефлохина. Эти данные являются первым сообщением об противовирусном действии мефлохина против калицивируса и подтверждают необходимость дальнейшей оценки этого соединения *in vitro* и *in vivo* в качестве противовирусного терапевтического средства.

FCV индуцирует выработку циклооксигеназы-2 (ЦОГ-2) через сигнальный путь MEK1-ERK1/2. Скрининг белков FCV показал, что неструктурный белок VPg увеличивает экспрессию мРНК ЦОГ-2 и синтез белка в клетках кошачьей почки Крэнделла-Риза (CRFK) в зависимости от концентрации вируса. В смоделированных условиях *in vivo* производство ЦОГ-2 и ИЛ-6, вызванное инфицированием FCV, значительно подавлялось ингибитором MEK1 AZD6244 (селуметиниб), при этом воспаление и повреждение лёгких практически нивелировалось, а температура тела возвращалась к норме. Таким образом, AZD6244 может быть использован в качестве эффективного терапевтического средства для лечения ин-

фекции FCV [25].

Мезенхимальные стволовые клетки обладают противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами, а также оказывают терапевтическое воздействие при некоторых вирусных заболеваниях. T. Teshima et al. (2022) [26] установили, что секрет мезенхимальных стволовых клеток кошек не препятствовал проникновению вирусов FCV в клетки CRFK, но оказывал противовирусное действие на репликацию вируса в зависимости от дозы.

В исследованиях P. McDonagh et al. (2015) [27] была разработана панель из восьми малых интерферирующих РНК (миРНК), нацеленных на четыре консервативных региона генома FCV. Эффективность миРНК в отношении противовирусного действия *in vitro* против референсного штамма FCV F9 оценивалась путем определения внеклеточных титров вируса и морфологической оценки защиты от цитопатического эффекта. Три из миРНК (FCV3.7, FCV4.1 и FCV4.2) продемонстрировали выраженный противовирусный эффект с уменьшением внеклеточного титра вируса более чем на 99%. Титрование этих эффективных миРНК продемонстрировало четкую зависимость концентрация-эффект, со значениями IC_{50} приблизительно 1 нМ, а комбинированное лечение несколькими миРНК показало аддитивный или синергический эффект. В совокупности эти данные предполагают потенциальное терапевтическое применение РНК-интерференции для лечения FCV.

Чтобы разработать эффективное средство для лечения FCV, J. Wu et al. (2025) [28] смоделировали инфекционный процесс у кошек, используя распространенный штамм FCV (FG24-1), выделенный из клинических образцов, и оценили терапевтический эффект агониста толл-подобного рецептора 9 (TLR9) CpG49 (плазмиды CpG с высокой иммуностимулирующей способностью). Авторами было установлено, что CpG49 вызывает сильные Th1-опосредованные интерфероновые (I и II) ответы, тем самым значи-

тельно ингибируя репликацию FCV как *in vitro*, так и *in vivo*. Примечательно, что CpG49 значительно снизил в сыворотке крови уровень сывороточного амилоида А кошек (fSAA), одновременно повысив уровень интерферона- γ (IFN- γ), что указывает на его потенциал в уменьшении чрезмерного воспалительного повреждения и оптимизации иммунного ответа. Эти иммуностимулирующие эффекты CpG49 уменьшили клинические симптомы, ускорили выздоровление и уменьшили выделение вируса у кошек, инфицированных FCV. Это исследование подтверждает потенциал CpG49 как многообещающего и безопасного терапевтического средства против FCV, открывая новое направление для разработки экономически эффективных методов лечения.

Известно, что уровень антиапоптотического белка сурвивина снижается во время заражения калицивирозом в рамках процесса апоптоза, необходимого для высвобождения вируса и его распространения в организме хозяина. O.S. Barrera-Vázquez et al. (2019) [29] сообщают, что сверхэкспрессия сурвивина приводит к снижению синтеза белка FCV и количества вирусного потомства, что позволяет предположить, что сурвивин может влиять на ранние этапы репликативного цикла. С помощью иммуофлуоресцентного анализа обнаружено, что сверхэкспрессия сурвивина приводит к снижению инфицирования FCV не только в трансфицированных, но и в соседних нетрансфицированных клетках CRFK, что указывает на аутокринный и паракринный защитный эффект. Все эти результаты в совокупности указывают на то, что клетки, экспрессирующие сурвивин в избытке, или клетки, обработанные кондиционированной средой из них, приводят к снижению количества молекул клеточной адгезии кошек-1 (fJAM-1) и, следовательно, к специфическому снижению проникновения и инфицирования FCV.

Склареол – это дитерпеноидное природное ароматическое соединение типа лабдановых, обладающее широким спектром биологических свойств, таких как

противовоспалительные, антимикробные и противогрибковые свойства. Исследование Y. Yan et al. (2025) [30] показало, что склареол эффективно подавляет репликацию FCV в CRFK. Результаты секвенирования РНК показали, что склареол может значительно подавлять размножение вируса, воздействуя на сигнальный путь TNF- α . Более того, подавление рецептора TNFR, ассоциированного с TNF, значительно снижает его репликацию. Установлено, что склареол значительно подавляет апоптоз, вызванный FCV, а активатор апоптоза прокаспаз-активирующего соединения 1 (PAC-1) может значительно усилить противовирусный эффект склареола. Кроме того, в ходе исследований *in vivo* авторы данного исследования обнаружили, что склареол уменьшает воспаление в лёгких и снижает апоптоз, инфильтрацию воспалительными клетками и отёк лёгких, вызванные FCV.

Интерфероны могут подавлять большинство, если не все, вирусные инфекции, стимулируя транскрипцию сотен интерферон-индуцируемых генов (ISG). Интерферон эффективно подавляет репликацию FCV, но механизм его противовирусной активности изучен плохо. Y. Liu et al. (2018) [31] оценили противокалицивирусную активность десяти ISG, о противовирусной активности которых сообщалось ранее. Результаты исследований показали, что регуляторный фактор интерферона 1 (IRF1) может значительно подавлять репликацию FCV, в то время как другие протестированные регуляторные факторы интерферона не справились с этой задачей. Кроме того, IRF1 локализуется в ядре и эффективно активирует IFN- β и промотор интерферон-чувствительного элемента ответа (ISRE). IRF1 может запускать выработку эндогенного интерферона и экспрессию генов-индукторов интерферона, что позволяет предположить, что IRF1 может положительно регулировать передачу сигналов интерферона. Результаты исследований отечественных ученых показали, что применение интерферона кошки (Флиферон, ООО «НТЦ БиоИнвест», Россия) в соче-

тании с препаратом «Ремаксол» (ООО «НТФФ ПОЛИСАН», Россия) продемонстрировало положительное влияние на баланс про- и антиоксидантов у животных с классической клинической картиной FCV [32].

Согласно сведениям, представленным М. Umehashi et al. (2002) [33] внутривенное введение кошкам антител против FHV-1 и FCV, экспериментально зараженных этими вирусами, приводило к клиническому улучшению у опытной группы животных, по сравнению с контрольной. Y. Friedl et al. (2014) [34] провели исследование 22 кошек, инфицированных FHV-1 и/или FCV и имеющих острое течение болезни, которым вводили иммуноглобулины (Фелизерин, IDT) один раз в день подкожно и три раза в день применяли местно (в глаза, носовые ходы и ротовую полость) в течение 3 последовательных дней. Результаты исследований показали, что в группе кошек, у которых в лечении применялся иммуноглобулин снизилась тяжесть респираторных симптомов и значительно улучшилось общее самочувствие уже на 3-й день, в то время как у контрольных кошек, получавших только симптоматическое лечение, значительное улучшение наблюдалось только на 7-й день. Однако к 7-му дню лечения разницы между контрольными и опытными кошками обнаружено не было, так как состояние животных улучшилось одинаково в обеих группах.

Во время трёх вспышек VS-FCV в Австралии, М. Bordicchia et al. (2021) [35] оценили эффективность нитазоксанида (NTZ), 2'-С-метилцитидина (2СМС) и 7-деаза-2'-С-ацетилен-аденозин (NITD-008) против этого вируса *in vitro*. При анализе инфекционной активности возбудителя методом бляшкообразования было выявлено ингибирование VS-FCV в зависимости от дозы всеми вышеуказанными препаратами при низких микромолярных концентрациях, что, по мнению авторов исследования, может стать предпосылкой для дальнейших клинических исследований.

В отечественной литературе имеются

сведения о положительном влиянии на больных калицивирозом кошек препаратов «Ронколейкин» (ООО «НПК» «БИОТЕХ», Россия), который содержит в составе рекомбинантный интерлейкин-2 (ИЛ-2) человека, выделенный из клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* [36] и «Гамапрен» (ООО «ГамаВетФарм», Россия), содержащий в качестве действующего вещества динатриевую соль фосфата полипептидов [37]. Авторы данных исследований заявляют, что исчезновение клинических признаков FCV и возврат некоторых клинико-лабораторных показателей крови до физиологической нормы наступали в более ранние сроки.

В исследованиях *in vitro* на клетках, полученных из ткани почек кошек (F81), было продемонстрировано дозозависимое противовирусное действие на FCV хлорида меди [38] и хлорида лития [39] с низким цитотоксическим эффектом, что может быть актуальным при планировании дальнейших исследований *in vivo*.

Некоторые растительные экстракты рассматриваются как фитопрепараты при лечении вирусных инфекций из-за их биоактивных компонентов. D.J. Seo и C. Choi (2017) [40] изучали ингибирующее действие 29 пищевых растительных экстрактов на FCV, который был значительно ингибирован до $86,89 \pm 2,01$ и $48,71 \pm 7,38\%$ при концентрации 100 мкг/мл *Camellia sinensis* и *Ficus carica* соответственно. Аналогичным образом, рибавирин в концентрации 100 мкМ значительно снижал титр FCV на $77,69 \pm 10,40\%$. *Pleuropteris multiflorus* (20 мкг/мл) продемонстрировал противовирусную активность $53,33 \pm 5,77\%$, а после обработки 20 мкг/мл *Alnus japonica* наблюдалось ингибирование на $50,00 \pm 16,67\%$. Однако это исследование было проведено с целью выявления эффективности вышеуказанных растительных экстрактов в борьбе с норовирусами без цитотоксического воздействия, а FCV использовался как суррогатная модель без перспективы использования у кошек. Подобные исследования были проведены M.S. Sabrin et al. (2021) [41] в отношении вирулицидной активно-

сти химических компонентов растений рода *Dracoscephalum*, богатых флавоноидами и фенилпропаноидными олигомерами.

Н. Wu et al. (2016) [42] обнаружили, что гермакрон (Эфирное масло *Geranium macrorrhizum*), способен эффективно подавлять рост штамма F9 FCV *in vitro*. Это соединение оказывает сильное противовирусное действие в основном на ранней стадии заражения вирусом. Противовирусный эффект зависит от концентрации препарата. Кроме того, гермакрон оказал значительное ингибирующее действие на два других эталонных штамма – 2280 и Bolin, а также привел к значительному снижению репликации штаммов WZ-1 и HRB-SS, которые были недавно выделены в Китае. К тому же Z. Cui et al. (2021) [43] в ходе своего исследования установили, что икариин (ICA), формонетин (FMN) и фенилэтиловый эфир кофейной кислоты (CAPE) оказывают заметное противовирусное действие на FCV *in vitro*, обладая низкой цитотоксичностью по отношению к клеткам F81. Далее было обнаружено, что ICA и FMN в основном действуют на ранней стадии заражения FCV, в то время как CAPE может действовать как на ранней, так и на поздней стадии заражения. При этом ICA оказывает антагонистическое действие на FMN и CAPE при заражении вирусом, а FMN оказывает синергетическое действие с CAPE. Однако для оценки этих средств как противовирусных препаратов при лечении FCV необходимы масштабные исследования *in vivo*.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Эталонным способом диагностики FCV по-прежнему остается метод ПЦР, однако для создания новых эффективных наборов праймеров, необходим непрерывный мониторинг филогенетических и молекулярно-генетических характеристик этого вируса. Установлено, что ротовая полость – предпочтительное место для взятия образцов для выявления FCV.

Потребность в совершенствовании диагностики послужила заделом для создания метода на основе ПЦР с обратной

транскрипцией и транс-расщепляющей активности CRISPR-Cas13a, метода ERA в сочетании с LFD, нацеленный на позицию FCV-ORF1, а также флуоресцентного изотермического анализа с использованием RPA для быстрого выявления FCV.

В связи с возрастающей необходимостью комплексной диагностики вирусных заболеваний кошек, которые зачастую ассоциированы с FCV, стала актуальной разработка сверхчувствительного метода визуального обнаружения FCV и FHV-1 с помощью однопроворочного анализа dRPA-Cas12a/Cas13a, метода тройной наноПЦР для выявления FCV, FPV и FHV-1 и метода флуоресцентной количественной ПЦР TaqMan MGB для одновременного выявления FPV и FHV-1, FCV и FIPV. Также в рамках одной ПЦР стало возможным одновременно обнаружить и генетически различить вакцинальные и полевые штаммы благодаря комбинированному анализу обратной транскрипции, количественной ПЦР и гибридизации с использованием флуоресцентных меток.

Эффективная системная противовирусная терапия при FCV в настоящий момент не разработана, в связи с чем поддерживающая и симптоматическая терапия, а также качественный уход и кормление занимают одну из ключевых позиций в лечении инфицированных кошек. Во многих случаях может быть оправдано применение муколитических препаратов, анальгетиков и стимуляторов аппетита. Для предотвращения вторичных бактериальных инфекций применяют доксициклин или амоксициллин с клавулановой кислотой.

Клинические исследования показали, что нитазоксанид и мизорибин обладают противовирусной активностью в отношении FCV и могут уменьшать клинические симптомы болезни, а также ускорять выздоровление. CpG49 вызывает сильные Th1-опосредованные интерфероновые (I и II) ответы, тем самым значительно ингибируя репликацию FCV как *in vitro*, так и *in vivo*. В качестве местной противовирусной терапии хороший эффект показал PSSNa, который приводит к ингибированию

нию на поздних стадиях цикла репликации FCV.

Внутривенное введение кошкам антител против FHV-1 и FCV приводит к более быстрому снижению тяжести респираторных симптомов и улучшению общего самочувствия уже на 3-й день, однако к 7-му дню лечения разницы в состоянии между кошками, которым были введены и не введены антитела, не обнаружено. Имеются сведения о положительном влиянии на больных калицивирозом кошек и их клинико-лабораторные показатели препаратов «Ронколейкин» и «Гамапрен», которые также способствуют более раннему исчезновению клинических признаков, а применение интерферона кошки в сочетании с препаратом «Ремаксол» оказывает положительное влияние на баланс про- и антиоксидантов.

В исследованиях *in vitro* раскрыт сильный ингибирующий эффект мефлохина, AZD6244 склареола, NTZ, 2CMC, NITD-008, хлорида меди и хлорида лития. Также было обнаружено противовирусное действие некоторых растительных экстрактов, ICA, FMN и CPAE, однако для оценки безопасности и внедрения этих соединений в схемы лечения FCV необходимы дальнейшие исследования *in vitro* и *in vivo*. Иммунофлуоресцентный анализ показал, что сверхэкспрессия сурвивина приводит к снижению инфицирования FCV. Секрет мезенхимальных стволовых клеток кошек не препятствует проникновению вирусов FCV в клетки CRFK, но оказывает противовирусное действие на репликацию вируса в зависимости от дозы. Три из миРНК (FCV3.7, FCV4.1 и FCV4.2) продемонстрировали выраженный противовирусный эффект с уменьшением внеклеточного титра вируса более чем на 99%, что создало предпосылки для потенциального терапевтического применения РНК-интерференции при FCV.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ:

ПЦР – полимеразная цепная реакция
ЦОГ-2 – циклооксигеназа-2
CPAE – фенилэтиловый эфир кофейной кислоты
CpG49 – плазмиды CpG с высокой

иммуностимулирующей способностью

CRFK – клетки кошачьей почки Крэнделла-Риза

ERA – ферментативная рекомбиназная амплификация

ERK1/2 – внеклеточная сигнальная киназа 1/2

F81 – клеточная линия, полученная из ткани почек кошек

FCV – калицивирус кошек

FHV-1 – герпес вирус кошек 1 типа

FIPV – вирус инфекционного перитонита кошек

fJAM-1 – молекула клеточной адгезии кошек-1

FMN – формононетин

FPV – вирус панлейкопении кошек

fSAA – сывороточный амилоид А кошек

IC₅₀ – полумаксимальная ингибирующая концентрация

ICA – икариин,

IFN-β - интерферон-β

IFN-γ – интерферон-γ

IFN-ω – интерферон-ω

IRF1 – регуляторный фактор интерферона 1

ISG – интерферон-индуцируемые гены

ISRE – интерферон-чувствительный элемент ответа

LFD – устройство для бокового потока

MEK1 – митоген-активируемая протеинкиназа 1

ORF1 – открытая рамка считывания 1

PAC-1 – прокаспаз-активирующее соединение 1

PSSNa – поли(4-стиролсульфонатов натрия)

RPA – рекомбиназная полимеразная амплификация

TCID₅₀ – 50%-ные инфицирующие дозы

TLR9 – толл-подобный рецептор 9

TNF – факторы некроза опухоли

TNF-α – фактор некроза опухоли-α

VS-FCV – вирулентный системный калицивироз кошек

ИЛ-6 – интерлейкин 6

МБО – модификатор биологического ответа

миРНК – малые интерферирующие

PHK

мPHK – матричная PHK

CURRENT ADVANCES IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF FELINE CALICIVIRUS

Dannikov S.P. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physiology, Surgery, and Obstetrics (ORCID 0000-0002-9839-3310); **Shakhova V.N.** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Therapy and Pharmacology (ORCID ORCID 0000-0003-3999-5362); **Gvozdetsky N.A.** – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Epizootology and Microbiology (ORCID ORCID 0000-0002-6856-4932); **Kvochko A.N.** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology, Surgery, and Obstetrics (ORCID 0000-0003-4445-7638).

Stavropol State Agrarian University

ds.as@mail.ru

ABSTRACT

This review summarizes and analyzes the results of scientific research on the diagnosis and treatment of feline calicivirus (FCV) infection. It has been established that continuous monitoring of the phylogenetic and molecular-genetic characteristics of FCV is essential for developing new effective primer sets for its PCR-based diagnosis. The oral cavity is identified as the preferred site for sample collection for FCV detection. Various advanced diagnostic methods have been developed, including a reverse transcription PCR (RT-PCR) method with CRISPR-Cas13a trans-cleavage activity, the ERA method combined with LFD (Lateral Flow Device) targeting the FCV-ORF1 region, and fluorescent isothermal analysis using Recombinase Polymerase Amplification (RPA) for rapid FCV detection. Additionally, an ultrasensitive visual detection method for FCV and FHV-1 using a single-tube dRPA-Cas12a/Cas13a assay, a triple nanoPCR method for FCV, FPV, and FHV-1 detection, and a TaqMan MGB fluorescent

quantitative PCR method for simultaneous detection of FPV, FHV-1, FCV, and FIPV have been developed. Furthermore, a single PCR assay has enabled the simultaneous detection and genetic differentiation of vaccine and field strains of the virus. Effective systemic antiviral therapy for FCV is currently not developed. Consequently, supportive and symptomatic therapy, along with high-quality nursing care and feeding, play a key role in the management of infected cats. Clinical studies have shown that nitazoxanide, mizoribine, and CpG49 possess antiviral activity, while PSSNa has demonstrated good efficacy for topical application. Administration of antibodies against FHV-1 and FCV leads to a relatively rapid reduction in the severity of respiratory symptoms and overall improvement in well-being. There is evidence of a positive effect of "Roncoleukin" and "Gamapren" on FCV-infected cats and their clinical and laboratory parameters, while the administration of feline interferon combined with "Remaxol" positively influences the pro- and antioxidant balance. In vitro studies have revealed a strong inhibitory effect against FCV by mefloquine, AZD6244, sclareol, NTZ, 2CMC, NITD-008, copper chloride, and lithium chloride. Antiviral activity has also been observed for certain plant extracts, ICA, FMN, and CPAE. Survivin overexpression leads to reduced FCV infection. The secretome of feline mesenchymal stem cells does not prevent FCV entry into CRFK cells but exerts an antiviral effect on viral replication. There is also evidence regarding the potential therapeutic application of RNA interference in FCV.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Spiri, A.M. An Update on Feline Calicivirus / A. M.Spiri // Schweiz Arch Tierheilkd. 2022. Vol.164, № 3. P. 225-241. DOI: 10.17236/sat00346
2. Feline calicivirus infection. ABCD guidelines on prevention and management / Radford A.D.[et al.] // J Feline Med Surg. 2009. Vol.11, №7. P. 556-564. DOI: 10.1016/j.jfms.2009.05.004
3. Natural cases of polyarthritis associated

- with feline calicivirus infection in cats / A. Balboni [et al.] // *Vet Res Commun*. 2022. Vol.46, №2. P.613-619. DOI: 10.1007/s11259-022-09933-4
4. Identification feline calicivirus in cats with enteritis / B. Di Martino [et al.] // *Transbound Emerg Dis*. 2020. Vol. 67, № 6. P.2579-2588. DOI: 10.1155/tbed/8729295
5. Lewin, A.C. Detection of Mycoplasma spp. and feline calicivirus in cats with ocular surface disease / A.C. Lewin, X. Zhu // *Vet Ophthalmol*. 2024. Vol. 27, №4. P. 382-387. DOI: 10.1111/vop.13218
6. Asif, S. Unlocking the secrets of Feline calicivirus: advances in structural and non-structural proteins and its role as a key model for other Caliciviruses / S. Asif, D. Yingkun, C. Meng // *Virol J*. 2025. Vol. 22, №1. P.152. DOI: 10.1186/s12985-025-02750-6.
7. A cDNA-based reverse genetics system for feline calicivirus identifies the 3' untranslated region as an essential element for viral replication / J. Cheng [et al.] // *Arch Virol*. 2023. Vol. 168, № 2. P. 33. DOI: 10.1007/s00705-022-05695-1
8. Outbreaks of nosocomial feline calicivirus-associated virulent systemic disease in Korea / J. Park [et al.] // *J Vet Sci*. 2024. Vol. 25, № 4. e51. DOI: 10.4142/jvs.24030
9. Treatment of acute viral feline upper respiratory tract infections / M. Bergmann [et al.] // *Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere*. 2019. Vol. 47, №2. P. 98-109. DOI: 10.1055/a-0870-0801
10. Kim, S.J. Development of a novel reverse transcription PCR and its application to field sample testing for feline calicivirus prevalence in healthy stray cats in Korea / S.J. Kim, Y.H. Park, K.T. Park // *J Vet Sci*. 2020. Vol. 21, №5. e71. DOI: 10.4142/jvs.2020.21.e71
11. CRISPR-Cas13a Based Visual Detection Assays for Feline Calicivirus Circulating in Southwest China / J. Huang [et al.] // *Front Vet Sci*. 2022. Vol. 9. A.913780. DOI: 10.3389/fvets.2022.913780
12. Establishment and application of ERA-LFD method for rapid detection of feline calicivirus / D. Liu [et al.] // *Appl Microbiol Biotechnol*. 2022. Vol. 106, №4. P.1651-1661. DOI: 10.1007/s00253-022-11785-6
13. Sampling sites for detection of feline herpesvirus-1, feline calicivirus and Chlamydia felis in cats with feline upper respiratory tract disease / C. Schulz [et al.] // *J Feline Med Surg*. 2015. Vol. 17, №12. P.012-019. DOI: 10.1177/1098612X15569615
14. Development and application of a dual ERA method for the detection of Feline Calicivirus and Feline Herpesvirus Type I / B. Chen [et al.] // *Virol J*. 2023. Vol. 20, №1. P.62. DOI: 10.1186/s12985-023-02020-3
15. Ultrasensitive and visual detection of Feline herpesvirus type-1 and Feline calicivirus using one-tube dRPA-Cas12a/Cas13a assay / F. Jiang [et al.] // *BMC Vet Res*. 2024. Vol. 20, №1. P.106. DOI: 10.1186/s12917-024-03953-9
16. Development of a triple NanoPCR method for feline calicivirus, feline panleukopenia syndrome virus, and feline herpesvirus type I virus / Ye J. [et al.] // *BMC Vet Res*. 2022. Vol. 18, №1. A.379. DOI: 10.1186/s12917-022-03460-9
17. The quadruplex TaqMan MGB fluorescent quantitative PCR method for simultaneous detection of feline panleukopenia virus, feline herpesvirus 1, feline calicivirus and feline infectious peritonitis virus / H. Wang [et al.] // *Front Cell Infect Microbiol*. 2025. Vol. 15. A.1581946. DOI: 10.3389/fcimb.2025.1581946
18. Development of a fluorescence isothermal recombinase polymerase amplification assay for rapid detection of feline calicivirus / Y. Zhu [et al.] // *J Virol Methods*. 2026. Vol. 339. A.115275. DOI: 10.1016/j.jviromet.2025.115275
19. High-resolution melting analysis for simultaneous detection and discrimination between wild-type and vaccine strains of feline calicivirus / K. Phongroop [et al.] // *Vet Q*. 2023. Vol. 43, №1. P.1-12. DOI: 10.1080/01652176.2023.2272188
20. Greene, C. E. Infectious diseases of the dog and cat. / C. E. Green. – 5th ed. Elsevier, 2023. 6006 pp.
21. Antimicrobial use Guidelines for Treatment of Respiratory Tract Disease in Dogs and Cats: Antimicrobial Guidelines Working Group of the International Society for Com-

- panion Animal Infectious Diseases / M.R. Lappin [et al.] // J Vet Intern Med. 2017. Vol. 31. P.279–294. DOI: 10.1111/jvim.14627
22. Cat flu: Broad spectrum polymeric antivirals / A. Synowiec [et al.] // Antiviral Res. 2019. Vol. 170. A.104563. DOI: 10.1016/j.antiviral.2019.104563
23. Nitazoxanide protects cats from feline calicivirus infection and acts synergistically with mizoribine in vitro / Z. Cui [et al.] // Antiviral Res. 2020. Vol. 182. A.104827. DOI: 10.1016/j.antiviral.2020.104827
24. Antiviral effect of mefloquine on feline calicivirus in vitro / P. McDonagh, P.A. Sheehy, A. Fawcett, J.M. Norris // Vet Microbiol. 2015. Vol. 176, №3-4. P.370-377. DOI: 10.1016/j.vetmic.2015.02.007
25. Induction of COX-2 by feline calicivirus via activation of the MEK1-ERK1/2 pathway, and attenuation of feline lung inflammation and injury by MEK1 inhibitor AZD6244 (selumetinib) / Y. Liu [et al.] // Biochem Biophys Res Commun. 2022. Vol. 604. P.8-13. DOI: 10.1016/j.bbrc.2022.02.060
26. Antiviral Effects of Adipose Tissue-Derived Mesenchymal Stem Cells Secretome against Feline Calicivirus and Feline Herpesvirus Type 1 / T. Teshima [et al.] // Viruses. 2022. Vol. 14, №8. A.1687. DOI: 10.3390/v14081687
27. In vitro inhibition of field isolates of feline calicivirus with short interfering RNAs (siRNAs) / P. McDonagh, P.A. Sheehy, A. Fawcett, J.M. Norris // Vet Microbiol. 2015. Vol.177, № 1-2. P. 78-86. DOI: 10.1016/j.vetmic.2015.02.015
28. Identification of prevalent Feline Calicivirus strains and novel antiviral efficacy of CpG49 stimulus in Feline Calicivirus-infected cats / J. Wu [et al.] // Int J Biol Macromol. 2025. Vol. 313. A.144105. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144105
29. Survivin Overexpression Has a Negative Effect on Feline Calicivirus Infection / O.S. Barrera-Vázquez [et al.] // Viruses. 2019. Vol. 11, №11. A.996. DOI: 10.3390/v11110996
30. Sclareol can effectively ameliorate Feline calicivirus induced lung injury via the inhibition of inflammation and apoptosis / Y. Yan [et al.] // Int Immunopharmacol. 2025. Vol. 164. A.115342. DOI: 10.1016/j.intimp.2025
31. Identification of Feline Interferon Regulatory Factor 1 as an Efficient Antiviral Factor against the Replication of Feline Calicivirus and Other Feline Viruses / Y. Liu [et al.] // Biomed Res Int. 2018. A.2739830. DOI: 10.1155/2018/2739830
32. Луговов, А.А. Показатели окислительного стресса у кошек при комплексном лечении калицивироза / А.А. Луговов, И.А. Пахмутов // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2019. Т. 237. № 1. С. 131-135. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-237-1-131-135
33. Post-exposure treatment of cats with mouse-cat chimeric antibodies against feline herpesvirus type 1 and feline calicivirus / M. Umehashi [et al.] // J Vet Med Sci. 2002. Vol. 64, № 11. A.1017-1021. DOI: 10.1292/jvms.64.1017
34. Efficacy of passively transferred antibodies in cats with acute viral upper respiratory tract infection // Vet J. 2014. Vol. 201. P. 316–321. doi:10.1016/j.tvjl.2014.05.002
35. Feline Calicivirus Virulent Systemic Disease: Clinical Epidemiology, Analysis of Viral Isolates and In Vitro Efficacy of Novel Antivirals in Australian Outbreaks / M. Bordicchia [et al.] // Viruses. 2021. Vol. 13, №10. A.2040. DOI: 10.3390/v13102040
36. Кораблева, Т.Р. Применение препарата «Ронколейкин» в комплексном лечении калицивироза кошек / Т.Р. Кораблева, Ю.А. Гугосьян, К.С. Устименко // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. Т.193, № 30. С. 148-155.
37. Клиническая эффективность Гамапрена® при калицивирусной инфекции кошек / А.В. Санин [и др.] // Ветеринария. 2018. № 5. С. 25-31.
38. Antiviral effect of copper chloride on feline calicivirus and synergy with ribavirin in vitro / D. Li [et al.] // BMC Vet Res. 2020. Vol.16, №1. A.231. DOI: 10.1186/s12917-020-02441-0
39. Antiviral effect of lithium chloride on feline calicivirus in vitro / H. Wu [et al.] //

Arch Virol. 2015. Vol. 160, № 12. P.2935-2943. DOI: 10.1007/s00705-015-2534-8

40. Seo, D.J. Inhibition of Murine Norovirus and Feline Calicivirus by Edible Herbal Extracts / D.J. Seo, C. Choi // Food Environ Virol. 2017. Vol. 9, № 1. P. 35-44. DOI: 10.1007/s12560-016-9269-x

41. Isolation and evaluation of virucidal activities of flavanone glycosides and rosmarinic acid derivatives from *Dracocephalum* spp. against feline calicivirus / M.S. Sabrin [et al.] // Phytochemistry. 2021. Vol. 191. A.112896. DOI: 10.1016/j.phytochem.2021.112896

42. In vitro antiviral effect of germacrone on feline calicivirus / H. Wu [et al.] // Arch Virol. 2016. Vol. 161, №6. P.1559-1567. DOI: 10.1007/s00705-016-2825-8

43. Icariin, Formononetin and Caffeic Acid Phenethyl Ester Inhibit Feline Calicivirus Replication In Vitro / Z. Cui [et al.] // Arch Virol. 2021. Vol. 166, №9. P. 2443-2450. DOI: 10.1007/s00705-021-05107-w.

REFERENCES

1. Spiri, A.M. An Update on Feline Calicivirus / A. M.Spiri // Schweiz Arch Tierheilkd. 2022. Vol.164, № 3. P. 225-241. DOI: 10.17236/sat00346

2. Feline calicivirus infection. ABCD guidelines on prevention and management / Radford A.D.[et al.] // J Feline Med Surg. 2009. Vol.11, №7. P. 556-564. DOI: 10.1016/j.jfms.2009.05.004

3. Natural cases of polyarthritis associated with feline calicivirus infection in cats / A. Balboni [et al.] // Vet Res Commun. 2022. Vol.46, №2. P.613-619. DOI: 10.1007/s11259-022-09933-4

4. Identification feline calicivirus in cats with enteritis / B. Di Martino [et al.] // Transbound Emerg Dis. 2020. Vol. 67, № 6. P.2579-2588. DOI: 10.1155/tbed/8729295

5. Lewin, A.C. Detection of *Mycoplasma* spp. and feline calicivirus in cats with ocular surface disease / A.C. Lewin, X. Zhu // Vet Ophthalmol. 2024. Vol. 27, №4. P. 382-387. DOI: 10.1111/vop.13218

6. Asif, S. Unlocking the secrets of Feline calicivirus: advances in structural and non-structural proteins and its role as a key mod-

el for other Caliciviruses / S. Asif, D. Yingkun, C. Meng // Virol J. 2025. Vol. 22, №1. P.152. DOI: 10.1186/s12985-025-02750-6.

7. A cDNA-based reverse genetics system for feline calicivirus identifies the 3' untranslated region as an essential element for viral replication / J. Cheng [et al.] // Arch Virol. 2023. Vol. 168, № 2. P. 33. DOI: 10.1007/s00705-022-05695-1

8. Outbreaks of nosocomial feline calicivirus-associated virulent systemic disease in Korea / J. Park [et al.] // J Vet Sci. 2024. Vol. 25, № 4. e51. DOI: 10.4142/jvs.24030

9. Treatment of acute viral feline upper respiratory tract infections / M. Bergmann [et al.] // Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere. 2019. Vol. 47, №2. P. 98-109. DOI: 10.1055/a-0870-0801

10. Kim, S.J. Development of a novel reverse transcription PCR and its application to field sample testing for feline calicivirus prevalence in healthy stray cats in Korea / S.J. Kim, Y.H. Park, K.T. Park // J Vet Sci. 2020. Vol. 21, №5. e71. DOI: 10.4142/jvs.2020.21.e71

11. CRISPR-Cas13a Based Visual Detection Assays for Feline Calicivirus Circulating in Southwest China / J. Huang [et al.] // Front Vet Sci. 2022. Vol. 9. A.913780. DOI: 10.3389/fvets.2022.913780

12. Establishment and application of ERA-LFD method for rapid detection of feline calicivirus / D. Liu [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. 2022. Vol. 106, №4. P.1651-1661. DOI: 10.1007/s00253-022-11785-6

13. Sampling sites for detection of feline herpesvirus-1, feline calicivirus and *Chlamydia felis* in cats with feline upper respiratory tract disease / C. Schulz [et al.] // J Feline Med Surg. 2015. Vol. 17, №12. P.012-019. DOI: 10.1177/1098612X15569615

14. Development and application of a dual ERA method for the detection of Feline Calicivirus and Feline Herpesvirus Type I / B. Chen [et al.] // Virol J. 2023. Vol. 20, №1. P.62. DOI: 10.1186/s12985-023-02020-3

15. Ultrasensitive and visual detection of Feline herpesvirus type-1 and Feline calicivirus using one-tube dRPA-Cas12a/Cas13a assay / F. Jiang [et al.] // BMC Vet Res.

2024. Vol. 20, №1. P.106. DOI: 10.1186/s12917-024-03953-9
16. Development of a triple NanoPCR method for feline calicivirus, feline panleukopenia syndrome virus, and feline herpesvirus type 1 virus / Ye J. [et al.] // BMC Vet Res. 2022. Vol. 18, №1. A.379. DOI: 10.1186/s12917-022-03460-9
17. The quadruplex TaqMan MGB fluorescent quantitative PCR method for simultaneous detection of feline panleukopenia virus, feline herpesvirus 1, feline calicivirus and feline infectious peritonitis virus / H. Wang [et al.] // Front Cell Infect Microbiol. 2025. Vol. 15. A.1581946. DOI: 10.3389/fcimb.2025.1581946
18. Development of a fluorescence isothermal recombinase polymerase amplification assay for rapid detection of feline calicivirus / Y. Zhu [et al.] // J Virol Methods. 2026. Vol. 339. A.115275. DOI: 10.1016/j.jviromet.2025.115275
19. High-resolution melting analysis for simultaneous detection and discrimination between wild-type and vaccine strains of feline calicivirus / K. Phongroop [et al.] // Vet Q. 2023. Vol. 43, №1. P.1-12. DOI: 10.1080/01652176.2023.2272188
20. Greene, C. E. Infectious diseases of the dog and cat. / C. E. Green. – 5th ed. Elsevier, 2023. 6006 pp.
21. Antimicrobial use Guidelines for Treatment of Respiratory Tract Disease in Dogs and Cats: Antimicrobial Guidelines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases / M.R. Lappin [et al.] // J Vet Intern Med. 2017. Vol. 31. P.279–294. DOI: 10.1111/jvim.14627
22. Cat flu: Broad spectrum polymeric antivirals / A. Synowiec [et al.] // Antiviral Res. 2019. Vol. 170. A.104563. DOI: 10.1016/j.antiviral.2019.104563
23. Nitazoxanide protects cats from feline calicivirus infection and acts synergistically with mizoribine in vitro / Z. Cui [et al.] // Antiviral Res. 2020. Vol. 182. A.104827. DOI: 10.1016/j.antiviral.2020.104827
24. Antiviral effect of mefloquine on feline calicivirus in vitro / P. McDonagh, P.A. Sheehy, A. Fawcett, J.M. Norris // Vet Microbiol. 2015. Vol. 176, №3-4. P.370-377. DOI: 10.1016/j.vetmic.2015.02.007
25. Induction of COX-2 by feline calicivirus via activation of the MEK1-ERK1/2 pathway, and attenuation of feline lung inflammation and injury by MEK1 inhibitor AZD6244 (selumetinib) / Y. Liu [et al.] // Biochem Biophys Res Commun. 2022. Vol. 604. P.8-13. DOI: 10.1016/j.bbrc.2022.02.060
26. Antiviral Effects of Adipose Tissue-Derived Mesenchymal Stem Cells Secrete against Feline Calicivirus and Feline Herpesvirus Type 1 / T. Teshima [et al.] // Viruses. 2022. Vol. 14, №8. A.1687. DOI: 10.3390/v14081687
27. In vitro inhibition of field isolates of feline calicivirus with short interfering RNAs (siRNAs) / P. McDonagh, P.A. Sheehy, A. Fawcett, J.M. Norris // Vet Microbiol. 2015. Vol.177, № 1-2. P. 78-86. DOI: 10.1016/j.vetmic.2015.02.015
28. Identification of prevalent Feline Calicivirus strains and novel antiviral efficacy of CpG49 stimulus in Feline Calicivirus-infected cats / J. Wu [et al.] // Int J Biol Macromol. 2025. Vol. 313. A.144105. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144105
29. Survivin Overexpression Has a Negative Effect on Feline Calicivirus Infection / O.S. Barrera-Vázquez [et al.] // Viruses. 2019. Vol. 11, №11. A.996. DOI: 10.3390/v11110996
30. Sclareol can effectively ameliorate Feline calicivirus induced lung injury via the inhibition of inflammation and apoptosis / Y. Yan [et al.] // Int Immunopharmacol. 2025. Vol. 164. A.115342. DOI: 10.1016/j.intimp.2025
31. Identification of Feline Interferon Regulatory Factor 1 as an Efficient Antiviral Factor against the Replication of Feline Calicivirus and Other Feline Viruses / Y. Liu [et al.] // Biomed Res Int. 2018. A.2739830. DOI: 10.1155/2018/2739830
32. Lugovov, A.A. The tests of oxidative stress by complex therapy of cats caliciviro-sis / A.A. Lugovov, I.A. Pakhmutov // Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2019. Vol. 237. № 1. P. 131-135. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-237-1-131-135

33. Post-exposure treatment of cats with mouse-cat chimeric antibodies against feline herpesvirus type 1 and feline calicivirus / M. Umehashi [et al.] // J Vet Med Sci. 2002. Vol. 64, № 11. A.1017-1021. DOI: 10.1292/jvms.64.1017
34. Efficacy of passively transferred antibodies in cats with acute viral upper respiratory tract infection // Vet J. 2014. Vol. 201. P. 316–321. doi:10.1016/j.tvjl.2014.05.002
35. Feline Calicivirus Virulent Systemic Disease: Clinical Epidemiology, Analysis of Viral Isolates and In Vitro Efficacy of Novel Antivirals in Australian Outbreaks / M. Bordicchia [et al.] // Viruses. 2021. Vol. 13, №10. A.2040. DOI: 10.3390/v13102040
36. Korableva T.R. Drug application of «Roncoleukin» in integrated treatment of feline calicivirus / T.R. Korableva, YA.A. Gugosyan, K.S. Ustimenko // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2022. Vol.193, № 30. P. 148-155.
37. Clinical efficacy of gamapren in the treatment of feline calicivirus infection / A.V. Sanin [и др.] // Veterinary. 2018. № 5. P. 25-31.
38. Antiviral effect of copper chloride on feline calicivirus and synergy with ribavirin in vitro / D. Li [et al.] // BMC Vet Res. 2020. Vol.16, №1. A.231. DOI: 10.1186/s12917-020-02441-0
39. Antiviral effect of lithium chloride on feline calicivirus in vitro / H. Wu [et al.] // Arch Virol. 2015. Vol. 160, № 12. P.2935-2943. DOI: 10.1007/s00705-015-2534-8
40. Seo, D.J. Inhibition of Murine Norovirus and Feline Calicivirus by Edible Herbal Extracts / D.J. Seo, C. Choi // Food Environ Virol. 2017. Vol. 9, № 1. P. 35-44. DOI: 10.1007/s12560-016-9269-x
41. Isolation and evaluation of virucidal activities of flavanone glycosides and rosmarinic acid derivatives from *Dracocephalum* spp. against feline calicivirus / M.S. Sabrin [et al.] // Phytochemistry. 2021. Vol. 191. A.112896. DOI: 10.1016/j.phytochem.2021.112896
42. In vitro antiviral effect of germacrone on feline calicivirus / H. Wu [et al.] // Arch Virol. 2016. Vol. 161, №6. P.1559-1567. DOI: 10.1007/s00705-016-2825-8
43. Icarin, Formononetin and Caffeic Acid Phenethyl Ester Inhibit Feline Calicivirus Replication In Vitro / Z. Cui [et al.] // Arch Virol. 2021. Vol. 166, №9. P. 2443-2450. DOI: 10.1007/s00705-021-05107-w.

УДК: 619: 636.2:618.19-002:579.887:852.13

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.77

СЛУЧАЙ ВЫЯВЛЕНИЯ МИКОПЛАЗМЕННОГО МАСТИТА У КОРОВ НА ФОНЕ ВТОРИЧНОЙ АНАЭРОБНОЙ ИНФЕКЦИИ

Исакова М.Н. – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. отдела репродуктивной биологии и неонатологии (ORCID 0000-0001-7130-5627); **Безбородова Н.А.** * – канд. ветеринар. наук, зав. отделом геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0003-2793-5001); **Мартынов Н.А.** – лаборант отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0001-9251-0056); **Зубарева В.Д.** * – канд. ветеринар. наук, ст. спец. отдела геномных исследований и селекции животных (ORCID 0000-0003-0284-0276); **Кожуховская В.В.** – науч. сотр. отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией (ORCID 0000-0001-7924-6844).

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук»

*n-bezborodova@mail.ru.

Ключевые слова: коровы, мастит, абсцесс, отек, вымя, мышцы бедра, микоплазменная инфекция, клостридии, этиологически значимые патогены, полимеразная цепная реакция, культуральный метод, масс-спектрометрия.

Key words: cows, mastitis, abscess, edema, udder, thigh muscles, mycoplasma infection, clostridia, etiologically significant pathogens, polymerase chain reaction, culture method, mass spectrometry.

Финансирование: Материалы подготовлены в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Изучение современных особенностей приоритетных патогенов и восприимчивых сельскохозяйственных животных и разработка актуального комплекса диагностических, иммунобиологических препаратов и подходов для управления, прогнозирования и обеспечения эпизоотической и биологической безопасности» (0532-2026-0006).

Поступила: 05.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В статье представлены данные о сочетанном поражении молочного стада коров микоплазмозом и клостридиозом, вызывающих у животных стойкую хронизацию мастита, гнойную форму с абсцессами молочной железы, отёк и гнилостное разложение мышц задних конечностей. Проведённая комплексная лабораторная диагностика (культуральные исследования, MALDI-TOF масс-спектрометрия, ПЦР) выявила высокую распространённость хронических (5,3%) и субклинических (53,3%) маститов, а также гнойно-некротических поражений мышц (16,6%). Основными возбудителями маститов стали *M. bovis genitalium* (22,2%), *S. aureus* (16,7–60%) и *T. pyogenes*, а гнойных инфекций — *B. pyogenes* (21,4%) и *Clostridium perfringens* тип А. Выявлена значительная антибиотикорезистентность: 75% *E. coli*

устойчивы к фторхинолонам и цефалоспорином I поколения, 33,3% *S. aureus* — к цефалоспорином II поколения (MecA), *S. agalactiae* и *Staphylococcus* spp. — к макролидам (ErmB). Рекомендованы препараты выбора: цефтиофур — против *T. pyogenes* и чувствительных *S. aureus*, гентамицин — при грамотрицательных инфекциях, тилозин — при микоплазменных маститах, фторхинолоны — при клостридиозах. Лечение должно быть основано на тестировании чувствительности, с строгим соблюдением дозировок и курса. Ключевое значение имеют профилактика (гигиена доения, вакцинация, дезинфекция) и регулярный мониторинг резистентности.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Микоплазменная инфекция у коров представляет серьезную проблему в молочном животноводстве, приводя к снижению продуктивности, ухудшению качества молока и экономическим потерям [12, 13, 25]. Наибольшую опасность для молочного животноводства наносят такие виды микоплазм как *M. bovis genitalium*, *M. bovis mastitidis*, *M. agalactiae*, *M. bovis*, вызывая поражения в молочной железе и репродуктивных органах у коров [4, 8, 18,]. Особый риск также представляет развитие вторичных анаэробных инфекций (например, *Trueperella pyogenes*, *Bacteroides pyogenes*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium difficile*), усугубляющих течение болезни и повышающих риск возникновения гангренозных процессов в вымени [11, 16].

Из зарубежных источников литературы известно, что *Mycoplasma* spp. выявляются у крупного рогатого скота как вторичная инфекция при маститах, артриты, пневмониях, отитах, вульвовагинитах и эндометритах [5, 9, 14, 19]. Ранее считалось, что микоплазмы как правило, играют второстепенное значение в развитии инфекций, усугубляя уже существующее заболевание [19]. Однако позже было доказано, что микоплазмы могут играть ведущую роль в развитии патологического процесса различной локализации [23]. Микоплазмы, как правило являются высококонтагиозными патогенами, способными вызывать тяжелое течение заболеваний, плохо поддающихся антибиотикотерапии, за счет способности образовывать биопленки [1, 10, 17].

Известно, что клостридиозы могут быть причиной спорадических острых маститов у коров, возбудителем которых является *Clostridium perfringens* и *Clos-*

tridium difficile, особенно у животных в ранний лактационный период, после антибиотикотерапии, а также в стадах с нарушением гигиены доения [2, 6, 24].

Для предотвращения вспышек заболеваний вызванных *Mycoplasma* spp. и *Clostridium* spp. необходима быстрая и точная комплексная диагностика. В связи с чем целью нашей работы стало комплексное изучение этиологической структуры маститов и сопутствующих инфекционных поражений у крупного рогатого скота с определением спектра возбудителей, их антибиотикорезистентности и разработкой рекомендаций по диагностике, лечению и профилактике.

Были поставлены следующие задачи: провести клинический осмотр поголовья стада; оценить условия содержания, кормления и технологии машинного доения коров; произвести отбор проб от животных с клиническими признаками; провести лабораторную диагностику биологического материала (секрет молочной железы, раневое отделяемое, содержимое полости абсцесса, фекалии) и патологического материала; определить чувствительность к антимикробным препаратам; установить наличие генов резистентности, отвечающих за устойчивость к разным группам антимикробных препаратов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводили в течение 2023 года в отделе геномных исследований и селекции животных, отделе репродуктивной биологии и неонатологии и в лаборатории вирусных инфекций Уральского НИВИ – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Изучение современных особенностей приоритетных патоген-

нов и восприимчивых сельскохозяйственных животных и разработка актуального комплекса диагностических, иммунобиологических препаратов и подходов для управления, прогнозирования и обеспечения эпизоотической и биологической безопасности» (0532-2026-0006).

Работу проводили на базе молочно-товарной фермы, расположенной в Артинском районе Свердловской области, в которой содержится 945 коров с продуктивностью более 5500 кг и 595 голов молодняка.

На начальном этапе изучали журналы ветеринарного учета и формы отчетности. А именно журнал регистрации больных животных и журнал учета противоэпизоотических мероприятий, форма №1-вет «Отчет о заразных болезнях животных» и форма №2-вет «Отчет о незаразных болезнях животных».

Затем проводили осмотр поголовья животных и условий их содержания, наблюдение за организацией процесса доения коров. Мастит диагностировали в соответствии с Наставлением по диагностике терапии и профилактике мастита у коров (Семиволос А.М. и др., 2009). Клиническую форму мастита устанавливали с помощью клинического обследования молочной железы. Для диагностики субклинической формы мастита использовали экспресс-тест «Кенотест» (CID LINES, Бельгия). Абсцессы диагностировали на основании клинического осмотра, пальпации и пробного прокола. Анализ условий содержания и организации процесса доения выполняли с использованием визуального метода, выявленные нарушения фиксировали на бумажном носителе.

Для проведения лабораторной диагностики осуществляли отбор биологического материала: секрет молочной железы от коров с признаками субклинического мастита, для проведения микробиологических исследований с помощью культурального метода (10 проб); секрет молочной железы от коров с хроническим маститом (5 проб) и экссудат из абсцесса вымени при гнойной форме клинического мастита (1 проба), для проведения микро-

биологических исследований с использованием метода MALDI-TOF масс-спектрометрии и ПЦР – диагностики; раневое отделяемое с мышц бедра, для проведения микробиологических исследований с использованием метода MALDI-TOF масс-спектрометрии и ПЦР (5 и 7 проб соответственно); биологические пробы от коров с гнилостным разложением мышц бедер, для проведения ПЦР исследования (7 проб). Для выявления путей передачи возбудителя дополнительно отбирались пробы фекалий от животных (n=10, объединённая проба). Биоматериал собирали в соответствии с рекомендациями по забору проб с применением правил асептики [3].

Микробиологические исследования с использованием культурального метода проводили в соответствии с методическими рекомендациями «Методы бактериологического исследования условно-патогенных микроорганизмов в клинической микробиологии от 19.12.1991 г.». Из проб делали посевы на жидкие и плотные агаризованные питательные среды: Эндо, Сабуро, Чапека, Левина, Плоскирева, №10, мясо-пептонный бульон (МПБ), бульон для выделения стрептококков, Энтерококкагар, Висмут-сульфит агар, Цетримидный агар (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия). Идентификацию выделенных изолятов проводили путем пересева на среды Гисса с сахарами, руководствовались определителем бактерий по Берджи [7] и определителем патогенных и условно-патогенных грибов [15]. Для дифференциации выделенных микроорганизмов применяли дифференциально-диагностические тест системы (ООО «НПО «Диагностические системы», Россия).

Исследования с использованием метода MALDI-TOF масс-спектрометрии проводили на базе лаборатории медицинского центра ООО «Кволити Мед». Посев на питательные среды осуществляли методом истощающего посева на следующие питательные среды: 5% агар с кровью барана (основа Колумбийский агар, Bio-Rad, пр-во Франция; кровь барана дефи-

бринированная, E&O Laboratories, пр-во Шотландия), желточно-солевой агар (питательный агар для культивирования микроорганизмов ГРМ-агар, ФБУН ГНЦ ПМБ, пр-во Россия), хромогенный агар (UriSelect 4, Bio-Rad, пр-во Франция), агар Сабуро с 2% глюкозы и хлорамфениколом (SIFIN diagnostics, пр-во Германия). Идентификацию выросших колоний производили методом MALDI-TOF масс-спектрометрии на приборе Vitek MS (BioMerieux, пр-во Франция).

Определение чувствительности к антимикробным препаратам определяли у выделенных изолятов культуральным методом и методом MALDI-TOF масс-спектрометрии. Чувствительность к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом по стандартной методике, описанной EUCAST, а также с использованием инструкций к тест-системам.

ДНК выделяли с помощью наборов «Diatom DNA Prep 200» (ООО «ИзоГен», Москва). ПЦР-диагностику проводили с применением тест-систем «РеалБест-Вет ДНК *Clostridium difficile*/*Clostridium perfringens*», «РеалБест-Вет ДНК *M.bovis*/*M.bovis*» (Россия). Типизацию клостридий на наборе реагентов «РеалБест-Вет ДНК *Clostridium difficile* tcdA/tcdB/CDT» (АО «Вектор-Бест», Москва). Амплификацию в режиме реального времени осуществляли на приборе QuantStudio 5 (Thermo FS, США), термощиклере модели 2720 (Applied Biosystems, Сингапур).

Токсинотипы *C. perfringens* определяли методом ПЦР на основании наличия генов, кодирующих ϵ -токсин – *etx*, ι -токсин – *iap*, фосфолипазу C – *plc*, энтеротоксин – *cpe* и β -токсин – *cpb* по протоколу, предложенному Julian I. Rood [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

По данным ветеринарного учета и отчетности на момент исследования у 5,3% коров установили хронический мастит, рецидивы которого наблюдаются в течение 6 месяцев, 6,7% животных имели отек бедра и области пяточного сустава, при вскрытии которого наблюдали отсут-

ствие гнойных или гнилостных выделений, при проведении разреза диагностировали большое количество светлой жидкости, воздух между мышцами; мышцы плотные, отечные и в фасциях. Из журнала учета противозoonотических мероприятий установили, что иммунизация животных с применением вакцин «Хипрабовис-4» и «Токсипра Плюс» проходит согласно схеме вакцинации, но с нарушением сроков вакцинации, из-за смены вакцины «Когловакс-8» от анаэробной инфекции на «Токсипра Плюс».

Клиническим осмотром у 30 животных установлен субклинический (53,3%) и клинический (16,7%) мастит, при котором у 6,6% наблюдали гнойную форму, характеризующуюся образованием абсцессов вымени. Также были обнаружены абсцессы мышц бедер с гнойными воспалениями (16,6%), при вскрытии которых наблюдали ихорозный запах, наличие пузырьков воздуха, жидкие гнилостные массы.

При проведенном анализе условий содержания и организации процесса доения был выявлен ряд нарушений, способный приводить к инфекционным заболеваниям и их последствиям в стаде. Основные из них представлены в схеме 1.

Для получения более обширных данных о возбудителях способных проявлять установленные клинические признаки в молочной железе и мышечной ткани бедер, а также подбора рациональной терапии применяли разные методы исследования биологического материала, используемые для выделения микроорганизмов, что представлено в таблице 1, на рисунке 1.

Из таблицы №1 видно, что из 5 проб секрета молочной железы коров с хроническим маститом методом ПЦР в одинаковом количестве (22,2%) были выделены гены *Mycoplasma bovis*, *Clostridioides difficile* типа A, B, CDT, *Escherichia coli*. В 16,7% и 11,1% проб выявлены ДНК *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus spp.* соответственно. Гены *Streptococcus agalactiae* были обнаружены в наименьшем количестве в 5,6% проб.

Также ПЦР-исследованиями было установлено, что 75,0% *E.coli* имели гены резистентности *blaCTX-M/ blaOXA-10*, отвечающие за устойчивость к фторхинолонам, цефалоспорином I поколения и ампициллинам. У выявленного изолята *S. agalactiae* обнаружили ген *ErmB*, определяющий резистентность к группе макролидов, линкозамидов и стрептограмину В. Выявленные ДНК *S. aureus* имели гены устойчивости (*MecA*) к цефалоспорином 2

поколения в 33,3% проб. Все изоляты *Staphylococcus spp.* обладали генами мутации (*ErmB*), отвечающими за резистентность к группе макролидов, линкозамидов и стрептограмину В. В то же время как во всех изолятах *Staphylococcus spp.* были выявлены генетические детерминанты (*ErmB*), опосредующие устойчивость к группе макролидов, линкозамидов и стрептограмину В.

Таблица 1 – Выделенные изоляты микроорганизмов из проб секрета молочной железы коров с хроническим маститом, с использованием разных методов идентификации (n=5)

Биологический материал	Метод MALDI-TOF масс-спектрометрии			Метод ПЦР	
	Изоляты	КОЕ /мл	%	ДНК	%
Секрет вымени от коров с хроническим маститом	<i>Enterococcus faecalis</i>	10 ⁵	12,5	<i>Mycoplasma bovis</i>	22,2
	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	10 ²	12,5	<i>Clostridioides difficile</i> типа A, B, CDT	22,2
	<i>Empedobacter brevis</i>	10 ²	12,5	<i>Escherichia coli</i>	22,2
	<i>Aerococcus viridans</i>	10 ²	12,5	<i>Staphylococcus aureus</i>	16,7
	<i>Candida catenulata</i>	10 ³	12,5	<i>Staphylococcus spp.</i>	11,1
	<i>Staphylococcus sciuri</i>	10 ²	12,5	<i>Streptococcus agalactiae</i>	5,6
	<i>Bacillus altitudinis/pumilus</i>	10 ²	12,5		
	<i>Corynebacterium bovis</i>	10 ⁴	12,5		

С помощью классической микробиологии с применением метода MALDI-TOF масс-спектрометрии из проб секрета молочной железы было выделено 8 изолятов с частотой встречаемости 12,5% каждый соответственно. В зависимости от титра колониеобразующих единиц установлены этиологически значимые в развитии мастита у коров изоляты: *Enterococcus faecalis* (10⁵ КОЕ/мл) и *Corynebacterium bovis* (10⁴ КОЕ/мл). При этом у *Enterococcus faecalis* была выявлена чувствительность при стандартном дозировании к левофлоксацину и ципрофлоксацину (группа фторхинолоны), ампициллину (группа пенициллины) и гентамицину (аминогликозиды). У изолята *Corynebacterium bovis* определена чувствительность

к пенициллинам, цефалоспорином и фторхинолонам. *Bacillus altitudinis/pumilus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Empedobacter brevis*, *Aerococcus viridans*, *Staphylococcus sciuri* в титре 10² КОЕ/мл и дрожжевые грибы *Candida catenulata* (10³ КОЕ/мл) не являлись значимой причиной в развитии установленных клинических признаков.

При микробиологическом исследовании 10 проб секрета молочной железы от животных, имеющих субклиническое течение мастита, с использованием культурального метода было выделено 39 изолятов микроорганизмов. В подавляющем случае (25,6%) культивированы изоляты *Staphylococcus aureus*. Количество изолятов непатогенного типа *E. coli* и условно-

патогенной группы *Streptococcus spp.* составило 17,9%. Количество изолятов, относящихся к роду грибов-аскомицетов *Penicillium spp.* составило 12,8%. Изоляты

Enterococcus faecium выделили в 5,1%. Установили также единичное количество (2,6%) изолятов *Enterobacter spp.* и плесневых грибов *Mucor* (рисунок 1).

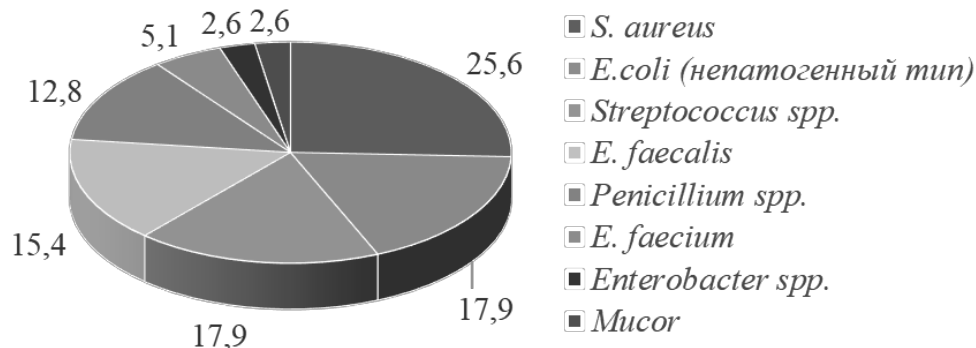


Рисунок 1 – Выделенные изоляты из проб секрета молочной железы коров с субклиническим маститом при использовании культурального метода исследования, n=39.

При определении резистентности к антибиотикам у всех выделенных изолятов *E. coli* и у 90% изолятов *S. aureus*, *E. faecalis* и *E. faecium* выявлена чувствительность к антибактериальным препаратам комбинированного типа (ампициллин/кловасулин, цефотаксим/неомицин сульфат, неомицин/тетрациклин) применяемым на молочно-товарной ферме.

При исследовании содержимого полости абсцесса молочной железы выделены следующие микроорганизмы: *Bacillus altitudinis/pumilus* (10^2 КОЕ/мл), *Bacteroides pyogenes* (10^4 КОЕ/мл), *Candida catenulata* (10^3 КОЕ/мл), *Leuconostoc mesenteroides* (10^2 КОЕ/мл) и *Trueperella pyogenes* (10^5 КОЕ/мл). Известно, что *Trueperella pyogenes* является этиологически значимым в развитии воспалительных процессов в молочной железе [20]. При проведении дополнительного исследования экссудата абсцесса методом ПЦР были выявлены гены *C. difficile* тип А.

ПЦР-исследования биоматериала с раневых поверхностей от коров показали присутствие во всех ДНК *C. difficile* нетоксигенного типа.

Культуральными исследованиями с

идентификацией микроорганизмов методом MALDI-TOF масс-спектрометрией из этиологически значимых микроорганизмов в преобладающем количестве (21,4%) выделены изоляты *Bacteroides pyogenes* (10^4 - 10^5 КОЕ/мл) которые являются возбудителями гнойно-воспалительных заболеваний. Количество обнаруженных изолятов *T. pyogenes* (КОЕ/мл 10^4 - 10^5) и *Proteus mirabilis* (КОЕ/мл 10^3 - 10^6), которые также являются возбудителями гнойных инфекций у коров (в том числе метрита, эндометрита, мастита), сопровождающихся септическим процессом и развитием абсцессов различной локализации составило по 10,7%. Установлено, что изоляты *T. pyogenes* обладали чувствительностью к цефтиофуру (цефалоспорины) и гентамицину (аминогликозиды). К клинически значимым микроорганизмам также были отнесены выделенные изоляты *Klebsiella oxytoca* (7,1%) с КОЕ/мл 10^3 , которые обладали чувствительностью при стандартном дозировании к гентамицину (аминогликозиды), левофлоксацину и ципрофлоксацину (фторхинолоны) (таблица 2).

Таблица 2 – Выделенные изоляты микроорганизмов из проб раневого отделяемого мышц бедра коров, с использованием разных методов идентификации, n=12

Метод исследования	Количество проб	Количество изолятов	Изолят	%
MALDI-TOF масс-спектрометрия	7	28	<i>Aerococcus viridans</i>	7,1
			<i>Bacteroides pyogenes</i>	21,4
			<i>Candida catenulata</i>	17,9
			<i>Klebsiella oxytoca</i>	7,1
			<i>Empedobacter brevis</i>	3,6
			<i>Prevotella melaninogenica</i>	10,7
			<i>Trueperella pyogenes</i>	10,7
			<i>Helcococcus kunzii</i>	3,6
			<i>Proteus mirabilis</i>	10,7
			<i>Candida rugosa</i>	3,6
			<i>Streptococcus sanguinis</i>	3,6
ПЦР	5	5	<i>Clostridium difficile</i> нетоксигенного типа	100,0
			<i>C.perfringens</i> mun A	100,0

В 100% проб от коров с гнилостным разложением мышц бедер обнаружены ДНК *C.perfringens* тип А и *C. difficile* нетоксигенного типа.

При исследовании фекалий выделены следующие изоляты микроорганизмов: *Aspergillus niger* (10^3 КОЕ/мл), *Candida rugosa* (10^3 КОЕ/мл), *Bacillus subtilis* (10^5 КОЕ/мл), *Proteus mirabilis* (10^5 КОЕ/мл) с превышением колониеобразующих единиц (КОЕ), что свидетельствует о дисбиозе на фоне микоплазменной и клостридиальной инфекции. Изоляты *Proteus mirabilis* обладали резистентностью к антибиотикам группы цефалоспоринов II поколения и полусинтетическим антибиотикам широкого спектра действия группы пенициллинов в комбинации. Данные микроорганизмы были чувствительны при стандартном дозировании к гентамицину (аминогликозиды), левофлоксацину и ципрофлоксацину (фторхинолоны).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведённые исследования секрета молочной железы коров выявили, что основными этиологическими агентами мастита являлись *Mycoplasma bovis* (*Myovigenitalium* (обнаружен в 80% проб), *Staphylo-*

coccus aureus (60%) и *Streptococcus agalactiae* (20%). Основной путь передачи этих патогенов — контактный (через доильный аппарат, руки оператора, подстилку). *Trueperella pyogenes*, ассоциированный с окружающей средой, мог распространяться насекомыми или при контакте с загрязнёнными поверхностями.

Вторичная микрофлора, осложняющая воспаление молочной железы — *E. coli*, энтерококки (*E. faecalis*, *E. faecium*), *Clostridium difficile* и другие. Источником клостридий в молоке являлись загрязнённые навозом помещения и оборудование. Основными возбудителями раневых инфекций стали *Bacteroides pyogenes*, *T. pyogenes* и *C. perfringens* тип А.

Исследования показали высокую распространённость антибиотикорезистентности: 75% *E. coli* были резистентны к фторхинолонам и β -лактамам, 33,3% *S. aureus* — к цефалоспорином II поколения. *S. agalactiae* и *Staphylococcus* spp. проявляли устойчивость к макролидам. *M. bovis* (*Myovigenitalium*) природно устойчива к β -лактамам, *C. difficile* — ко многим стандартным антибиотикам.

На основании данных чувствительно-

сти рекомендована таргетная терапия: цефтиофур — против *T. pyogenes* и *S. aureus*; гентамицин — при грамотрицательных инфекциях; тилозин — при микоплазменных маститах; фторхинолоны — при клостридиозах. Ключевое значение имеют строгое соблюдение курса лечения, регулярный мониторинг резистентности и усиление профилактических мер (гигиена доения, вакцинация).

Таким образом, на молочно-товарной ферме у коров установили наслоевание двух инфекций, которое происходит при смешанном течении бактериальных заболеваний, вызванных *Mycoplasma bovis* и *Clostridium spp.* (*C. perfringens*, *C. difficile*) с присоединением вторичной бактериальной микрофлоры. Ключевыми факторами распространения инфекций стало — нарушение гигиены доения, загрязненная подстилка, несоблюдение сроков регламентов вакцинопрофилактики клостридиозов у крупного рогатого скота.

Микоплазменный мастит обуславливает длительное хроническое течение воспаления, наличие абсцессов в молочной железе. Клостридиоз характеризует клиническое проявление в виде наличия гнойных поражений мышц бедра и абсцессов мышечной ткани задних конечностей. Заражение коров несколькими патогенами усугубляет клиническое проявление и является причиной применения более сложных схем лечебных и профилактических мероприятий, включающих преждевременную выбраковку хронически больных животных с подтвержденным диагнозом, тщательную дезинфекцию животноводческих помещений, регулярную чистку поверхности тела животных для снижения контаминации кожных покровов вероятными патогенами, подбор и ротацию разных схем антибиотикотерапии, строгое соблюдение технологического процесса доения коров.

Проведенные исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к диагностике и лечению маститов и гнойно-некротических поражений у коров.

A CASE OF MYCOPLASMA MASTITIS DETECTION IN COWS WITH SECONDARY ANAEROBIC INFECTION

Isakova M.N. — Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher in the Department of Reproductive Biology and Neonatology (ORCID 0000-0001-7130-5627); **Bezborodova N.A.** * — Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0003-2793-5001); **Martynov N.A.** — Laboratory Assistant in the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0001-9251-0056); **Zubareva V.D.** — Candidate of Veterinary Sciences, Senior Specialist in the Department of Genomic Research and Animal Breeding (ORCID 0000-0003-0284-0276); **Kozhukhovskaya V.V.** — Research associate of the department of veterinary laboratory diagnostics with a testing laboratory (ORCID: 0000-0001-7924-6844).

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia

*n-bezborodova@mail.ru.

ABSTRACT

The article presents data on the concurrent infection of a dairy herd with mycoplasmosis and clostridiosis, leading to persistent chronic mastitis, a purulent form with mammary gland abscesses, edema, and putrefactive decomposition of the muscles in the hind limbs. Comprehensive laboratory diagnostics (cultural studies, MALDI-TOF mass spectrometry, PCR) revealed a high prevalence of chronic (5.3%) and subclinical (53.3%) mastitis cases, as well as purulent-necrotic muscle lesions (16.6%). The primary causative agents of mastitis were *M. bovis* (22.2%), *S. aureus* (16.7–60%), and *T. pyogenes*, while purulent infections were predominantly caused by *B. pyogenes* (21.4%) and *Clostridium perfringens* type A. Significant antibiotic resistance was identified: 75% of *E. coli* isolates were resistant to fluoroquinolones and first-generation cephalosporins, 33.3% of *S. aureus* were resistant

to second-generation cephalosporins (MecA gene), and *S. agalactiae* and *Staphylococcus* spp. showed resistance to macrolides (ErmB gene). The following first-line treatments are recommended: ceftiofur for *T. pyogenes* and susceptible *S. aureus*, gentamicin for Gram-negative infections, tilmicosin or tylosin for mycoplasmal mastitis, and fluoroquinolones for clostridial infections. Antimicrobial therapy must be based on sensitivity testing, with strict adherence to dosages and treatment duration. Prophylaxis (milking hygiene, vaccination, disinfection) and regular monitoring of resistance are of paramount importance.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горбатова, Х.С. Микоплазменный мастит в молочных стадах / Х.С. Горбатова, И.С. Коба // В сборнике: Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения. Сборник трудов научно-практической конференции. Под общей редакцией С.В. Позябина, Л.А. Гнездиловой. – 2022. – С. 168-179.
2. Методические указания по диагностике клостридиозов сельскохозяйственных животных / ФГБУ "ВНИИЗЖ". - Москва, 2022. - 48 с. - Рег. № 0125/2022
3. Правила и методы отбора проб в животноводстве и ветеринарии для лабораторных исследований / Методические рекомендации под ред. Соколовой О.В., Шкуратовой И.А., Порываевой А.П., Безбородовой Н.А., Лысова А.В. и др. – Екатеринбург, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. - 2025. – 52 с.
4. Шнейдер, Э.Д. Идентификация и диагностика возбудителей микоплазменных маститов коров при помощи бактериологических и молекулярно-генетических методов / Э.Д. Шнейдер, С.А. Макавчик // Бактериология. - 2018. - Т. 3. - № 1. - С. 22-25
5. Alhussen, M.A. *Mycoplasma bovis*, *M. bovis genitalium* and *M. dispar* as bovine pathogens: brief characteristics of the pathogens (review) / M.A. Alhussen, A. Sprygin, V.V. Kirpichenko A.A. Nesterov // Agricultural Biology. - 2021. - 56(2). – P. 245-260.
6. Bandelj, P. Identification of risk factors influencing *Clostridium difficile* prevalence in middle-size dairy farms / P. Bandelj, R. Blagus, F. Briski, O. Frlic, et al. // Vet Res. – 2016. – P. 41-47.
7. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: in 5 vols. / ed. by D.R. Boone, R.W. Castenholz. 2nd ed. New York: Springer, 2001-2012. Vol. 3: The Firmicutes / ed. by P. De Vos et al. 2009. 1450 p.
8. Calcutt, M.J. Antimicrobial resistance in *Mycoplasma bovis*: Emerging threats and therapeutic alternatives / M.J. Calcutt, I. Lysnyansky, K. Sachse, L.K. Fox // Frontiers in Veterinary Science. – 2023. – p. 10.
9. Dawood, A. *Mycoplasmas* as Host Pantropic and Specific Pathogens: Clinical Implications, Gene Transfer, Virulence Factors, and Future Perspectives / A. Dawood, S.A. Algharib, G. Zhao, T. Zhu, et al // Front Cell Infect Microbiol. – 2022. – P. 3-12.
10. Daubenspeck, J.M. *Mycoplasma genitalium* Biofilms Contain Poly-GlcNAc and Contribute to Antibiotic Resistance / J.M. Daubenspeck, A.H. Totten, J. Needham, M. Feng, et al. // Front Microbiol. – 2020. – P. 11-27.
11. Dudek, K. Anaerobic co-infections in *Mycoplasma*-associated bovine mastitis: Pathological and diagnostic aspects / K. Dudek, R.A.J. Nicholas, E. Szacawa, D. Bednarek // Journal of Comparative Pathology. – 2021. - №186. – P. 1-12.
12. Fox L.K. *Mycoplasma* mastitis in dairy herds: Current trends and challenges / L.K. Fox // Journal of Dairy Science. – 2021. - № 104(3). - P. 2650-2664.
13. Gomes, F. Molecular detection of *Mycoplasma bovis* in milk samples from mastitic cows in Brazil / F. Gomes, M. Henriques, R. Oliveira // Brazilian Journal of Microbiology. – 2020. - №51(4). – P. 1783-1790.
14. Jacobson, B.T. Innovative Methodology for Antimicrobial Susceptibility Determination in *Mycoplasma* Biofilms / B.T. Jacobson, J. DeWit-Dibbert, E.T. Selong, M. Quirk, et al. // Microorganisms. – 2024. - №12(12). – P. 26-50.

15. Larone, D.H. Larone's medically important fungi: A guide to identification (6th ed.) / D.H. Larone // ASM Press. – 2018.

16. Maunsell, F.P. Co-infections of *Mycoplasma bovis* and anaerobic bacteria in bovine mastitis: Clinical and microbiological features / F.P. Maunsell, G.A. Donovan, C. Risco, M.B. Brown // *Veterinary Microbiology*. – 2022. – P 268.

17. Nishi, K. Biofilm characterisation of *Mycoplasma bovis* co-cultured with *Trueperella pyogenes* / K. Nishi, S. Gondaira, Y. Hirano, M. Ohashi, et al. // *Vet Res*. – 2025. – №56(1). – p. 22.

18. Oliver, S.P. Antimicrobial Resistance of Mastitis Pathogens / S.P. Oliver, S.E. Murinda // *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. – 2012. – № 28(2). – P. 165-185.

19. Parker, A.M. A review of mycoplasma diagnostics in cattle / A.M. Parker, P.A. Sheehy, M.S. Hazelton, K.L. Bosward, et al. // *Journal of Veterinary Internal Medicine*. – 2018. – №32(3). – P. 1241-1252.

20. Ribeiro, M.G. Biofilm formation and antimicrobial resistance profiles of *Trueperella pyogenes* isolated from bovine mastitis in Brazil / M.G. Ribeiro, R.M. Riseti, C.A.D. Bolaños, K.A. Caffaro et al. // *Veterinary Microbiology*. – 2021. – P. 109-156.

21. Rood, J.I. Expansion of the *Clostridium perfringens* toxin-based typing scheme / J.I. Rood, V. Adams, J. Lacey, D. Lyras // *Anaerobe*. – 2018. – P. 5-10.

22. Silva, R.O.S. *Clostridioides difficile* in bovine mastitis: Toxinotyping and antimicrobial resistance patterns / R.O.S. Silva, M.L. D'Elia, C.A. de Oliveira Junior, R.L. Santos // *Veterinary Microbiology*. – 2021. – №256. – P. 109-153.

23. Tolboom, R.K. *Mycoplasma mastitis* in dairy cattle / R.K. Tolboom, J.J. Snoep, O.C. Sampimon, J. Sol et al. // *Tijdschr Diergeneeskde*. – 2008. – №133(3). – P. 96-101.

24. Uzal, F.A. Clostridial mastitis in dairy cattle: Diagnostic and therapeutic challenges / F.A. Uzal, M.A. Navarro, J. Asin, E.E. Henderson // *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. – 2022. – №34(2). – P. 202-210.

25. World Health Organization. Guidelines

for the control of mycoplasma infections in cattle. WHO Animal Health Technical Report Series No. 15. Geneva: World Health Organization. – 2023. – pp. 48.

REFERENCES

1. Gorbatova, H.S. *Mycoplasma mastitis* in dairy herds / H.S. Gorbatova, I.S. Koba // In the collection: Current problems of veterinary medicine, animal science, biotechnology and expertise of raw materials and products of animal origin. Proceedings of the scientific and practical conference. Under the general editorship of S.V. Pozyabin, L.A. Gnezdilova. – 2022. – pp. 168-179.
2. Guidelines for the diagnosis of clostridiosis of farm animals / FSBI "VNIIZH". – Moscow, 2022. – 48 p. – Reg. No. 0125/2022
3. Rules and methods of sampling in animal husbandry and veterinary medicine for laboratory research / Methodological recommendations ed. Sokolova O.V., Shkuratova I.A., Poryvaeva A.P., Bezborodova N.A., Lysova A.V. and others – Yekaterinburg, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2025. – 52 p.
4. Schneider, E.D. Identification and diagnosis of causative agents of mycoplasma mastitis in cows using bacteriological and molecular genetic methods / E.D. Schneider, S.A. Makavchik // *Bacteriology*. – 2018. – Vol. 3. – No. 1. – pp. 22-25
5. Alhussen, M.A. *Mycoplasma bovis*, *M. bovis genitalium* and *M. dispar* as pathogens of cattle: a brief description of pathogens (review) / M.A. Alhussen, A.A. Sprygin, V.V. Kirpichenko, A.A. Nesterov // *Agricultural Biology*. – 2021. – 56(2). – Pp. 245-260.
6. Bandel, P. Identification of risk factors affecting the prevalence of *Clostridium difficile* on medium-sized dairy farms / P. Bandel, R. Blagus, F. Brisky, O. Frilich et al. // *Veterinary Journal*. – 2016. – pp. 41-47.
7. Bergey's Guide to Systematic bacteriology: in 5 volumes / edited by D.R. Boone, R.V. Kastenholz. 2nd ed. New York: Springer, 2001-2012. Volume 3: The Firmicutes / edited by P. De Vos et al., 2009. 1450 p.
8. Calcutta, M.J. Antimicrobial resistance in *Mycoplasma bovis*: new threats and thera-

- peutic alternatives / M.J. Calcutt, I. Lisniansky, K. Sachse, L.K. Fox // *Frontiers of Veterinary Science*. - 2023. - p. 10.
9. Davud, A. Mycoplasmas as pantropical and specific host pathogens: clinical consequences, gene transfer, virulence factors and future prospects / A. Davud, S.A. Algarib, G. Zhao, T. Zhu et al. // *Microbiol. Infection of the anterior cells*. - 2022. - pp. 3-12.
10. Daubenspec, J.M. Mycoplasma genitalium biofilms contain Polyglcnac and promote antibiotic resistance / J.M. Daubenspec, A.H. Totten, J.Needham, M.Feng et al. // *Front Microbiol*. - 2020. - pp. 11-27.
11. Dudek, K. Anaerobic concomitant infections in mycoplasma-associated mastitis of cattle: pathological and diagnostic aspects / K. Dudek, R.A.Nicholas, E. Shakava, D. Bednarek // *Journal of Comparative Pathology*. - 2021. -No. 186. - pp. 1-12.
12. Fox L.K. Mycoplasma mastitis in dairy herds: current trends and challenges / L.K. Fox // *Journal of Dairy Science*. - 2021. - № 104(3). - Pp. 2650-2664.
13. Gomez, F. Molecular determination of Mycoplasma bovis in milk samples from cows with mastitis in Brazil / F. Gomez, M. Henriques, R. Oliveira // *Brazilian Journal of Microbiology*. - 2020. - №51(4). - P. 1783-1790.
14. Jacobson, B.T. Innovative methodology for determining sensitivity to antimicrobial drugs in Biofilms of mycoplasmas / B.T. Jacobson, J. Dewitt-Dibbert, E.T. Selong, M. Quirk et al. // *Microorganisms*. - 2024. - №12(12). - Pp. 26-50.
15. Larone, D.H. Fungi, important from a medical point of view: an identification guide (6th ed.) / D.H. Larone // *ASM Press*. - 2018.
16. Maunsell, F.P. Coinfection with mycoplasma bovis and anaerobic bacteria in cattle mastitis: clinical and microbiological features / F.P. Maunsell, G.A. Donovan, K. Risko, M.B. Brown // *Veterinary microbiology*. - 2022. - p. 268.
17. Nishi, K. Characterization of Mycoplasma bovis biofilm in co-cultivation with Trueperella pyogenes / K. Nishi, S. Gondaira, Y. Hirano, M. Ohashi et al. // *Veterinary Medicine*. - 2025. - №56(1). - Article 22.
18. Oliver, S.P. Resistance of mastitis pathogens to antimicrobial drugs / S.P. Oliver, S.E. Murinda // *Veterinary clinics: The practice of using food animals*. - 2012. - № 28(2). - Pp. 165-185.
19. Parker, A.M. Review of diagnostic methods for mycoplasmas in cattle / A.M. Parker, P.A. Sheehy, M.S. Hazelton, K.L. Bosward et al. // *Journal of Veterinary Internal Medicine*. - 2018. - №32(3). - Pp. 1241-1252.
20. Ribeiro, M.G. Biofilm formation and profiles of resistance to antimicrobial drugs Trueperella pyogenes isolated in cattle mastitis in Brazil / M.G. Ribeiro, R.M. Riseti, S.A.D. Bolanos, K.A. Caffaro et al. // *Veterinary Microbiology*. - 2021. - pp. 109-156.
21. Rood, J.I. Extension of the Clostridium perfringens toxin-based typing scheme / J.I. Rood, V. Adams, J. Lacey, D. Liras // *Anaerobes*. - 2018. -pp. 5-10.
22. Silva, R.O.S. Clostridioides difficile in cattle mastitis: toxin typing and models of antimicrobial resistance / R.O.S. Silva, M.L. D'Elia, K.A. de Oliveira Junior, R.L. Santos // *Veterinary microbiology*. - 2021. - No.256. - pp. 109-153.
23. Tolbum, R.K. Mycoplasma mastitis in dairy cattle / R.K. Tolbum, J.J. Snope, O.S. Sampimon, J. Sol et al. // - 2008. - №133(3). - Pp. 96-101.
24. Uzal, F.A. Clostridial mastitis in dairy cattle: problems of diagnosis and treatment / F.A. Uzal, M.A. Navarro, J. Asin, E.E. Henderson // *Journal of Veterinary Diagnostic Research*. - 2022. - №34(2). - Pp. 202-210.
25. World Health Organization. Guidelines for the control of mycoplasma infections in cattle. WHO Technical Reports Series on Animal Health No. 15. Geneva: World Health Organization. - 2023. - p. 48.

УДК: 619:578:685.721

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.88

ОСНОВНЫЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ВИРУСНЫМ ЛЕЙКОЗОМ КОШЕК

Булаковская О.А.* – асп. каф. болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных (ORCID 0009-0001-9362-0529); Сотникова Л.Ф. – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных

ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

* oksana_kruglik@mail.ru

Ключевые слова: кровь, кошки, вирусный лейкоз, эритропения, панцитопения, тромбоцитопения.

Key words: blood, cats, viral leukemia, erythropenia, pancytopenia, thrombocytopenia.

Поступила: 25.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты исследования по изучению основных гематологических заболеваний кошек, с диагнозом – вирусная лейкемия. Систематизация гематологических заболеваний позволяет осуществить дальнейший подбор заместительной и патогенетической терапии, спрогнозировать тяжесть проявления клинических симптомов и составить план терапии. Материалом для исследования послужили истории болезней 109 кошек с диагнозом вирусная лейкемия кошек в прогрессивной форме заболевания. Прогрессивная форма заболевания подтверждалась в соответствии с международными рекомендациями по ПЦР РНК вируса (полимеразная цепная реакция с детекцией рибонуклеиновой кислоты) или ИФА р 27 (определением иммунофлюоресцентным анализом вирусного специфического белка р27). Гематологические заболевания были выявлены в 88% случаев (96 голов) из 109. В группе животных в возрасте 1-4 года преобладали эритропения с тромбоцитопенией 33,33% случаев (19 голов) и цитопения с бластами 28,07% случаев (16 голов). В группе в возрасте 5-8 лет эритропения с тромбоцитопенией регистрировали в 33,33% случаев (10 голов), панцитопения в 26,67% случаев (8 голов). В группе животных в возрасте старше 8 лет была выявлена эритропения с тромбоцитопенией в 55,56% случаев (5 голов), панцитопения 33,33% случаев (3 головы). Таким образом, наиболее преобладающим гематологическим заболеванием во всех возрастных группах было сочетание эритропении и тромбоцитопении, которые были выявлены в 35,4% случаев (34 головы) от всех обследованных кошек с гематологическими заболеваниями из 96 голов. Определение типа цитопении (снижения клеток крови определенной морфологической линии) или комбинации цитопений является необходимым для дальнейшего проведения эффективной терапии. Для коррекции сочетания анемии и тромбоцитопении препаратами выбора будут

цельная кровь или сочетанная гемотрансфузия концентратом эритроцитов (эритроцитарной массы) и введение тромбоконцентрата. Т.к терапия должна быть направлена на восполнение 2 клеточных линий морфологических элементов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Изучение патогенетических механизмов, в частности нарушение гемопоэза, при вирусном лейкозе кошек является актуальной проблемой ветеринарной медицины. Ретровирусы остаются распространенными и опасными патогенами для домашних и некоторых диких кошачьих по всему миру [4]. Несмотря на то, что вирусный лейкоз животных известен с 1858 [3], а вирус лейкоза кошек был описан в 1964 г [2], по-прежнему остаются недостаточно изученными основные гематологические заболевания развивающиеся на фоне инфекции [6]. Нарушение гемопоэза развиваются у 30-40% кошек, инфицированных вирусом кошачьей лейкемии (FeLV), а с развитием прогрессивной формы течения болезни летальность составляет 70-90% [5]. Иммунобиологические эффекты при прогрессивной форме течения вирусного лейкоза разнообразны, наблюдаются в основном у молодых животных до 4 лет и включают в себя как цитопролиферативные патологии (лейкоз), так и цитосупрессию клеточных линий в популяции лимфоцитов и гемопоэтических клеток и как следствия пролиферацию или цитопению клеточных линий в анализе крови [7]. Для коррекции стойких цитопений, в частности анемии проводят трансфузию препаратом крови. Подбор препарата крови и сопутствующую терапию осуществляют в зависимости от типа цитопении, так при эритропении трансфузию проводят эритроцитарной массой при тромбоцитопении – тромбоконцентратом, при комбинации цитопений используется препарат цельной донорской крови или сочетание тромбоконцентрата и концентрата эритроцитов [8]. При проведении трансфузионной терапии зачастую возникает гемолитическая трансфузионная реакция. Гемотрансфузионные реакции включают в себя помимо острого гемолиза, так же острое повреждение легких и перегрузку объемом. Таким образом снижение количества ге-

мотрансфузий является основной задачей для пациентов с цитопенией [1].

Цель исследования: изучение наиболее часто встречающихся гематологических заболеваний на фоне вирусного лейкоза кошек для возможности оперативного подбора заместительной и патогенетической терапии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось на кафедре болезней мелких домашних лабораторных и экзотических животных ФГБОУ ВО Российского биотехнологического университета «РОСБИОТЕХ». Материалом исследования послужили 109 историй болезни кошек с подтвержденным диагнозом вирусный лейкоз кошек, поступивших на прием в клиники «в Добрые Руки» и «Зооакадемия» в период 2021 – 2024 г. Для установления диагноза вирусный лейкоз кошек было первично осуществляли иммунохроматографический анализ (ИХА) тест система Quicking страна производитель Китай. Далее пациентов тестировали методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). Для выявления РНК и ДНК провируса в реальном времени использовалась тест система «Ветскрин» компании Литекс, страна производитель Россия. Так же проводили Гематологическое исследование проводили по общепринятой методике тестирование методом ИФА на вирусный специфичный белок р 27 с использованием тест системы «VetLine Elisa» страна производитель Германия. с определением гематологических параметров: гематокрита, гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, а также подсчет эритроцитарных индексов (МСНС, МСV), которые определяли на гематологическом анализаторе Biocode-Hysel Celly (Франция). Исследование морфологического состава крови проводили после окрашивания препарата крови по методике Райта-Гимзы с применением красителей Diff-Quik (Россия), далее проводили микроскопию

с использованием микроскопа Olympus (Япония), подсчет лейкограммы на 100 клеток, и морфологическую оценку клеточных линий с определением бластных форм.

Все кошки были разделены на группы в зависимости от возраста группа молодых животных 1-4 года всего 57 голов (59.38%) от всех заболевших с гематологическими патологиями, группа животных средней возрастной категории 5-8 лет 30 голов (31.25% случаев), группа животных старше 8 лет 9 голов (9.37% случаев)

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты исследования по изучению основных заболеваний крови представлено на таблице № 1 из которой следует, что выявлено 6 основных гематологических заболеваний (эритропения с тромбоцитопенией, эритропения с лейкоцитозом, тромбоцитопения, панцитопения, цитопения с бластами, тромбоцитопения с лейкоцитопенией). Гематологические заболевания были выявлены у 96 кошек из 109, что составило соответ-

ственно 88% пациентов, имеющих нарушения гемопоэза и 13 без нарушений на момент индикации у них вирусного лейкоза, что составило всего 12% пациентов не имеющих гематологических патологий. Результаты изученных анализов крови инфицированных кошек, имеющих гематологические заболевания и без представленных в диаграмме 1.

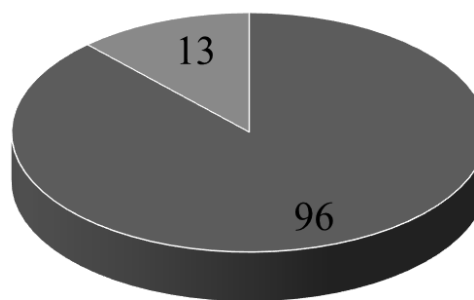


Рисунок 1 – Распространенность гематологических заболеваний у кошек больных вирусной лейкемией.

Таблица 1– Возрастные группы и гематологические нарушения, n=96

Гематологические заболевания	Возраст 1-4 г.		Возраст 5-8 г.		Возраст старше 8 л.	
	Абс. знач., (головы)	Отн. знач., (%)	Абс. знач., (головы)	Отн. знач., (%)	Абс. знач., (головы)	Отн. знач., (%)
Эритропения с тромбоцитопенией	19	33,33	10	33,33	5	55,56
Эритропения с бластами	16	28,07	6	20,00	0	0
Эритропения с лейкоцитозом	15	26,32	3	10,00	1	11,11
Панцитопения	4	7,02	8	26,67	3	33,33
Тромбоцитопения	3	5,26	0	0	0	0
Лейкоцитопения с тромбоцитопенией	0	0	3	10,00	0	0
Всего:	57		30		9	

Представленные данные свидетельствуют о высокой распространенности гематологических заболеваний при вирусной лейкемии кошек у животных в возрасте 1-4 лет 59,38 % случаев (57 голов), в свою очередь в группе кошек в возрасте 5-8 лет данный показатель соответствует 31,25 % случаев (30 голов) а среди кошек старше 8 лет всего 11,37 % случаев (9 голов).

В группе кошек в возрасте 1-4 лет были выявлены следующие гематологические заболевания: эритропения с тромбоцитопенией 33.33% случаев (19 голов), Эритропения с бластами 28.07% случаев (16 голов), эритропения с лейкоцитозом 26.32% случаев (15 голов), панцитопения 7.02% случаев (4 головы), тромбоцитопения 5.26% случаев (3 головы). В группе кошек в возрасте 5-8 лет регистрировали эритропению с тромбоцитопенией 33.33% случаев (10 голов), эритропению с бластами 20.00% случаев (6 голов), панцитопению 26.67% случаев (8 голов), эритропению с лейкоцитозом 10.00% случаев (3 головы), лейкопению с тромбоцитопенией 10.00% случаев (3 головы). В группе кошек старше 8 лет были выявлены: эритропения с тромбоцитопенией в 55.56% случаев (5 голов), панцитопения в 33.33% случаев (3 головы), эритропения с лейкоцитозом 11.11% случаев (1 голова). Таким образом при вирусном лейкозе отмечается в основном комбинация гематологических заболеваний. Для коррекции не регенераторной стойкой эритропении с тромбоцитопенией используют стимуляторы эритропоэза и преднизолон, в то время как при эритропении с бластами уже показано химиотерапевтическое лечение.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В прогрессивной форме вирусного лейкоза инцидентность вирус индуцированных гематологических заболеваний составила 88% случаев.

Распространенность гематологических заболеваний у кошек больных вирусной лейкемией составило 96%. По данным других исследований эти показатели разнятся от 30-40% случаев

Гематологические заболевания преобладали в группе молодых животных в возрасте 1-4 года и составляли 59,38 % случаев (57 голов) , в возрасте 5-8 лет 31,25 % случаев (30 голов), а в группе старше 8 лет всего 11,37 % случаев (9 голов). Что коррелирует с данными литературы по преобладанию прогрессивной формы болезни в молодом возрасте. Наиболее часто будут требовать коррекции сочетание анемии и тромбоцитопении.

THE INCIDENCE OF MAJOR HEMATOLOGICAL DISEASES ASSOCIATED WITH FELINE VIRAL LEUKEMIA

Bulakovskaya O. A.* – postgraduate student of the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory and Exotic Animals (ORCID 0009-0001-9362-0529); **Sotnikova L. F.** – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory, and Exotic Animals

*oksana_kruglik@mail.ru

ABSTRACT

The article presents the results of a study on the main hematological diseases in cats diagnosed with viral leukemia. The systematization of hematological diseases allows for further selection of replacement and pathogenetic therapy, prediction of the severity of clinical symptoms, and development of a treatment plan. The study was based on the medical records of 109 cats diagnosed with progressive viral leukemia. The progressive form of the disease was confirmed in accordance with international recommendations for PCR of the virus RNA (polymerase chain reaction with detection of the virus ribonucleic acid) or ELISA p 27 (determination of the viral specific protein p27 by immunofluorescence analysis). Hematological diseases were detected in 88% of cases (96 heads) out of 109. In the group of animals aged 1-4 years, erythropenia with thrombocytopenia was observed in 33.33% of cases (19 animals), and cytopenia with blasts was ob-

served in 28.07% of cases (16 animals). In the group of animals aged 5-8 years, erythropenia with thrombocytopenia was observed in 33.33% of cases (10 animals), and pancytopenia was observed in 26.67% of cases (8 animals). In the group of animals over 8 years of age, erythropenia with thrombocytopenia was detected in 55.56% of cases (5 animals), and pancytopenia in 33.33% of cases (3 animals). Thus, the most prevalent hematological disease in all age groups was a combination of erythropenia and thrombocytopenia, which was detected in 35.4% of cases (34 heads) from all examined cats with hematological diseases of 96 heads. Determining the type of cytopenia (decreased blood cells of a specific morphological line) or a combination of cytopenias is necessary for further effective therapy. To correct the combination of anemia and thrombocytopenia, the preferred treatment options are whole blood or combined hematotransfusion with red blood cell concentrate (erythrocyte mass) and platelet concentrate. This is because the therapy should focus on replenishing the two cellular lines of morphological elements.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреева, Я.С., Острая гемолитическая реакция после трансфузии эритроцит содержащих компонентов крови: причины, профилактика, клинические случаи/ Я.С. Андреева, О.А. Майорова, А.Ю. Буланов//Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь. – 2020. с.646–652.
2. Зенченкова, А.П., Макаров, В.В. Вирусная лейкемия кошек как проблема современной ветеринарии: обзор литературы/А.П. Зенченкова, В.В. Макаров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии.– 2020.– №6. – С.33
3. Сидорчук, А.А. Общая эпизоотология/А.А. Сидорчук, Е.С. Воронин, // М.:Колос, –2004.–С.251
4. Beall, M. J. Feline leukemia virus p27 antigen concentration and proviral DNA load are associated with survival in naturally infected cats / M. J. Beall, J. Buch, G.

Clark // Viruses. – 2021. – Т. 13. – №. 2. – С. 302.

5. Cattori V. Inhibition of Feline leukemia virus replication by the integrase inhibitor Raltegravir/ V. Cattori, B . Weibel, H. Lutz // Veterinary Microbiology. – 2011. –№ 165. – p. 165-168

6. Tasker, S Coombs test, retrovirus and hemobartonellosis tests for anemia in cats / S.Tasker, J.K. Murray, T.G. Knowles, M.J. Day // JSAP/ Russian edition.– 2010. –№2.– с 27-36

7. Hofmann-Lehmann, R, Hartmann, K. Feline leukaemia virus infection: A practical approach to diagnosis/ R. Hofmann-Lehmann, K. Hartmann// Journal of Feline Medicine and Surgery. – 2020. – p 831–846

8. Taylor, S. 2021 ISFM consensus guidelines on the collection and administration of blood and blood products in cats/ S. Taylor, E. Spada, Callan, M.B et al. // Journal of Feline Medicine and Surgery. – 2021. – p.410-432.

REFERENCES

1. Andreeva, Ya.S., Acute Hemolytic Reaction after Transfusion of Red Blood Cell-Containing Blood Components: Causes, Prevention, and Clinical Cases/Ya.S. Andreeva, O.A. Mayorova, A.Yu. Bulanov// Sklifosovsky Journal of Emergency Medicine. –2020. pp. 646–652.
2. Zenchenkova, A.P., Makarov, V.V. Feline Viral Leukemia as a Problem in Modern Veterinary Medicine: A Literature Review/ A.P. Zenchenkova, V.V. Makarov // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2020.– No. 6.– P. 33
3. Sidorchuk, A.A. General Epizootiology/A.A. Sidorchuk, E.S. Voronin, // Moscow: Kolos, 2004.–P.251
4. Beall, M. J. Feline leukemia virus p27 antigen concentration and proviral DNA load are associated with survival in naturally infected cats / M. J. Beall, J. Buch, G. Clark // Viruses. – 2021. – Т. 13. – №. 2. – С. 302.
5. Cattori V. Inhibition of Feline leukemia virus replication by the integrase inhibitor Raltegravir/ V. Cattori, B . Weibel, H. Lutz // Veterinary Microbiology. – 2011. –№

165. – p. 165-168

6. Tasker, S. Coombs test, retrovirus and hemobartonellosis tests for anemia in cats / S. Tasker, J.K. Murray, T.G. Knowles, M.J. Day // JSAP/ Russian edition. – 2010. – №2. – с 27-36

7. Hofmann-Lehmann, R, Hartmann, K. Feline leukaemia virus infection: A practical approach to diagnosis/ R. Hofmann-

Lehmann, K. Hartmann // Journal of Feline Medicine and Surgery. – 2020. – p 831–846

8. Taylor, S. 2021 ISFM consensus guidelines on the collection and administration of blood and blood products in cats/ S. Taylor, E. Spada, Callan, M.B et al. // Journal of Feline Medicine and Surgery. – 2021. – p.410-432.



ФАРМАКОЛОГИЯ, ТОКСИКОЛОГИЯ, ФАРМАЦИЯ

УДК: 619:636.028:615.281:615.37:611.018

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.94

ОЦЕНКА ГЕПАТОТОКСИЧНОСТИ ПРЕПАРАТОВ «ГЕНТАБИФЕРОН-С» И «ПРОПИГ» ПРИ МНОГОКРАТНОМ ВВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫМ МЫШАМ (ДОКЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Григорьева Н.А. – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-7593-1198); Михайлов Е.В. – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5457-1325)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»)

*gna_91@bk.ru

Ключевые слова: антибиотики, цитокины, интерфероны, мыши, гистология.

Key words: antibiotics, cytokines, interferons, mice, histology.

Поступила: 25.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Исследование направлено на изучение возможного токсикологического воздействия на печень белых мышей (n=12) «Гентабиферона-С» и «Прописа». Введение субстанций проводили внутримышечно 1 раз в день в течение 14 дней в дозировках 1/10 LD₅₀ (550 мг/кг и 641 мг/кг соответственно) и 1/50 LD₅₀ (110 мг/кг и 128 мг/кг соответственно), животные контрольной группы эквивалентно получали стерильный раствор 0,9% NaCl. Материалом для исследования служила печень мышей, которую выделяли, проводили макроскопическую оценку с последующим взвешиванием, определением массового коэффициента и гистологическим исследованием. В результате проведенного макроскопического исследования печени мышей опытных и контрольной групп не выявлено выраженных общепатологических и специфических деструктивных изменений. При гистологическом исследовании установлено наличие очаговых изменений у животных в опытных группах. Степень проявления негативного воздействия напрямую зависела от используемой дозы. Присутствовали лейкоцитарные инфильтраты, отмечали признаки полиморфизма ядер гепатоцитов и очаговой вакуолизации цитоплазмы, легкий гидропический отек, что в комплексе трактуется как проявление слабо-выраженной дистрофии. Встречались периваскулярные "муфты", мелкие очажки пролиферации фибробластов и отложения коллагеновых волокон, указывающие на начало фиброза. По истечении восстановительного периода (10 дней) наблюдали положительную динамику в восстановлении паренхиматозной ткани печени и подтверждается результатами морфометрического анализа. В группе с наиболее выраженной патологией

(«Гентабиферон-С», 1/10 LD₅₀) количество воспалительных очагов снизилось на 81,0%, фиброзных — на 73,0% ($p < 0,05$), что указывает на потенциальную обратимость изменений. Таким образом, полученные данные наглядно показывают, что гепатотоксический эффект является дозозависимым, наиболее выражен у «Гентабиферона-С» в высокой дозе и в значительной степени обратим после отмены препаратов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В современном животноводстве одной из основных проблем являются бактериальные и вирусные инфекции. При этом достаточно часто встречаются комбинированные инфекции, когда на фоне заболевания с вирусной этиологией происходит развитие патогенной бактериальной микрофлоры. Данный процесс может быть связан со снижением общей резистентности организма во время болезни, что приводит к снижению устойчивости организма к инфекционным агентам. Развитие коинфекций и растущая устойчивость бактерий к антибиотикам сильно осложняет лечение поголовья и приводит к экономическим потерям [1]. В связи с этим поиск новых путей фармакокоррекции остаётся актуальным и востребованным направлением в современной ветеринарии. Необходимы комплексные препараты, обладающие как антибактериальным действием, так и повышающие эффективность лечения при вирусных инфекциях. При этом быть безопасными, обладать низкой токсичностью и высокой терапевтической эффективностью [2, 3].

Возможными путями решения проблемы является использование средств на основе антибиотиков в комплексе с интерферонами, которые проявляют антивирусную активность, обеспечивают иммунорегулирующее, противовоспалительное и опосредованное антибактериальное действие, повышая поглотительную активность фагоцитов [4-6].

Примером таких средств являются «Гентабиферон-С» и «Пропиг» на основе альфа- и гамма- интерферонов свинных рекомбинантных. В состав первого препарата так же входит гентамицина сульфат, второго - азитромицин, левофлоксацин, витамины А и Е.

Данное исследование было посвящено изучению токсикологического воздей-

ствия на печень белых мышей «Гентабиферона-С» и «Пропига» при их многократном применении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследовательская работа была выполнена в условиях вивария ФГБНУ «ВНИИПФиТ» на конвенциональных белых мышах, содержащихся в стандартных условиях в соответствии с правилами лабораторной практики, применяемыми на территории Российской Федерации (ETS 123, Strasbourg, 1986; Директива 2010/63/EU от 22.09.2010 г; ГОСТ 33216-2014, ГОСТ 33215-2014). Организация экспериментальной работы соответствовала требованиям Директивы 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского Союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях, и была одобрена биоэтической комиссией института.

Животные были разделены на 5 групп ($n=12$) по принципу парных аналогов. Введение субстанций проводили внутримышечно 1 раз в день в течение 14 дней (таблица 1) в рамках исследования подострой токсичности препаратов [7].

Отбор материала для гистологического исследования проводили в 2 этапа: на следующий день после завершения курса применения и по прошествии ещё 10 дней восстановительного периода, выводя животных из опыта с помощью CO₂-камеры по 6 голов из каждой группы, соответственно.

Материалом для гистологического исследования служила печень мышей, которую выделяли, проводили макроскопическую оценку с последующим взвешиванием, определением массового коэффициента (вес органа, г/ вес животного, г) и гистологическим исследованием. Гистологическая проводка полученного ма-

териала осуществлялась по стандартным методикам. Образцы печени фиксировали в 10%-ном растворе нейтрального формалина, подвергали обезвоживанию путём помещения материала в спирты с возрастающей концентрацией и заливали в парафин. Гистологические поперечные срезы толщиной 4—5 мкм окрашивали гематоксилин-эозином [8]. Морфологическое исследование гистологических препаратов проводили на микроскопе «Биомед-5» с цифровой цветной камерой. Морфологическую оценку состояния пе-

ченочной ткани осуществляли на основе морфометрического исследования гистологических срезов.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью компьютерного пакета программ Statistica, версия v10. Рассчитывали среднюю арифметическую (M) и стандартное отклонение (SD), достоверность различия между выборками (p) оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Достоверными считали показатели при $p < 0,05$.

Таблица 1 – Дизайн эксперимента

№ группы	Название препарата	Используемая дозировка
1	Контроль - препарат не получали	стерильный раствор 0,9% NaCl эквивалентно
2	«Гентабиферон-С»	1/10 LD ₅₀
3	«Гентабиферон-С»	1/50 LD ₅₀
4	«Пропиг»	1/10 LD ₅₀
5	«Пропиг»	1/50 LD ₅₀

Примечание: «Гентабиферон-С» 1/10 LD₅₀ - 550 мг/кг, 1/50 LD₅₀ - 110 мг/кг; «Пропиг» 1/10 LD₅₀ - 641 мг/кг, 1/50 LD₅₀ - 128 мг/кг, установлены до начала исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате проведённого макроскопического исследования печени мышей опытных и контрольной групп не выявлено выраженных общепатологических и специфических деструктивных изменений. Весовые коэффициенты органов во всех опытных группах статистически не отличались от контрольных показателей (таблица 2).

Гистологическое исследование выявило ряд изменений в печени опытных животных, зависящих от дозы исследуемых субстанций и наличия восстановительного периода.

В первый этап отбора материала (сразу после курса инъекций) в группе 1 (контроль) отмечали сохранение архитектоники печени. Печёночные дольки имели чёткие контуры, гепатоциты были расположены радиальными балками вокруг центральных вен. Цитоплазма гепатоцитов оптически светлая, ядра округлые, везикулярные, расположены централь-

но. Портальные тракты не изменены, желчные протоки без особенностей. Сосудистые структуры запустевшие. В группе 3 и 5 («Гентабиферон-С» и «Пропиг», 1/50 LD₅₀) картина в целом была сопоставима с контролем. У единичных животных визуализировались минимальные признаки полиморфизма ядер гепатоцитов и незначительная очаговая вакуолизация цитоплазмы, что трактуется как проявление слабовыраженной дистрофии. Группа 4 («Пропиг», 1/10 LD₅₀): на фоне относительно сохранной архитектоники отмечались очаговые изменения. В перипортальных зонах и вокруг центральных вен наблюдались небольшие лейкоцитарные инфильтраты сопоставимым с размером 3-5 гепатоцитов, преимущественно лимфогистиоцитарного характера. В паренхиме местами выявлялись единичные мелкоочаговые некрозы гепатоцитов с последующим лизисом и слабой макрофагальной реакцией. В группе 2 («Гентабиферон-С», 1/10 LD₅₀) наблюда-

ли наиболее выраженные изменения. Помимо описанных для группы 4 инфильтратов, здесь регулярно встречались периваскулярные "муфты" — значительные скопления лимфоидных клеток вокруг мелких сосудов, иногда суживающие их просвет. Характерным находками были мелкие очажки пролиферации фибробластов и отложения коллагеновых волокон, указывающие на начало фиброза. Цитоплазма части гепатоцитов была умеренно вакуолизирована, отмечался легкий гидропический отек.

Во втором этапе отбора материала (после 10-дневного восстановительного периода) наиболее выраженные изменения наблюдали в группе 2 («Гентабиферон-С», 1/10 LD₅₀). Отмечали наличие мелких очажков пролиферации фибробластов и отложения коллагеновых волокон, указывающие на начало фиброза (рис. 1а), встречались периваскулярные "муфты" (рис. 1б). Цитоплазма части ге-

патоцитов была умеренно вакуолизирована, выявлен незначительный гидропический отек. В группе 4 («Пропиг», 1/10 LD₅₀) отмечена положительная динамика: воспалительные инфильтраты значительно уменьшились в размерах и клеточной плотности (рис. 1в), в большинстве полей зрения не определялись. На месте некрозов сформировались нежные рубчики из созревающей соединительной ткани или происходила регенерация гепатоцитов. В группе 2 («Гентабиферон-С», 1/10 LD₅₀), несмотря на выраженную положительную динамику, остаточные явления были наиболее заметными. Периваскулярные инфильтраты сохранялись, но становились менее плотными (рис. 1г). В паренхиме визуализировались дискретные микроочаги фиброза как исход активного воспаления (рис. 1д). Вакуолизация цитоплазмы гепатоцитов была незначительной.

Таблица 2 – Массовые коэффициенты печени мышей после многократного применения препаратов на основе антибиотиков и цитокинов

№ группы	Этап отбора образцов печени	
	1-й	2-й
1	0,05±0,0	0,05±0,003
2	0,06±0,002	0,05±0,002
3	0,06±0,002	0,05±0,002
4	0,06±0,002	0,05±0,002
5	0,06±0,002	0,05±0,002

Результаты морфометрического анализа (таблица 3) объективно подтвердили тенденции, выявленные при качественном гистологическом исследовании, и позволили установить дозозависимый и обратимый характер гепатотоксичности изучаемых препаратов.

Как следует из данных таблицы, статистически достоверные изменения, по сравнению с контрольной группой, были зарегистрированы только в группе 2 (получавшей «Гентабиферон-С» в высокой дозе (1/10 LD₅₀)) на первом этапе исследования. Общее количество патологических очагов в этой группе составило 3,2±0,5 в поле зрения, причём большая часть из них (2,1±0,3) приходилась на

очаги воспаления, а меньшая (1,1±0,2) — на очаги фиброза. Это указывает на то, что токсический эффект проявлялся не только острым воспалением, но и запускал процессы перестройки соединительной ткани.

Результаты морфометрического анализа свидетельствуют о дозозависимой регрессии гистологических изменений в печени после 10-дневного восстановительного периода. В группе с наиболее выраженной патологией («Гентабиферон-С», 1/10 LD₅₀) количество воспалительных очагов снизилось на 81,0%, фиброзных — на 73,0% (p<0,05). Выявленная тенденция указывает на потенциальную обратимость изменений, однако для под-

тверждения полной резорбции фиброзных структур необходимо проведение дополнительных исследований с применением специфических красителей коллагена и более длительным периодом наблюдения.

В группе 4 («Пропиг», 1/10 LD₅₀) на первом этапе также фиксировалось повышенное общее количество очагов (2,0±0,3), однако оно не достигало статистической значимости по сравнению с контролем и было ниже, чем в группе 2. После восстановительного периода показатели в этой группе нормализовались до

уровня 0,4±0,1, что демонстрирует хорошую способность печени к регенерации и после применения высокой дозы «Пропига». Группы 3 и 5, получавшие препараты в низких дозировках (1/50 LD₅₀), на обоих этапах исследования не показали статистически значимых отличий от контрольной группы. Количество очагов в них было минимальным (0,1–0,3), что клинически можно интерпретировать как отсутствие существенной гепатотоксичности при применении в данных дозах.

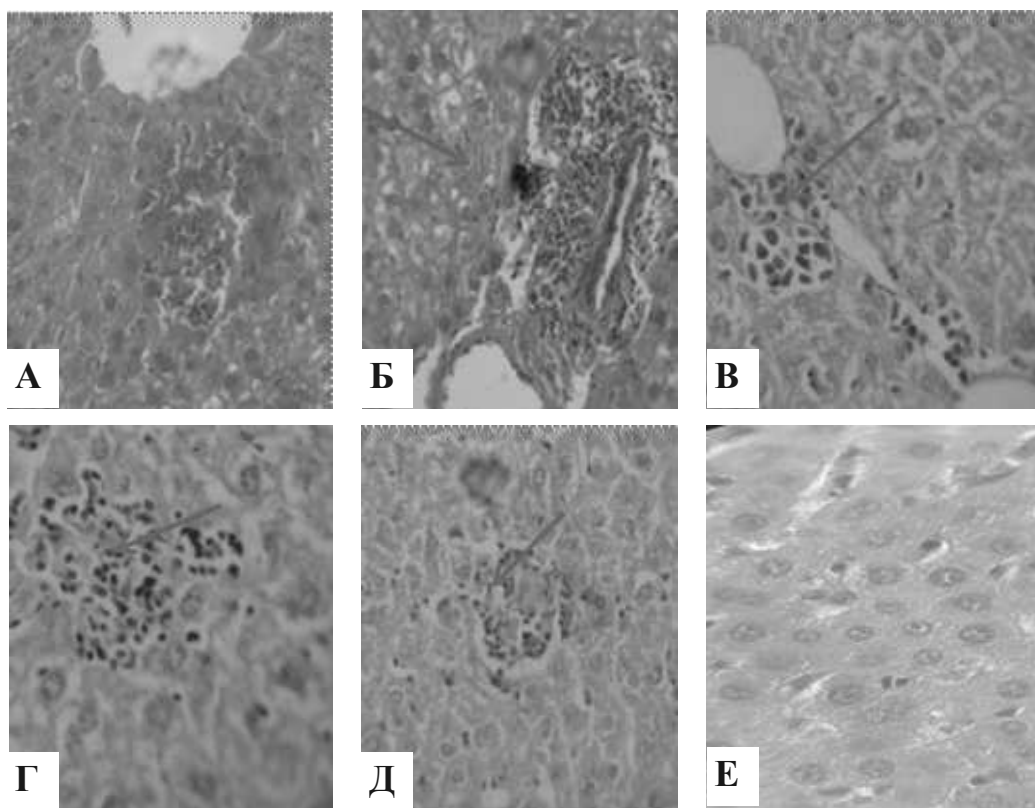


Рисунок 1 – Гистологическое строение печени мышей после многократного применения препаратов на основе антибиотиков и цитокинов. А – очаг пролиферации фибробластов и отложения коллагена в паренхиме (группа 2, 1-й этап); Б – плотный лимфоцитарный инфильтрат, формирующий периваскулярную "муфту" (группа 2, 1-й этап); В – уменьшение воспалительной инфильтрации после восстановительного периода (группа 4, 2-й этап); Г – остаточная периваскулярная инфильтрация (группа 2, 2-й этап); Д – микроочаг фиброза в паренхиме печени (группа 2, 2-й этап); Е – нормальное гистологическое строение печени (группа 1, контроль).

Окраска гематоксилин-эозином ув. X400.

Таблица 3 – Результаты морфометрического анализа гистологических изменений в печени мышей

№ группы	Препарат, доза	Этап отбора образцов печени■	Количество очагов воспаления	Количество очагов фиброза	Общее количество очагов
1	Контроль	1-й	0	0	0
		2-й	0	0	0
2	«Гентабиферон-С», 1/10 LD ₅₀	1-й	2,1 ± 0,3	1,1 ± 0,2	3,2 ± 0,5*
		2-й	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,2
3	«Гентабиферон-С», 1/50 LD ₅₀	1-й	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,1
		2-й	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1
4	«Пропиг», 1/10 LD ₅₀	1-й	1,5 ± 0,2	0,5 ± 0,1	2,0 ± 0,3
		2-й	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,1
5	«Пропиг», 1/50 LD ₅₀	1-й	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,1
		2-й	0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0

Примечание: ● – достоверное различие ($p < 0,05$) по сравнению с контрольной группой и соответствующими группами на низких дозировках на том же этапе исследования. ■ – 1-й этап отбора – непосредственно после применения препаратов, 2-й этап – после восстановительного периода.

Таким образом, данные морфометрии наглядно показывают, что гепатотоксический эффект является дозозависимым, наиболее выражен у «Гентабиферона-С» в высокой дозе и в значительной степени обратим после отмены препарата.

EVALUATION OF HEPATOTOXICITY OF "GENTABIFERON-C" AND "PROPIG" PREPARATIONS UPON REPEATED ADMINISTRATION TO LABORATORY MICE (PRECLINICAL STUDY)

Grigoryeva N.A. – PhD in Veterinary Sciences, (ORCID 0000-0002-7593-1198); Mikhaylov E.V. – PhD in Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5457-1325).

All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy

*gna_91@bk.ru

ABSTRACT

The study was aimed at investigating the possible toxicological effect of Gentabiferon-C and Propig on the liver of white mice (n=12). The substances were administered

intramuscularly once a day for 14 days at dosages of 1/10 LD₅₀ (550 mg/kg and 641 mg/kg, respectively) and 1/50 LD₅₀ (110 mg/kg and 128 mg/kg, respectively). The control group animals received an equal volume of sterile 0,9% NaCl solution. The mouse liver served as the material for the study. It was isolated, macroscopically assessed, then weighed, the mass coefficient was determined, and the liver was histologically examined. Macroscopic examination of the liver of mice from the experimental and control groups did not reveal any pronounced general pathological or specific destructive changes. The organ mass coefficients did not statistically differ from the control values. Histological examination revealed the presence of focal changes in animals from the experimental groups. The severity of the adverse effects was directly dependent on the dose used. Leukocyte infiltrates were present, signs of hepatocyte nuclear polymorphism and focal cytoplasmic vacuolization were noted, as well as mild hydropic edema, which, taken together, is interpreted as a manifestation of mild dystrophy. Perivascular "cuffs", small foci of fibroblast proliferation, and collagen fiber deposits were observed, indicating the onset of fibrosis.

After the recovery period (10 days), positive dynamics in the restoration of liver parenchymal tissue were observed, confirmed by the results of morphometric analysis. In the group with the most severe pathology ("Gentabiferon-C", 1/10 LD₅₀), the number of inflammatory foci decreased by 81,0%, and fibrotic foci by 73,0% ($p < 0,05$), indicating potential reversibility of the changes. Thus, the data obtained clearly demonstrate that the hepatotoxic effect is dose-dependent, is most pronounced with high doses of "Gentabiferon-C", and is largely reversible after discontinuation of the drug.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Исследуемые препараты обладают слабо выраженной гепатотоксичностью, при этом степень проявления негативного воздействия прямо пропорциональна используемой дозе. По истечении восстановительного периода отмечено восстановление паренхиматозной ткани печени, что свидетельствует об обратимости возникших изменений и безопасности многократного применения субстанций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гусев А.А., Авиллов В.М., Стекольников А.А., Енгашев С.В. Антибиотикорезистентность и альтернативные методы профилактики и борьбы с бактериальными инфекциями. *Международный вестник ветеринарии*. 2025. - №2. - С.62-74. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.2.62.
2. Григорьева Н.А. Применение интерферонсодержащих препаратов в терапии инфекционной патологии сельскохозяйственных животных. Материалы научно-практической конференции «Теория и практика инновационных технологий в АПК». Воронеж, 2021. С. 67-69. Точка доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46954690>.
3. Бирюкова Н. П., Русаков С. В., Напалкова В. В. Общие принципы доклинической оценки безопасности фармакологических лекарственных средств для ветеринарного применения. *Ветеринарный врач*. 2018; 1: 3-9. Точка доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschie-printisipy-doklinicheskoy-otsenki-bezopasnosti-farmakologicheskikh-lekarstvennykh-sredstv-dlya-veterinarnogo-primeneniya/viewer>.

farmakologicheskikh-lekarstvennykh-sredstv-dlya-veterinarnogo-primeneniya/viewer.

4. Ческидова Л.В., Брюхова И.В., Григорьева Н.А. Перспективные направления создания лекарственных средств нового поколения для животных с применением биотехнологий (обзор). *Ветеринарный фармакологический вестник*. 2019.- № 2 (7).- С. 29-38. DOI: 10.17238/issn2541-8203.2019.2.29.
 5. Шабунин С. В., Востроилова Г. А., Григорьева Н. А., Жуков М. С., Грищук В. А. Интерфероны- α и - γ в клинической ветеринарной практике при профилактике и лечении инфекционных заболеваний у крупного рогатого скота и свиней (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. 23(1): 16-35. DOI 10.30766/2072-9081.2022.23.1.16-35.
 6. Kishko Ia. G., Vasylenko M. I. Action of natural gamma-interferons on functional activity of phagocytes and antibody synthesis after vaccination. *Mikrobiologichnii Zhurnal*. 2000;62(6):26-32. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11247346/>.
 7. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая / Под ред. А.Н. Миронова. — М.: изд-во Гриф и К, 2012. - 944 с.
 8. Методы морфологических исследований / С. М. Сулейманов, А. В. Гребенников, Е. В. Михайлов, И. С. Толкачев и др. // 2 е издание, исправленное и дополненное, ГНУ ВНИВИПФиТ: Воронеж, 2007. — 87 с.
- #### REFERENCE
1. Gusev A.A., Avilov V.M., Stekolnikov A.A., Engashev S.V. Antibiotic resistance and alternative methods of prevention and control of bacterial infections. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2025;(2):62-74. (In Russ.) DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.2.62
 2. Grigorieva N.A. "Use of interferon-containing drugs in the treatment of infectious diseases in farm animals." *Proceedings of the scientific and practical conference "Theory and Practice of Innovative Technologies in the Agricultural Sector."* Voronezh,

2021. pp. 67-69. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46954690>.
3. Birukova N.P., Rusakov S.V., Napalkova V.V. General principles of preclinical safety evaluation of pharmacological drugs for veterinary use. *Veterinarian*. 2018; 1: 3-9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschie-printsiipy-doklinicheskoy-otsenki-bezopasnosti-farmakologicheskikh-lekarstvennykh-sredstv-dlya-veterinarnogo-primeneniya/viewer>.
4. Cheskidova L. V., Briukhova I. V., Grigoreva N. A. Perspektivnye napravleniya sozdaniya lekarstvennykh sredstv novogo pokoleniya dlya zhivotnykh s primeneniem biotekhnologiy (obzor). *Veterinarnyy farmakologicheskiiy vestnik*. 2019;(2):29-38. (In Russ.). DOI: 10.17238/issn2541-8203.2019.2.29
5. Shabunin S. V., Vostroilova G. A., Grigoryeva N. A., Zhukov M. S., Gritsyuk V. A. Interferons- α and - γ in clinical veterinary practice in the prevention and treatment of infectious diseases in cattle and pigs (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(1):16-35. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.1.16-35
6. Kishko Ia. G., Vasylenko M. I. Action of natural gamma-interferons on functional activity of phagocytes and antibody synthesis after vaccination. *Mikrobiologichnii Zhurnal*. 2000;62(6):26-32. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11247346/>
7. Guidelines for conducting preclinical drug trials / edited by A. N. Mironova. M.: Griff. and K, 2012. P. 1.— 944 p
8. Morphological research methods/ S. M. Suleymanov, A. V. Grebenshikov, E. V. Mikhailov, I. S. Tolkachev et al. // 2nd edition, corrected and supplemented, VNIVIP-PHiT: Voronezh, 2007. — 8.

УДК: 591.111.1: 636.5.034

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.102

ЦИТОКИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭРИТРОПОЭЗА У ЦЫПЛЯТ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭНРОФЛОКСАЦИНА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО САЛЬМОНЕЛЛЕЗА

Присный А.А.,* д. биол. наук, главный научный сотрудник Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0001-5229-8337); **Титовец Д.В.**, аспирант кафедры биологии НИУ «БелГУ» (ORCID 0009-0006-8628-9758) **Скворцов В.Н.**, д. вет. наук, руководитель Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0002-9629-0000); **Кравцова А.Р.**, мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0009-9768-953X);

ФГБНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский научно -
исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина
и Я.Р. Коваленко РАН»

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

*andreyprisny@gmail.com

Ключевые слова: цыплята, кровь, ретикулоциты, сальмонеллёз, энрофлоксацин

Key words: chickens, blood, reticulocytes, salmonellosis, enrofloxacin

Поступила: 01.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Проведено исследование влияния энрофлоксацина на цитокинетические параметры эритропоэза у цыплят кросса «Хайсекс Браун» в условиях экспериментального сальмонеллеза. Энрофлоксацин, представитель фторхинолонов, представляет собой антибактериальный препарат с выраженной бактерицидной активностью против грамотрицательной микрофлоры, находящий широкое применение в ветеринарной практике. Целью работы является изучение влияния энрофлоксацина на цитокинетические параметры эритропоэза в условиях экспериментального сальмонеллеза, вызванного культурой *Salmonella Typhimurium*. В эксперименте было задействовано три группы суточных цыплят: интактный контроль, инфицированный контроль (заражение *Salmonella Typhimurium*) и опытная группа (инфицирование на фоне применения энрофлоксацина в дозе 200 мг/л с питьевой водой в течение пяти суток). После отмены препарата осуществляли отбор крови на вторые и шестые сутки. Количество ретикулоцитов определяли методом суправитального окрашивания бриллиантовым крезиловым синим. Исследовали динамику периода полувыведения ретикулоцитов, продукцию ретикулоцитов, период полувыведения эритроцитов и продукцию эритроцитов. Экспериментальный сальмонеллёз индуцировал значительные нарушения кинетики клеточного обновления эритрона, проявляющиеся дисбалансом между процессами проли-

ферации, дифференцировки и элиминации элементов красной крови. Применение энрофлоксацина способствовало коррекции длительности периода полувыведения ретикулоцитов и дисбаланса между продукцией и элиминацией клеток эритроидного ряда. Ключевым результатом исследования в опытной группе явилось значительное укорочение периода полувыведения ретикулоцитов к шестым суткам, отражающее нормализацию баланса пролиферации и дифференцировки в эритроидном ростке. Применение энрофлоксацина демонстрирует протекторный эффект на систему эритрона цыплят при сальмонеллёзе, снижая бактериальную нагрузку и корректируя нарушения эритропоэза. На фоне терапии отмечается восстановление баланса между продукцией и клиренсом эритроцитов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Птицеводство, являясь ключевой отраслью агропромышленного комплекса, сталкивается с существенными экономическими потерями, обусловленными инфекционными заболеваниями, среди которых особую опасность представляет сальмонеллёз [1]. Известно, что бактериальная инвазия и эндотоксемия при сальмонеллёзе провоцируют системную воспалительную реакцию, которая каскадно нарушает процессы пролиферации и дифференцировки клеток-предшественниц в костном мозге [2]. Это приводит к дисрегуляции цитокинетических параметров эритропоэза – изменению продолжительности клеточного цикла, митотического режима и кинетики созревания эритроидных элементов, что в итоге клинически манифестирует как анемия [3]. Для борьбы с инфекцией в промышленном птицеводстве широко применяют антибактериальные препараты фторхинолонового ряда, в частности энрофлоксацин, демонстрирующий высокую эффективность против грамотрицательной микрофлоры [4, 5, 6]. Однако его влияние на процессы кроветворения, особенно в условиях уже развившегося инфекционного процесса, изучено недостаточно и часто остается за рамками стандартных фармакологических исследований, фокусирующихся исключительно на антимикробной эффективности [7, 8].

Целенаправленное изучение влияния энрофлоксацина не только на возбудителя, но и на ключевые цитокинетические показатели эритропоэза позволит оценить его роль в коррекции анемии и постинфекционной регенерации крови [9, 10]. Получение таких данных является суще-

ственным для формирования более комплексного подхода к лечению, направленного не только на устранение возбудителя, но и на активное восстановление гомеостаза организма птицы.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка влияния курсового применения энрофлоксацина на цитокинетические параметры эритропоэза у петушков породы «Хайсекс Браун» в условиях экспериментального сальмонеллёза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проведено на суточных петушках кросса «Хайсекс Браун», выбранных в качестве модели в связи с их широким использованием в промышленном птицеводстве и высокой чувствительностью к бактериальным инфекциям. Были сформированы три группы: интактный контроль (без заражения и лечения) – группа I, инфицированный контроль (заражение *Salmonella Typhimurium*) – группа II, опытная группа (заражение с одновременным применением энрофлоксацина) – группа III. В рамках исследования цыплята опытной группы подвергались ежедневному пероральному введению энрофлоксацина в дозе 200 мг/л с питьевой водой в течение первых пяти суток жизни, при этом на вторые сутки проведено целенаправленное инфицирование птиц групп II и III суспензией *S. Typhimurium* с концентрацией $1,17 \times 10^6$ КОЕ/мл для моделирования инфекционного процесса.

Забор крови осуществляли методом внутрисердечной пункции с гепарином в качестве антикоагулянта на седьмые и одиннадцатые сутки жизни, что соответ-

ствовало 24 часам и шестым суткам после отмены препарата. Условия содержания всех групп соответствовали зоогигиеническим нормативам промышленного птицеводства: поддержание температуры в диапазоне 32-34°C с последующим плавным снижением до 28°C, влажности 60-70%, 16-часового светового дня при обеспечении неограниченного доступа к воде и стандартному рациону. Количество ретикулоцитов определяли стандартным методом суправитального окрашивания бриллиантовым крезильным синим [11]. Периферическую кровь смешивали с красителем в равных объемах с использованием стандартных капиллярных трубок. После тщательного перемешивания пробы инкубировали при комнатной температуре в течение 1,5 часов, при 40°C – в течение четырех часов. Приготовление мазков осуществляли на предметных стеклах стандартным методом растекания капли под углом 45°. Приготовленные мазки подвергали воздушной сушке с последующей микроскопией, в ходе которой анализировали не менее 1000 клеток эритроидного ряда в множественных полях зрения с идентификацией элементов, содержащих грануло-ретикулярные включения. Количественную оценку результатов проводили путем расчета процентного соотношения ретикулоцитов к общему пулу эритроцитов.

Для углубленной оценки эритропоэза применяли метод расчета цитокинетических параметров на основе динамики ретикулоцитов в инкубированной крови. Основу метода составляет расчёт цитокинетического показателя (ЦКП), который определяется дифференциальным уравнением:

$$-\frac{dN_p}{dt} = \lambda N_r = \frac{0,693}{T_{1/2p}} \cdot N_p,$$

где $T_{1/2p}$ – период полувыведения ретикулоцитов из пробы при созревании, N_p – текущее количество ретикулоцитов.

Интегрированное уравнение описывает экспоненциальную динамику изменения популяции ретикулоцитов во времени:

$$N_p = N_{p0} \cdot e^{\frac{0,693}{T_{1/2p}}},$$

где N_{p0} – количество ретикулоцитов после инкубации при комнатной температуре в течение 1,5 часов.

Период полувыведения рассчитывают через логарифмическое преобразование экспериментальных данных:

$$T_{1/2p} = \frac{0,301 \cdot t}{\lg \frac{N_{pt}}{N_{p0}}},$$

где t – время инкубации; N_{p0} – количество ретикулоцитов в пробе после инкубации при комнатной температуре в течение 1,5 часов, %; N_{pt} – количество ретикулоцитов в пробе после инкубации при 40°C в течение четырех часов, %.

Продукцию ретикулоцитов в 1 мкл крови за 24 часа определяют по формуле:

$$P_{p/сут} = \frac{0,693 \cdot N_{p0} \cdot N_{sp} \cdot 24}{T_{1/2p} \cdot 1000},$$

где N_{sp} – общее число эритроцитов.

Для статистического анализа полученных данных был применен непараметрический U-критерий Манна-Уитни, при этом статистически достоверными считали различия при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Экспериментальная инфекция индуцировала значительные нарушения кинетики клеточного обновления эритрона, проявляющиеся дисбалансом между процессами пролиферации, дифференцировки и элиминации элементов красной крови.

Анализ динамики периода полувыведения ретикулоцитов ($T_{1/2}$) выявил выраженные изменения эритропоэза: в интактной группе регистрировали физиологически низкие значения $T_{1/2}$, характерные для активного созревания клеток, тогда как в инфицированных группах отмечено достоверное увеличение показателя в 3 и 7 раз соответственно, что свидетельствует о токсическом воздействии патогена на процессы созревания эритроцитов (таблица 1).

К шестым суткам наблюдения в интактной группе зафиксировано снижение $T_{1/2}$ на 36%, отражающее стресс-индуцированную активацию эритропоэза. В группе инфицированного контроля уменьшение показателя на 24% сопровождалось сохранением ретикулоцитоза,

указывая на частичную компенсацию нарушений. Наиболее выраженная динамика наблюдалась в опытной группе, где сокращение $T_{1/2}$ на 82% демонстрировало экстренную мобилизацию костномозгового резерва через ускоренное созревание ретикулоцитов (таблица 1).

Таблица 1- Динамика значений цитокинетических параметров эритропоэза крови цыплят в условиях экспериментальной инфекции ($M \pm m$)

Сутки	Группа	Период полувыведения ретикулоцитов ($T_{1/2}$), ч	Продукция ретикулоцитов, ед/(мкл*сут)	Период полувыведения эритроцитов ($T_{1/2}$), ч	Продукция эритроцитов, тыс/(мкл*сут)
1	I	3,22±1,25	1534,9±490,21	1,43±0,61	1,53±0,49
	II	9,88±5,77	2121,6±1337,49	2,69±1,52	2,12±1,35
	III	24,94±12,89	1249,3±534,40	4,98±2,65	1,25±0,53
5	I	2,05±0,89	2490,7±719,35	1,60±0,74	2,49±0,72
	II	7,50±2,28	1736,5±1297,52	9,02±4,29	1,74±1,30
	III	4,45±1,26	1872,36±484,17	1,16±0,50	1,87±0,48

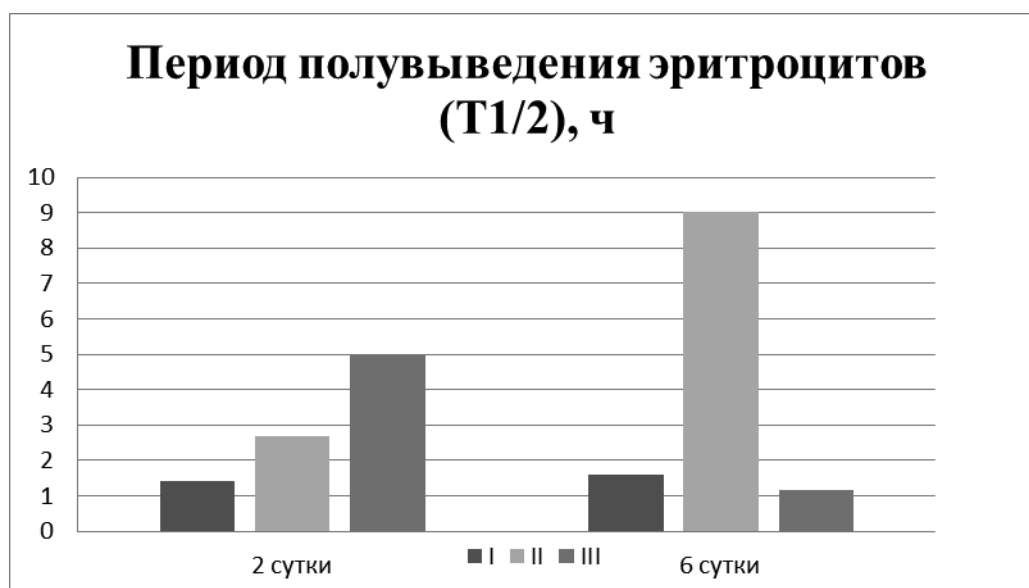


Рисунок 1- Период полувыведения эритроцитов в крови цыплят при использовании энрофлоксацина в условиях экспериментальной инфекции.

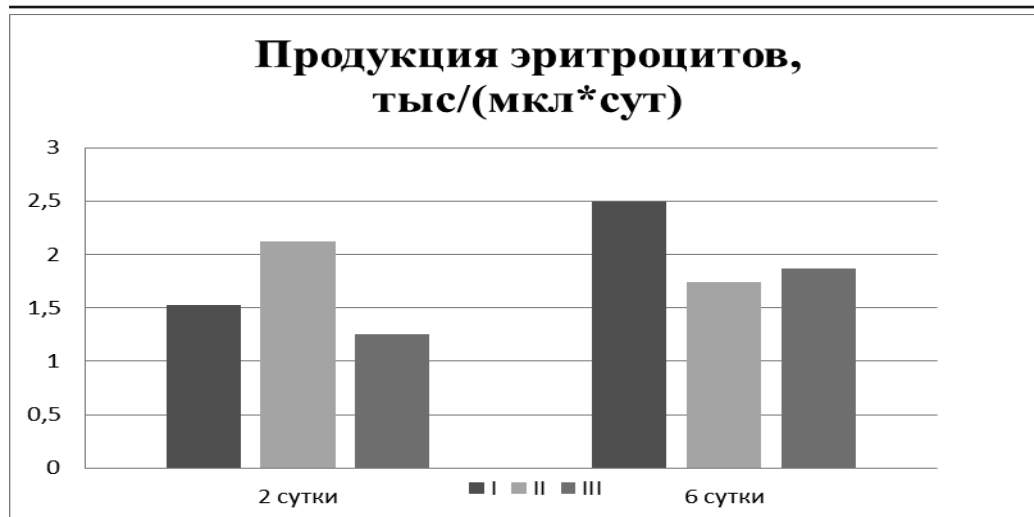


Рисунок 2- Продукция эритроцитов в крови цыплят при использовании энрофлоксацина в условиях экспериментальной инфекции.

Анализ цитокинетических параметров эритропоэза выявил гетерогенный ответ костномозгового кроветворения на инфекционное поражение. К 5-м суткам эксперимента в интактной группе зарегистрирован значительный прирост продукции ретикулоцитов на 62%, отражающий компенсаторную активацию эритропоэза в ответ на развивающуюся анемию. В группе инфицированного контроля отмечено снижение показателя на 18%, свидетельствующее об угнетении регенераторного потенциала под влиянием инфекционной интоксикации. Опытная группа демонстрировала промежуточную динамику с увеличением продукции на 49%, что указывает на частичное сохранение компенсаторных механизмов.

Исследование периода полувыведения эритроцитов выявило существенные межгрупповые различия (рис. 1). В интактной группе наблюдали физиологически низкие значения $T_{1/2}$, соответствующие активному клеточному обновлению, тогда как в инфицированных группах отмечено повышение показателя на 88% и 200% соответственно, что свидетельствует о нарушении клиренсной функции ретикулоэндотелиальной системы.

К шестым суткам в группе инфицированного контроля зафиксирован рост $T_{1/2}$

на 100%, отражающий блокаду фагоцитарной активности, тогда как в опытной группе отмечено сокращение периода полувыведения на 76%, демонстрирующее активацию механизмов устранения поврежденных клеток.

Оценка продукции эритроцитов выявила разнонаправленную динамику: в интактной группе зафиксирован выраженный прирост показателя на 62%, характеризующий компенсаторную гиперплазию эритроидного ростка, тогда как в группе инфицированного контроля отмечено снижение на 17%, свидетельствующее об угнетении пролиферативной активности (рис. 2).

Опытная группа демонстрировала умеренный прирост продукции на 49%, подтверждающий частичное сохранение регенераторного резерва даже в условиях инфекционного процесса.

К шестым суткам значения цитокинетических параметров эритропоэза крови цыплят вернулись к исходному уровню.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Применение энрофлоксацина в дозе 200 мг/л демонстрирует протекторный эффект на систему эритрона цыплят при сальмонеллёзе, снижая бактериальную нагрузку и корректируя нарушения эритропоэза. На фоне терапии отмечается вос-

становление баланса между продукцией и клиренсом эритроцитов. Без лечения сохраняются признаки анемии, макроцитоза и гиперхромии, что подтверждает необходимость антимикробной коррекции для минимизации гематологических осложнений и поддержания кислородтранспортной функции крови.

CYTOKINETIC PARAMETERS OF ERYTHROPOIESIS IN CHICKENS UNDER THE INFLUENCE OF ENROFLOXACIN IN EXPERIMENTAL SALMONELLOSIS

Prisnyi A.A.*, Dr. Biol. Sci., Principal Researcher FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000-0001-9380-4136); **Titovets D.V.**, postgraduate student, "Belgorod State National Research University" (ORCID 0009-0006-8628-9758); **Skvortsov V.N.**, Dr. Vet. sci., Head of Belgorod Department of FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000-0002-9629-0000); **Kravtsova A.R.**, Junior Researcher (ORCID 0000-0003-1340-8024).

FGBNU "Federal Scientific Centre — All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Ya.R. Kovalenko of Russian Academy of Sciences"

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod State National Research University»

*andreyprisnyi@gmail.com

ABSTRACT

A study was conducted on the effect of enrofloxacin on the cytokinetic parameters of erythropoiesis in chickens of the Highsex Brown cross under conditions of experimental salmonellosis. Enrofloxacin, a member of the fluoroquinolones, is an antibacterial drug with pronounced bactericidal activity against gram-negative microflora, which is widely used in veterinary practice. The aim of the work is to study the effect of enrofloxacin on the cytokinetic parameters of erythropoiesis in the conditions of experimental salmonellosis caused by *Salmonella Typhimurium* culture. The experiment involved three groups of day-old chicks: intact con-

trol, infected control (infection with *Salmonella Typhimurium*) and the experimental group (infection against the background of the use of enrofloxacin at a dose of 200 mg/l with drinking water for five days). After the drug was discontinued, blood samples were taken on the second and sixth days. The number of reticulocytes was determined by the supravital staining with brilliant cresyl blue. The dynamics of the half-life of reticulocytes, the production of reticulocytes, the half-life of erythrocytes, and the production of erythrocytes were studied. Experimental salmonellosis induced significant disturbances in the kinetics of erythrocyte cell renewal, manifested by an imbalance between the processes of proliferation, differentiation, and elimination of red blood cells. The use of enrofloxacin contributed to the correction of the duration of the half-life of reticulocytes and the imbalance between the production and elimination of erythroid cells. The key result of the study in the experimental group was a significant shortening of the half-life of reticulocytes by the sixth day, which reflects the normalization of the balance between proliferation and differentiation in the erythroid lineage. The use of enrofloxacin demonstrates a protective effect on the erythron system of chickens with salmonellosis, reducing the bacterial load and correcting erythropoiesis disorders. Against the background of therapy, the balance between the production and clearance of erythrocytes is restored.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кочиш, И.И. Биология и патология сельскохозяйственной птицы / И.И. Кочиш, В.И. Смоленский, В.И. Щербатов. — М.: ООО «ЗooВетКнига», 2018. — 551 с.
2. Липунова, Е.А. Система красной крови: Сравнительная физиология: Монография / Е.А. Липунова, М.Ю. Скоркина. — Белгород: Изд-во БелГУ, 2004. — 216 с.
3. Лоретц, О.Г. Динамика морфологических и биохимических показателей крови цыплят-бройлеров при использовании в рационе микробиологических препаратов / О.Г. Лоретц, О.В. Горелик, М.А. Зяблицева, А.А. Белокозов // Аграрный вест-

- ник Урала. – 2017. – № 11 (165). – С. 25-27.
4. Моисеева, А.А. Влияние применения фторхинолонов на содержание гемоглобина в крови цыплят / А.А. Моисеева, А.А. Присный, В.Н. Скворцов // Труды Белгородского филиала ФГБНУ «ВНИИ экспериментальной ветеринарии». – 2021. – С. 190-192.
5. Prisnyi, A.A. The effect of enrofloxacin on blood values of chickens in experimental salmonellosis / A.A. Prisnyi A.A., A.A. Moiseeva, V.N. Skvortsov, V.V. Nevzorova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020 – Vol. 548 – 42037.
6. Gibson, J.S. Fluoroquinolone resistance mechanisms in multidrug-resistant *Escherichia coli* isolated from extraintestinal infections in dogs / J.S. Gibson, R.N. Cobbold, M.T. Kyaw-Tanner, P. Heisiq // Veterinary Microbiology. – 2010 – Vol. 146. – P. 161-166.
7. Вертипрахов, В.Г. Физиология системы крови. Морфо-биохимические исследования крови у сельскохозяйственной птицы / В.Г. Вертипрахов, Д.А. Ксенофонтов, Е.А. Колесник, Н.В. Овчинникова. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 108 с.
8. Кудрявцев, А.А. Клиническая гематология животных / А.А. Кудрявцев, Л.А. Кудрявцева. – Москва: Колос, 2017. – 397 с.
9. Соколов, В.Д. Антимикробные средства в птицеводстве / В.Д. Соколов. – М.: Колос, 1984. – 174 с.
10. Лыско, С.Б. Резистентность к энрофлоксацину и возможность её преодоления / С.Б. Лыско, Л.М. Кашковская, М.И. Сафарова // Птицеводство. – 2016. – № 10. – С. 37-40.
11. Мосягина, Е.Н. Кинетика форменных элементов крови / Е.Н. Мосягина, Е.Б. Владимирская, Н.А. Торубарова, Н.В. Мызина. – М.: Медицина, 1976. – 272 с.
- REFERENCES**
1. Kochish, I.I. Biology and pathology of agricultural poultry / I.I. Kochish, V.I. Smolensky, V.I. Shcherbatov. – Moscow: ZooVetKniga LLC, 2018. – 551 p. (In Russ.)
2. Lipunova, E.A. The red blood system: Comparative physiology: A monograph / E.A. Lipunova, M.Y. Skorkina. – Belgorod: BelSU Publishing House, 2004. – 216 p. (In Russ.)
3. Loretz, O.G. Dynamics of morphological and biochemical parameters of blood of broiler chickens when using microbiological preparations in the diet / O.G. Loretz, O.V. Gorelik, M.A. Zyablitseva, A.A. Belookov // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2017. – № 11 (165). – P. 25-27. (In Russ.)
4. Moiseeva, A.A. The effect of the use of fluoroquinolones on the hemoglobin content in the blood of chickens / A.A. Moiseeva, A.A. Prisnyi, V.N. Skvortsov // Proceedings of the Belgorod branch of the All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine. – 2021. – P. 190-192. (In Russ.)
5. Prisnyi, A.A. The effect of enrofloxacin on blood values of chickens in experimental salmonellosis / A.A. Prisnyi A.A., A.A. Moiseeva, V.N. Skvortsov, V.V. Nevzorova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020 – Vol. 548 – 42037.
6. Gibson, J.S. Fluoroquinolone resistance mechanisms in multidrug-resistant *Escherichia coli* isolated from extraintestinal infections in dogs / J.S. Gibson, R.N. Cobbold, M.T. Kyaw-Tanner, P. Heisiq // Veterinary Microbiology. – 2010 – Vol. 146. – P. 161-166.
7. Vertiprakhov, V.G. Physiology of the blood system. Morpho-biochemical blood tests in poultry / V.G. Vertiprakhov, D.A. Ksenofontov, E.A. Kolesnik, N.V. Ovchinnikova. – St. Petersburg: Lan, 2023. – 108 p. (In Russ.)
8. Kudryavtsev, A.A. Clinical hematology of animals / A.A. Kudryavtsev, L.A. Kudryavtseva. Moscow: Kolos Publ., 2017. – 397 p. (In Russ.)
9. Sokolov, V.D. Antimicrobial agents in poultry farming / V.D. Sokolov. – Moscow: Kolos, 1984. – 174 p. (In Russ.)
10. Lysko, S.B. Resistance to Enrofloxacin and the Possibility of Overcoming It / S.B. Lysko, L.M. Kashkovskaya, M.I. Safarova // Poultry Farming. – 2016. – № 10. – P. 37-40.
11. Mosyagina, E.N. Kinetics of shaped blood elements / E.N. Mosyagina, E.B. Vladimirskaia, N.A. Torubarova, N.V. Myzina. – M.: Medicine, 1976. – 272 p.



УДК: 619:615.9:577.2

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.109

ОЦЕНКА ИММУНОМОДУЛИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «ГАЛЛУАСОРБ» ПРИ СОЧЕТАННОМ МИКОТОКСИКОЗЕ

Тарасова Е.Ю.* – канд. биол. наук, зав. лабораторией ветеринарной санитарии, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-9056-5798); **Кашеваров Г.С.** – канд. биол. наук, зав. лаб. морфологических исследований, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-4520-7596); **Л.Е. Матросова** – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов (ORCID 0000-0001-7428-7882); **Хаммадов Н.И.** – канд. биол. наук, зав. лабораторией молекулярно-генетического анализа, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Танасева С.А.** – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов (ORCID 0000-0003-1295-6184)

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности»

* evgenechka1885@gmail.com

Ключевые слова: сочетанный микотоксикоз, белые крысы, неспецифическая резистентность, иммунитет, кормовая добавка, профилактика.

Key words: combined mycotoxicosis, white rats, nonspecific resistance, immunity, feed additive, prevention.

Финансирование: 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 № 4/2025-ПД-ВНИВИ).

Поступила: 02.02.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» на основе галлуазита отечественного месторождения разработана кормовая добавка «Галлуасорб», обладающая полифункциональным действием. Состав кормовой добавки тщательно проработан, исходя из патогенеза микотоксикозов и включает, кроме галлуазита, метионин, шрот рапсовый и β -глюканы. Целью исследования являлась оценка иммуномодулирующего потенциала различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» при сочетанном микотоксикозе белых крыс. Опыты проведены на 60 белых крысах с массой тела 150-170 г, которые были распределены на пять групп по двенадцать крыс в каждой. Для воспроизведения микотоксикоза и оценки иммуномоду-

лирующего потенциала кормовой добавки, крысам второй-пятой групп с базовым рационом в течение 21 суток задавали кристаллические микотоксины: афлатоксин В₁ – 2,5 мг/кг; Т-2 токсин – 5 мг/кг; зеараленон – 2,0 мг/кг корма, крысам третьей, четвертой, пятой групп дополнительно 0,1, 0,25 и 0,5 % кормовой добавки от рациона. На 7, 14 и 21 сутки эксперимента исследовались показатели гуморальной (В-лимфоциты, бактерицидная, лизоцимная активности сыворотки крови) и клеточной защиты организма (содержание Т-лимфоцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, фагоцитарная активность нейтрофилов, в том числе, фагоцитарный индекс, фагоцитарное число, фагоцитарная емкость). Показано, что кормовая добавка «Галлуасорб» обладает иммуномодулирующим потенциалом при сочетанном микотоксикозе. Наиболее эффективными в снижении токсического действия Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁ являлись дозы 0,25-0,5 % от рациона. Однако добавление при подостром микотоксикозе кормовой добавки «Галлуасорб» в дозе 0,25 % от рациона является наиболее оптимальным с экономической точки зрения, так как увеличение дозы с 0,25 % до 0,5 % не приводит к повышению эффективности.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В связи с глобальным изменением климата загрязнение сельскохозяйственных культур микроскопическими грибами и связанные с этим риски для здоровья животных и человека стали актуальной проблемой ветеринарной медицины и общественного здравоохранения [1, 2]. Недавние исследования выявили значительное увеличение частоты обнаружения микотоксинов в продуктах питания и кормах, достигнув тревожных 60-80 %, что является существенным скачком по сравнению с ранее зафиксированными 25 % [3].

Среди микотоксинов, продуцируемых плесневыми грибами рода *Fusarium*, одними из наиболее проблемных являются Т-2 токсин и зеараленон [4-6].

Как наиболее токсичный представитель трихотененов, Т-2 токсин вызывает замедление роста и сублетальный, а иногда и летальный токсикоз у людей и сельскохозяйственных животных. Т-2 токсин обладает широким спектром биологической активности и может проникать в организм различными путями, вызывая разнообразные токсические эффекты в тканях и органах [7, 8].

Существует множество исследований, в которых изучалось воздействие зеараленона как *in vivo*, так и *in vitro* для характеристики его эстрогенного эффекта. Также сообщается, что он оказывает вредное воздействие на здоровье, снижая фер-

тильность, увеличивая вероятность рассасывания плодов, изменяя вес эндокринных желез и уровень гормонов в сыворотке крови. Однако воздействие зеараленона не ограничивается только его эстрогенным эффектом, включая другие механизмы, такие как иммунотоксичность, окислительный стресс, цитотоксичность и повреждение ДНК [9, 10].

Афлатоксин В₁ является токсичным вторичным метаболитом, продуцируемым различными видами грибов рода *Aspergillus*. Это соединения может, также как Т-2 токсин и зеараленон, загрязнять широкий спектр сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, особенно зерновых и продуктов на основе зерновых, представляя собой серьезную проблему для здоровья животных и человека. После всасывания афлатоксин В₁ метаболизируется в печени с образованием реактивного эпоксида, который является основным фактором гепатотоксичности, нефротоксичности, иммунотоксичности и канцерогенеза в моделях на людях и животных. Отравление афлатоксином В₁ приводит к повреждению печени, нарушению биохимических показателей сыворотки крови, подавлению иммунитета, дисфункции кишечника и воспалению, что повышает восприимчивость к заболеваниям и снижает продуктивность [11, 12].

Иммунная система является одной из основных мишеней микотоксинов. Они вызывает иммуносупрессивные явления,

такие как атрофия тимуса и апоптоз лимфоцитов, а также могут приводить к гибели лимфоцитов посредством митохондриально-опосредованного апоптоза, тем самым усугубляя иммуносупрессию и нарушая иммунный гомеостаз. Долгосрочный анализ образцов зерна и кормов по всему миру показал, что зерно может содержать чрезвычайно высокие концентрации микотоксинов. Также показано, что в реальных условиях загрязненное микотоксинами зерно обычно содержит более одного микотоксина [3].

Хотя иммунотоксические эффекты были изучены в многочисленных исследованиях, большинство современных исследований сосредоточено в основном на воздействии одного микотоксина в низкой концентрации и не содержит информации о влиянии высоких доз сразу трех микотоксинов (Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁). Иммунная система, являясь основным защитным механизмом организма, особенно уязвима к пагубному воздействию микотоксинов. Недавние исследования показали, что иммунотоксичность, может быть, одним из наиболее критических факторов, имеющих далеко идущие последствия, приводящие к значительным экономическим потерям в животноводческой отрасли [3, 9].

В связи с этим актуальным является поиск защитных стратегий против иммунотоксичности, вызываемой одновременным присутствием в кормах для животных сразу трех из наиболее опасных микотоксинов. В ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» на основе галлуазита отечественного месторождения разработана кормовая добавка «Галлуасорб», обладающая полифункциональным действием (адсорбционным, антиоксидантным, гепатопротекторным, иммуномодулирующим). Состав кормовой добавки тщательно проработан, исходя из патогенеза микотоксикозов, и включает, кроме галлуазита, метионин, шрот расторопши и β-глюканы. Целью исследования являлась оценка иммуномодулирующего потенциала различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» при сочетанном микотокси-

козе белых крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В данном исследовании была создана 21-дневная модель подострого воздействия сразу трех наиболее опасных микотоксинов Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁ на белых крысах массой 150-170 г, которые были распределены на пять групп по двенадцать крыс в каждой.

Эксперимент был спланирован следующим образом:

Группа 1: Базовый рацион.

Группа 2: Базовый рацион + кристаллические микотоксины (афлатоксин В₁ – 2,5 мг/кг, Т-2 токсин – 5 мг/кг, зеараленон – 2,0 мг/кг корма).

Группа 3: Базовый рацион + микотоксины + 0,1 % кормовой добавки «Галлуасорб».

Группа 4: Базовый рацион + микотоксины + 0,25 % кормовой добавки «Галлуасорб».

Группа 5: Базовый рацион + микотоксины + 0,5 % кормовой добавки «Галлуасорб».

Животные в группах были подобраны по принципу аналогов. На всем протяжении эксперимента белые крысы содержались согласно зоогигиеническим требованиям, получаемый рацион был сбалансированным и соответствовал физиологическим потребностям животных. Вода предоставлялась в неограниченном количестве в течение 3-недельного периода эксперимента.

Образцы крови крыс для гематологических исследований отбирали в вакуумные пробирки МиниМед с КЗ-ЭДТА (после взятия пробирку с образцом медленно переворачивали 8-10 раз для перемешивания крови с антикоагулянтом), для биохимических исследований – вакуумные пробирки Lab-Vac с активатором свертывания и гелем на 7; 14; 21 сутки.

В полученных пробах крови исследовались показатели гуморальной (В-лимфоциты, бактерицидная активность сыворотки крови (БАСК), лизоцимная активность сыворотки крови (ЛАСК)) и клеточной защиты организма

(содержание Т- лимфоцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, фагоцитарная активность (ФА) нейтрофилов, в том числе, фагоцитарный индекс (ФИ), фагоцитарное число (ФЧ), фагоцитарная емкость (ФЕ)).

Морфологический анализ крови, а именно, определение абсолютного количества лейкоцитов и относительного лимфоцитов, проводили на гематологическом анализаторе «Mindray BC 2800».

Уровень Т-лимфоцитов в периферической крови определяли методом спонтанного розеткообразования с гетерогенными эритроцитами (Е-РОК), В- лимфоцитов – методом ЕАС-розеток по Фримелю [13].

Определение бактерицидной активности сыворотки крови (БАСК) проводили по методике Смирновой О.В., Кузьминой Т.А. (1966) [14]. Активность лизоцима в сыворотке крови устанавливали нефелометрическим методом по В.Г. Дорофейчуку (1968) [15], а фагоцитарной активности нейтрофилов – по методике С.А. Кост и М.И. Стенко (1968) [16]. О фагоцитарной активности нейтрофилов судили по следующим показателям: фагоцитарный индекс (ФИ) – процент клеток, вступивших в фагоцитоз, от общего их числа после 30 – минутной инкубации, фагоцитарное число (ФЧ) – среднее число бактерий, находящихся внутриклеточно (частное от деления общего числа поглощенных бактерий на число клеток, вступивших в фагоцитоз) после 30- минутной инкубации, фагоцитарная емкость – произведение фагоцитарного числа на абсолютное количество лейкоцитов крови. В качестве объекта фагоцитарной активности использовали суточную культуру бактерий *Staphylococcus aureus* с концентрацией 1 миллиард клеток на 1 мл суспензии.

При обработке цифровых данных вычисляли следующие описательные статистики: среднеарифметическую (М) и стандартное отклонение ($\pm Sd$). Статистическую значимость межгрупповых отличий оценивали с использованием теста Манна–Уитни ($\alpha = 0,05$) с коррекцией критерия при помощи поправки на мно-

жественные сравнения Бонферрони. При обработке данных использовали программы Statistica 6.0 и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Ключевыми индикаторами, отражающими способность животного к адаптации, его выживаемость и здоровье, выступают параметры естественной резистентности. К ним относятся, в частности, фагоцитарная функция нейтрофилов, бактерицидная активность сыворотки крови и лизоцимная активность сыворотки крови.

Бактерицидная активность сыворотки крови обусловлена присутствием в ней биологически активных веществ, которые, взаимодействуя с микроорганизмом, оказывают на него бактериостатическое или бактерицидное воздействие.

Лизоцимная активность сыворотки крови определяется действием фермента лизоцима, расщепляющего мукополисахариды, составляющие структуру клеточной стенки микроба. В результате нарушения целостности оболочки клетки изменяется внутреннее осмотическое давление, что приводит к её разрушению (лизису). Помимо этого, лизоцим в условиях инфекции стимулирует процессы фагоцитоза [17].

Изучение показателей лизоцимной и бактерицидной активностей сыворотки крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» показано в таблице 1.

Показано, что при сочетанном микотоксикозе происходило угнетение показателей неспецифической резистентности животных, проявляющееся снижением лизоцимной и бактерицидной активности сыворотки крови, которое составило 10,17 %, 15,43 % ($p < 0,05$), 22,07 % ($p < 0,01$) и 13,20 %, 20,53 % ($p < 0,01$), 28,60 % ($p < 0,01$) соответственно относительно группы биологического контроля на 7, 14 и 21 сутки исследования. При сравнении этих показателей с подопытными группами показано менее выраженное снижение относительно биологического контроля и повышение относительно крыс токсического контроля соответственно. Актив-

ность лизоцима в сыворотке крови крыс третьей, четвертой и пятой групп в отношении тест культуры *Micrococcus lysodeikticus* была выше на 10,72 %, 19,73 % ($p < 0,05$), 16,87 % ($p < 0,05$) на 21 сутки исследования относительно показателей группы токсического контроля. Дозы кормовой добавки 0,25 и 0,5 % обладали наиболее выраженным протективным

эффектом. В отношении бактерицидной активности наблюдались те же тенденции. К 21 суткам исследования снижение в токсическом контроле составило 28,60 % ($p < 0,01$), группе, получавшей кормовую добавку в дозе 0,1 % – 16,15 % ($p < 0,05$); 0,25 % – 8,58 %; 0,5 % – 9,42 % относительно группы биологического контроля соответственно.

Таблица 1 – Изучение показателей лизоцимной и бактерицидной активностей сыворотки крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» (n=6)

Сутки	Группа/Показатель				
	1	2	3	4	5
	Лизоцимная активность, %				
7	44,99±1,68	40,42±2,13	43,14±2,01	44,66±1,22	43,77±1,72
14	43,55±1,86	36,83±1,37*	39,85±1,26	42,06±1,63	40,84±1,86
21	45,72±1,92	35,63±1,65**	39,45±1,40*	42,66±1,34	41,64±1,96
	Бактерицидная активность, %				
	1	2	3	4	5
	Лизоцимная активность, %				
7	22,05±1,74	19,14±0,94	20,38±1,23	21,37±1,18	20,88±1,04
14	23,48±1,7	18,66±1,05**	20,51±1,06	22,01±1,08	21,58±1,13
21	23,22±1,35	16,58±0,74**	19,47±1,34*	21,23±1,14	21,03±1,52

Примечания: 1 * – $p < 0,05$; 2 ** – $p < 0,01$; 3 *** – $p < 0,001$.

Таблица 2 – Изучение показателей фагоцитарной крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб»(n=6)

Сутки	Группа/Показатель				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарная активность (ФА), %				
7	64,67±2,42	59,17±2,48	61,33±2,66	63,17±2,79	61,83±2,14
14	62,17±2,32	51,50±2,07*	56,00±2,45	60,00±1,10	57,17±1,47
21	64,00±1,79	48,33±1,75**	54,83±1,47*	58,67±1,37	58,00±2,28
	Фагоцитарный индекс (ФИ), %				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарная активность (ФА), %				
7	8,28±0,43	7,71±0,25	8,00±0,26	8,19±0,37	8,11±0,31
14	8,61±0,62	7,47±0,18*	8,02±0,32	8,32±0,19	8,18±0,25
21	8,39±0,19	6,92±0,15*	7,77±0,23	7,96±0,23	7,87±0,20
	Фагоцитарное число (ФЧ)				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарная активность (ФА), %				
7	5,35±0,22	4,56±0,28*	4,91±0,32	5,18±0,35	5,02±0,33
14	5,34±0,21	3,85±0,22**	4,49±0,10*	4,99±0,11	4,68±0,11
21	5,37±0,07	3,34±0,09***	4,26±0,13**	4,67±0,18	4,56±0,22*
	Фагоцитарная емкость (ФЕ)				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарная активность (ФА), %				
7	77,17±6,52	55,79±7,30*	66,94±7,41	71,93±4,08	68,31±7,14
14	79,80±3,23	42,41±5,88***	60,12±4,34* *	68,95±5,36	63,77±3,99
21	75,11±1,92	40,24±2,43***	51,80±2,37*	59,54±5,77	57,39±5,59

Таким образом, применение кормовой добавки способствовало повышению неспецифической резистентности организма крыс по показателям лизоцимной и бактерицидной активности сыворотки крови.

Показатели фагоцитарной активности крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» представлены в таблице 2.

Оценка функциональной активности нейтрофилов проводилась на основе анализа показателей фагоцитоза. К ним относились: процент нейтрофилов, проявляющих фагоцитарную активность (то есть активно поглощающих микроорганизмы); среднее количество микробных частиц, приходящихся на один нейтрофил (фагоцитарный индекс); среднее число микроорганизмов, обнаруженных внутри активных нейтрофилов (фагоцитарное число), и общая фагоцитарная активность, оцениваемая через фагоцитарную емкость.

Из таблицы 2 видно, что сочетанный микотоксикоз сопровождался угнетением естественной резистентности животных. Так во второй группе крыс показатели фагоцитарной активности составили на 7, 14 и 21 сутки эксперимента $59,17 \pm 2,48$, $51,50 \pm 2,07$, $48,33 \pm 1,75$, фагоцитарного числа $4,56 \pm 0,28$, $3,85 \pm 0,22$, $3,34 \pm 0,09$, фагоцитарного индекса $7,71 \pm 0,25$, $7,47 \pm 0,18$, $6,92 \pm 0,15$ и фагоцитарной емкости $55,79 \pm 7,30$, $42,41 \pm 5,88$, $40,24 \pm 2,43$, что ниже на 8,51 %, 17,16 % ($p < 0,05$) и 24,48 % ($p < 0,01$); 14,76 % ($p < 0,05$), 28,04 % ($p < 0,01$), 37,68 % ($p < 0,001$); 6,92 %, 13,33 % ($p < 0,05$), 17,47 % ($p < 0,05$) и 27,71 % ($p < 0,05$), 46,86 % ($p < 0,001$), 46,63 % ($p < 0,001$) % соответственно показателей крыс группы биологического контроля. Снижение фагоцитарной активности нейтрофилов было сопряжено с подавлением их поглотительной способности и емкости.

Добавление к основному рациону кормовой добавки нивелировало иммуносупрессивное влияние микотоксинов с оптимумом в дозе 0,25-0,5 %.

Лейкоциты играют важную роль в поддержании гомеостаза внутри и вне клеток организма животных, участвуя в нейтрализации разнообразных экзо- и эндотоксинов. Исследование лейкоцитарного профиля крови служит одним из методов оценки уровня выраженности интоксикации в организме животных и людей, давая возможность делать выводы о функционировании иммунитета и развитии неспецифических адаптационных механизмов.

Было показано, что микотоксины вызывают значительные патологические изменения в органах лейкопоза, приводя к угнетению иммунной системы, нарушению формирования лимфоцитов и их снижению.

Развивающаяся лейкопения (таблица 3) регистрировалась на фоне низкого содержания лимфоцитов, что свидетельствует об угнетении костномозгового лейкопоза. Снижение относительного содержания лимфоцитов в группе токсического контроля составило 11,22 %, 29,57 % ($p < 0,01$) и 43,25 % ($p < 0,001$) относительно первой группы крыс на 7, 14 и 21 сутки опыта. Наиболее выраженный эффект от добавления кормовой добавки отмечен в четвертой группе, тогда как доза 0,1 % от рациона приводила к достоверному изменению этого показателя к 21 суткам на 18,29 % ($p < 0,05$).

Из таблицы 3 видно, что во второй группе отмечено достоверное прогрессирующее снижение абсолютного количества лейкоцитов, начиная с 14 суток опыта, которое к 21 суткам достигало 39,88 % ($p < 0,001$). В подопытных третьей, четвертой и пятой группах отмечался дозозависимый эффект, при этом наименее выраженные изменения в количестве лейкоцитов отмечены при использовании кормовой добавки в дозе 0,25%, составившие 3,43, 7,37 и 8,81 % соответственно на 7, 14 и 21 сутки исследования.

Нарушение иммуногенеза сопровождалось также достоверным снижением относительного содержания Т и В лимфоцитов к 21 суткам исследования в группе токсического контроля, которое составило 21,10 % ($p < 0,01$) и 20,76 % ($p < 0,01$)

соответственно. Снижение относительно количества Т-лимфоцитов может свидетельствовать о недостаточности клеточного иммунитета, а именно клеточно-эффекторного звена. При добавлении в корм галлуасорба в дозе 0,1 % к 21 суткам также отмечалось достоверное сни-

жение ($p < 0,05$) соответственно на 12,75 и 11,31 %. Использование кормовой добавки в дозах 0,25-0,5 % не приводило к достоверным изменениям в процентном содержании Т и В лимфоцитов относительно биологического контроля.

Таблица 3 – Изучение иммунологических показателей крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» (n=6)

Сутки	Группа/Показатель				
	1	2	3	4	5
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$					
7	14,43±1,27	12,20±1,03*	13,63±1,03	13,93±0,92	13,63±1,42
14	14,92±0,93	11,00±1,07**	13,40±0,84	13,82±1,00	13,65±0,97
21	14,00±0,34	8,42±0,89***	12,03±0,62*	12,77±1,30	12,57±0,88
Лимфоциты, %					
7	60,77±1,92	53,95±2,32	57,02±2,04	59,18±1,88	58,38±2,45
14	61,88±1,93	43,58±1,53**	54,20±2,32	59,78±1,83	56,85±2,25
21	60,50±1,47	34,33±1,49***	50,17±1,68*	55,70±2,38	53,08±2,18
Т-лимфоциты, %					
7	42,73±2,32	39,00±1,50	42,02±1,85	42,58±2,01	42,22±2,30
14	41,98±1,00	36,23±1,46	37,57±1,78	40,37±1,78	39,35±2,10
21	40,92±1,04	32,28±1,85**	35,70±1,45*	37,93±2,10	36,67±2,03
В-лимфоциты, %					
7	16,53±1,35	15,33±1,08	16,33±0,41	16,30±0,73	16,65±0,79
14	18,57±1,25	16,40±0,87	17,20±1,00	18,12±1,35	17,57±0,73
21	17,98±0,9	14,25±1,16**	15,95±1,18*	16,65±0,57	16,22±0,95

Примечания: 1 * – $p < 0,05$; 2 ** – $p < 0,01$; 3 *** – $p < 0,001$.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Показано, что кормовая добавка «Галлуасорб» обладает иммуномодулирующим потенциалом при сочетанном микотоксикозе. Наиболее эффективными в снижении токсического действия Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁ по параметру иммуномодулирующего потенциала являлись дозы 0,25-0,5 % от рациона.

В связи с тем, что защитный эффект при использовании дозы 0,5 % достоверно не отличался от дозы 0,25 %, был сделан вывод, что добавление при подостром микотоксикозе кормовой добавки «Галлуасорб» в дозе 0,25 % от рациона является наиболее оптимальным с экономической точки зрения, так как увеличение дозы с 0,25 % до 0,5 % не приводит к

повышению эффективности. Однако необходима дальнейшая отработка дозы на продуктивных животных.

Таким образом, применение кормовой добавки способствовало повышению неспецифической резистентности организма крыс по показателям гуморальной и клеточной защиты организма. Эффективность иммуномодулирующего потенциала имела дозозависимый эффект и повышалась с увеличением дозы галлуасорба с 0,1 % до 0,25 %. Эти результаты подтверждают целесообразность использования разработанной в ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» кормовой добавки «Галлуасорб» для смягчения вызванной микотоксинами иммуносупрессии, открывая новые возможности для эффективной профилактики сочетанных подострых

МИКОТОКСИКОЗОВ.

EVALUATION OF THE IMMUNOMODULATING POTENTIAL OF VARIOUS DOSES OF THE FEED ADDITIVE "GALLUASORB" IN COMBINED MYCOTOXICOSIS

Tarasova E.Yu. * – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Veterinary Sanitation, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-9056-5798); **Kashchevnikov G.S.** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Morphological Studies, Senior Researcher (ORCID 0000-0002-4520-7596); **Martynova L.E.** – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Mycotoxins (ORCID 0000-0001-7428-7882); **Khammatov N.I.** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Molecular Genetic Analysis, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Tanaseva S.A.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Mycotoxins (ORCID 0000-0003-1295-6184)

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

* evgenechka1885@gmail.com

Financing: *This work was supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, research organizations, and other organizations to support human resource development plans to encourage their research and teaching staff to defend doctoral dissertations and conduct research. (Agreement No. 4/2025-PD-VNIVI, dated December 22, 2025)*

ABSTRACT

Immunotoxicity can be one of the most critical factors, with far-reaching consequences, leading to significant economic losses in the livestock industry. Therefore, the search for protective strategies against immunotoxicity caused by the simultaneous presence of several of the most dangerous mycotoxins in animal feed is urgent. The

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety has developed a multifunctional feed additive, "Galluasorb," based on halloysite from a domestic deposit. The composition of the feed additive has been carefully developed based on the pathogenesis of mycotoxicoses and includes, in addition to halloysite, methionine, milk thistle meal and β -glucans. The aim of the study was to evaluate the immunomodulatory potential of various doses of the feed additive "Galluasorb" in combined mycotoxicosis of white rats. The experiments were conducted on 60 white rats weighing 150-170 g, which were divided into five groups of twelve rats each. To reproduce mycotoxicosis and evaluate the immunomodulatory potential of the feed additive, rats of the second through fifth groups with a basic diet were given crystalline mycotoxins for 21 days: aflatoxin B1 - 2.5 mg/kg; T-2 toxin - 5 mg/kg; Zearalenone - 2.0 mg/kg of feed, rats of the third, fourth, and fifth groups additionally received 0.1, 0.25, and 0.5% of the feed additive from the diet. On days 7, 14, and 21 of the experiment, the parameters of humoral (B-lymphocytes, bactericidal, and lysozyme activity of blood serum) and cellular defense of the body (the content of T-lymphocytes, leukocytes, and lymphocytes, phagocytic activity of neutrophils, including the phagocytic index, phagocytic number, and phagocytic capacity) were studied. It was shown that the feed additive "Galluasorb" has an immunomodulatory potential in combined mycotoxicosis. Doses of 0.25-0.5% of the diet were the most effective in reducing the toxic effects of T-2 toxin, zearalenone, and aflatoxin B1. However, in case of subacute mycotoxicosis, adding the feed additive "Galluasorb" at a dose of 0.25% of the diet is the most optimal from an economic point of view, since increasing the dose from 0.25% to 0.5% does not lead to increased effectiveness.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка экономической эффективности применения комплексного адаптогенного средства для профилактики микотоксикоза цыплят-бройлеров / К. В. Юсупова, Н.

- Н. Мишина, Я. Б. Стрельцова, Д. Р. Сагдеев // Ветеринарный врач. – 2025. – № 3. – С. 51-59. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_3_51.
2. Изучение комбинированного действия фузариотоксинов в различных дозах на организм белых крыс / Н. Н. Мишина, А. В. Софронова, М. А. Ерохондина [и др.] // Ветеринарный врач. – 2025. – № 4. – С. 32-38. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_4_32.
3. Structure-toxicity relationships, toxicity mechanisms and health risk assessment of food-borne modified deoxynivalenol and zearalenone: A comprehensive review / L. Qian, L. Jiao-Yang, R. Hao-Nan, W. Chang-Jian, Y. Mei-Hua // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 806(3). – 151192. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151192>.
4. Мухарлямова, А. З. Определение уровня загрязнения кормов афлатоксином В1 / А. З. Мухарлямова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2023. – Т. 9, № 2(34). – С. 162-167. – <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167>.
5. Эффективность кормовой добавки «Комплисорбин», применяемой цыплятам-бройлерам при полимиктоксикозе в условиях производства / Н. Н. Мишина, Г. Г. Галяутдинова, Э. И. Семенов [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 123-128. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67852950>.
6. Изучение сорбционной активности биосорбентов по отношению к Т-2 токсину / А. Ш. Садыкова, Е. Ю. Тарасова, Л. Е. Матросова [и др.] // Ветеринарный врач. – 2021. – № 3. – С. 45-52. – <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-3-45-52>.
7. Toxic effects of subchronic T-2 toxin exposure on systemic immune deficiency in developing juvenile rats / F. Meng, J. Zhou, H. Wang [et al.] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2025. – Vol. 302. – 118653. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118653>.
8. Изучение защитного действия профилактических комплексов на ультраструктуру гепатоцитов кроликов при сочетанном микотоксикозе / Е. Ю. Тарасова, Г. С. Кашеваров, В. Р. Саитов [и др.] // Ветеринарный врач. – 2023. – № 1. – С. 57-63. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_1_57.
9. Oxidative stress, glutathione, and gene expression as key indicators in SH-SY5Y cells exposed to zearalenone metabolites and beauvericin / F. Agahi, N. Álvarez-Ortega, G. Font [et al.] // Toxicology Letters. – 2020. – Vol. 334. – P. 44-52. – <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.09.011>.
10. Matrix-associated mycotoxins in foods, cereals and feedstuffs: A review on occurrence, detection, transformation and future challenges / H. Tan, H. Zhou, T. Guo [et al.] // Crit Rev Food Sci Nutr. – 2024. – Vol. 64(11). – P. 3206-3219. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131724>.
11. Multi-omics reveals the protective effects of curcumin against AFB1-induced oxidative stress and inflammatory damage in duckling intestines / Jiang X., Liu H., You Y. [et al.] // Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. – 2024. – Vol. 276. – 109815. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023>.
12. Mycotoxins binder supplementation alleviates aflatoxin B1 toxic effects on the immune response and intestinal barrier function in broilers / L. Yujiao, S. Meng, H. Yang [et al.] // Poultry Science. – 2022. – Vol. 101(3). – 101683. – <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101683>.
13. Фримель, Г. Иммунологические методы / Г. Фримель, А.П. Тарасов. – М.: Медицина, 1987. – 472 с.
14. Смирнова, О. В. Определение бактерицидной активности сыворотки крови методом фотонейфелометрии / О. В. Смирнова, Т. А. Кузьмина // ЖМЭИ. – 1966. – № 4. – С. 8-11.
15. Дорофейчук В. Г. Определение активности лизоцима нефелометрическим методом / В. Г. Дорофейчук // Лаб. дело. – 1968. – № 1. – С. 28-30.
16. Кост, С. А. Определение фагоцитарной активности лейкоцитов / С. А. Кост, М. И. Стенко // Клиническая гематология

животных. – М.: Колос, 1974. – С. 99-100.
17. Естественная резистентность кроликов при скармливании пробиотической кормовой добавки Биогумитель / И. В. Миронова, Е. Н. Черненко / Известия ОГАУ. – 2017. – №1(63). – С. 115-117. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/estestvennaya-rezistentnost-krolikov-pri-skarmlivanii-probioticheskoy-kormovoy-dobavki-biogumitel>.

REFERENCES

1. Evaluation of the economic efficiency of using a complex adaptogenic agent for the prevention of mycotoxicosis in broiler chickens / K. V. Yusupova, N. N. Mishina, Ya. B. Streltsova, D. R. Sagdeev // The Veterinarian. – 2025. – No. 3. – P. 51-59. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_3_51. (In Russ.)
2. Изучение комбинированного действия фузариотоксинов в различных дозах на организм белых крыс / Н. Н. Мишина, А. В. Софронова, М. А. Ерохондина [и др.] // Ветеринарный врач. – 2025. – № 4. – С. 32-38. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_4_32. Study of the combined effect of fusariotoxins in various doses on the body of white rats / N. N. Mishina, A. V. Sofronova, M. A. Erokhondina [et al.] // The Veterinarian. – 2025. – No. 4. – P. 32-38. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_4_32. (In Russ.)
3. Structure-toxicity relationships, toxicity mechanisms and health risk assessment of food-borne modified deoxynivalenol and zearalenone: A comprehensive review / L. Qian, L. Jiao-Yang, R. Hao-Nan, W. Chang-Jian, Y. Mei-Hua // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 806(3). – P. 151192. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151192>.
4. Mukharlyamova, A. Z. Determination of the level of feed contamination with aflatoxin B1 / A. Z. Mukharlyamova // Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences. – 2023. – Vol. 9, No. 2 (34). – P. 162-167. – <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167>. (In Russ.)
5. Efficiency of the feed additive "Complisorbin" used to broiler chickens with polymyctoxicosis under production conditions / N. N. Mishina, G. G. Galyautdinova, E. I. Semenov [et al.] // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2024. – No. 3. – P. 123-128. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67852950>. (In Russ.)
6. Study of the sorption activity of biosorbents in relation to T-2 toxin / A. Sh. Sadykova, E. Yu. Tarasova, L. E. Matrosova [et al.] // The Veterinarian. – 2021. – No. 3. – P. 45-52. – <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-3-45-52>. (In Russ.)
7. Toxic effects of subchronic T-2 toxin exposure on systemic immune deficiency in developing juvenile rats / F. Meng, J. Zhou, H. Wang □ et al. □ // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2025. – Vol. 302. – P. 118653. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118653>.
8. Study of the protective effect of prophylactic complexes on the ultrastructure of rabbit hepatocytes with combined mycotoxicosis / E. Yu. Tarasova, G. S. Kashevarov, V. R. Saitov [et al.] // The Veterinarian. – 2023. – No. 1. – P. 57-63. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_1_57. (In Russ.)
9. Oxidative stress, glutathione, and gene expression as key indicators in SH-SY5Y cells exposed to zearalenone metabolites and beauvericin / F. Agahi, N. Álvarez-Ortega, G. Font □ et al. □ // Toxicology Letters. – 2020. – Vol. 334. – P. 44-52. – <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.09.011>.
10. Matrix-associated mycotoxins in foods, cereals and feedstuffs: A review on occurrence, detection, transformation and future challenges / H. Tan, H. Zhou, T. Guo □ et al. □ // Crit Rev Food Sci Nutr. – 2024. – Vol. 64(11). – P. 3206-3219. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131724>.
11. Multi-omics reveals the protective effects of curcumin against AFB1-induced oxidative stress and inflammatory damage in duckling intestines / Jiang X., Liu H., You Y. □ et al. □ // Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. – 2024. – Vol. 276. – P. 109815. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023>.
12. Mycotoxins binder supplementation alle-

- viates aflatoxin B1 toxic effects on the immune response and intestinal barrier function in broilers / L. Yujiao , S. Meng , H. Yang □ et al. □ // Poultry Science. – 2022. – Vol. 101 (3). – 101683. – <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101683>.
13. Frimel, G. Immunological methods / G. Frimel, A.P. Tarasov. – М.: Medicine, 1987. – 472 p. (In Russ.)
14. Smirnova, O. V. Determination of bactericidal activity of blood serum by photonephelometry / O. V. Smirnova, T. A. Kuzmina // ZhMEI. – 1966. – No. 4. – P. 8-11. (In Russ.)
15. Dorofeychuk, V. G. Determination of lysozyme activity by nephelometric method / V. G. Dorofeychuk // Lab. delo. – 1968. – No. 1. – P. 28-30. (In Russ.)
16. Kost, S.A. Determination of phagocytic activity of leukocytes / S. A. Kost, M. I. Stenko // Clinical hematology of animals. – М.: Kolos, 1974. – P. 99-100. (In Russ.)
17. Natural resistance of rabbits when fed the probiotic feed additive Biogumitel / I. V. Mironova, E. N. Chernenkov / Bulletin of the OGAU. – 2017. – No. 1 (63). – P. 115-117. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/estestvennaya-rezistentnost-krolikov-pri-skarmlivanii-probioticheskoy-kormovoy-dobavki-biogumitel>. (In Russ.)

УДК: 638.162:582.57

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.120

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ВИДОВОГО СОСТАВА ПЫЛЬЦЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦВЕТОЧНОГО МЁДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО БОТАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Калюжная Т.В.* - канд. ветеринар. наук, доц. каф. ветеринарно-санитарной экспертизы, доц. (ORCID 0000-0002-8682-1840); Шамонова А.А. – студ. 2 курса факультета ветеринарно-санитарной экспертизы

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

*tomagafk087@mail.ru

Ключевые слова: цветочный мёд, пыльцевой анализ, мелиссопалинология, ботаническое происхождение, физико-химические показатели, органолептические свойства, качество мёда, монофлорный мёд.

Keywords: flower honey, pollen analysis, melissopalynology, botanical origin, physico-chemical parameters, organoleptic properties, honey quality, monoflorous honey.

Поступила: 28.02.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В данной работе проведено комплексное исследование 75 образцов цветочного мёда различного ботанического происхождения (гречишного, подсолнечникового, липового, разнотравья лесного и лугового) с целью установления корреляции между пыльцевым составом, физико-химическими показателями и органолептическими свойствами. Методом микроскопического пыльцевого анализа определено доминирующее ботаническое происхождение, подсчитано общее содержание пыльцевых зерен (ОСПЗ) и установлен качественный состав пыльцы, входящей в состав образцов меда. Параллельно установлены основные физико-химические параметры: массовая доля воды, активность воды (Aw), кислотность, диастазное число, содержание гидроксиметилфурфурала (ГМФ) и электропроводность. Органолептическая оценка включала определение цвета, аромата, вкуса, консистенции и кристаллизации. В результате проведенных исследований установили, что монофлорные мёды (гречишный, подсолнечниковый, липовый) имеют четко выраженный пыльцевой состав с долей доминирующей пыльцы более 45% и специфический комплекс характеристик. Высокое ОСПЗ (>80 000 зерен/ 10 г) коррелирует с повышенным содержанием золы и электропроводностью, что особенно характерно для мёдов с преобладанием пыльцы растений семейств *Asteraceae* и *Fabaceae*. В результате оценки органолептических характеристик определили, что для каждой группы образцов меда был свойственен специфический профиль. Кроме того, установили, что пыльцевой анализ эффективен не только для идентификации монофлорных мёдов, но и для географической привязки полифлорных образцов. Полученные данные имеют практическую ценность для разработки национальных и международных стандартов на мёд, а также для борьбы с фальсификацией.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Натуральный цветочный мёд представляет собой сложную поликомпонентную систему, являющуюся результатом переработки нектара медоносными пчелами (*Apis mellifera* L.) [1, 2]. Его качество, потребительские свойства и биоактивный потенциал напрямую зависят от ботанического происхождения, которое, в свою очередь, определяется видовым составом медоносов в радиусе лёта пчелиной семьи [3, 4]. В связи с этим, объективная и точная идентификация происхождения мёда является ключевой задачей, как для науки, так и для практики пчеловодства и контроля качества пищевых продуктов [5, 6, 7].

Традиционные физико-химические методы (определение диастазного числа, электропроводности, соотношения сахаров) хотя и регламентированы стандартами (например, ГОСТ 19792-2017), зачастую не обладают достаточной селективностью для однозначного определения ботанического источника [8, 9]. В этой связи «золотым стандартом» идентификации выступает мелиссопалинология – метод микроскопического анализа пыльцевых зерен, содержащихся в мёде [10, 11]. Данный метод позволяет не только установить доминирующее растение (для монофлорных мёдов) или спектр растений (для полифлорных), но и оценить географическое происхождение продукта по наличию характерной для региона пыльцы [12, 13].

Количество пыльцы в мёде, выражаемое как общее содержание пыльцевых зерен (ОСПЗ), также является важным параметром. Оно варьирует в широких пределах и зависит от множества факторов: вида растения-медоноса, погодных условий во время сбора, породы пчел и технологических приемов откачки [14]. Предполагается, что ОСПЗ и состав пыльцевого спектра оказывают непосредственное влияние на такие характеристики, как минеральный состав, антиоксидантная активность, цвет и вкус мёда [15].

Целью данного исследования явилось установление количественных и каче-

ственных взаимосвязей между пыльцевым составом (видом и количеством пыльцы) и комплексом физико-химических и органолептических показателей цветочного мёда различного ботанического происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводили поэтапно на базе учебно-исследовательского центра экспертизы пищевых продуктов и кормов для животных ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины» в 2025 г. В работе изучено 75 образцов натурального цветочного мёда, отобранных непосредственно с пасек следующих регионов Центральной России: Московская, Ярославская, Воронежская, Тульская и Калужская области в сезон 2025 г. Образцы предварительно классифицированы пчеловодами как: гречишный (n=15), подсолнечниковый (n=15), липовый (n=15), лесное разнотравье (n=15) и луговое разнотравье (n=15).

Пыльцевой анализ проводили согласно стандартной методике [8]. Так, 10 г мёда растворяли в 20 мл дистиллированной воды (40°C) и центрифугировали (4500 об/мин, 10 мин). Осадок, содержащий пыльцу, обрабатывали уксусным ангидридом и серной кислотой (ацетоллиз) для очистки и окрашивания. Препараты готовили в глицериновом желе. Идентификацию и подсчет пыльцевых зерен (ПЗ) проводили под световым микроскопом при увеличении 400х. Для детального изучения морфологии экины пыльцы сложных таксонов (например, *Brassica* spp., представителей семейства Rosaceae) использовалось увеличение 1000× с иммерсионным маслом. Для каждого образца анализировали не менее 500 ПЗ и рассчитывали общее содержание пыльцевых зерен (ОСПЗ) – (количество ПЗ в 10 г мёда); относительное содержание пыльцы (%) для каждого таксона. Кроме того, определяли ботаническое происхождение при этом монофлорным считали мёд, содержащий ≥45% пыльцы одного вида (для некоторых видов, например, липы,

порог снижали до 30% из-за низкой пыльцевой продуктивности) [9].

На следующем этапе проводили физико-химический анализ, определяя массовую долю воды рефрактометрическим методом используя рефрактометр ИРФ-454 Б2М (АО «КОМЗ»), активность воды (Aw) с помощью анализатора LabMasteraw (Novasina AG), свободную кислотность титрованием, диастазное число по методике Готе, содержание гидроксиметилфурфурала (ГМФ) спектрофотометрическим методом (Спектрофотометр UNICO 2100, UNICO Instrument Co. Ltd) и удельную электропроводность кондуктометрически при 20°C.

Для проведения органолептической оценки обращали внимание на цвет (по шкале Пфунда), аромат (интенсивность и тона), вкус (сладость, кислотность, горечь, послевкусие) и консистенцию.

Полученные результаты исследования проб меда обрабатывали с использо-

ванием программы Statistica 10.0. Кроме того, применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и корреляционный анализ Пирсона. Различия считали достоверными при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате пыльцевого анализа проб меда было подтверждено или уточнено его заявленное ботаническое происхождение (таблица 1). Так, после проведения пыльцевого анализа заявленное ботаническое происхождение подтвердилось для 68 из 75 образцов (90,7%). В частности, из 15 образцов, классифицированных пчеловодами как гречишные, 13 соответствовали критерию монофлорности ($\geq 45\%$ пыльцы гречихи); для подсолнечникового меда подтверждено 14 образцов; для липового — 12 (с учетом пониженного порога 30%). Полифлорные образцы (лесное и луговое разнотравье) соответствовали заявленному типу по составу пыльцевого спектра.

Таблица 1 – Результаты пыльцевого анализа образцов мёда ($M \pm m$, $n=15$)

Группа образцов	Показатель			
	Подтвержденное доминирующее растение (род/вид)	Средняя доля доминирующей пыльцы, %	Диапазон ОСПЗ (тыс. зерен/10 г)	Основные компоненты пыльцевого спектра
Гречишный	<i>Fagopyrum esculentum</i>	$52,4 \pm 6,1$	18,5 – 35,2	<i>Brassica</i> spp., <i>Trifolium</i> spp., <i>Asteraceae</i>
Подсолнечниковый	<i>Helianthus annuus</i>	$68,9 \pm 8,5$	25,0 – 45,8	<i>Centaurea</i> spp., <i>Fabaceae</i> , разнотравье
Липовый	<i>Tilia cordata/ platyphyllos</i>	$31,7 \pm 4,2^*$	8,2 – 15,7	<i>Rubus</i> spp., <i>Filipendula ulmaria</i> , <i>Rosaceae</i>
Лесное разнотравье	Полидоминантный	-	45,6 – 102,3	<i>Rubus</i> , <i>Calluna</i> , <i>Salix</i> , <i>Tilia</i> , <i>Quercus</i>
Луговое разнотравье	Полидоминантный	-	60,1 – 88,9	<i>Trifolium</i> , <i>Medicago</i> , <i>Phacelia</i> , <i>Onobrychis</i> , <i>Asteraceae</i>

Примечание: * – для липы характерна низкая пыльцевая продуктивность, порог доминирования принят за 30%.

Так, наибольшее ОСПЗ зафиксировано в полифлорных медах, особенно луговых, где преобладала пыльца бобовых (*Fabaceae*) и сложноцветных (*Asteraceae*), отличающихся высокой пыльцевой продуктивностью. Минимальные значения ОСПЗ были характерны для проб липового мёда.

Изучая результаты определения физико-химических показателей проб мёда, установили достоверные различия между группами мёда по всем изученным физико-химическим параметрам ($p < 0,05$) (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-химические показатели образцов мёда ($M \pm m$, $n=15$)

Показатель	Наименование групп образцов				
	Гречишный	Подсолнечный	Липовый	Лесное разнотравье	Луговое разнотравье
Вода, %	18,1 $\pm$ 0,3	17,5 $\pm$ 0,4	18,8 $\pm$ 0,5	18,3 $\pm$ 0,6	17,9 $\pm$ 0,4
Электропроводность, мСм/см	0,75 $\pm$ 0,05 ^a	0,55 $\pm$ 0,03 ^b	0,45 $\pm$ 0,04 ^c	0,65 $\pm$ 0,06 ^{ab}	0,80 $\pm$ 0,07 ^a
Свободная кислотность, мэкв/кг	35,2 $\pm$ 2,1	28,5 $\pm$ 1,8	22,1 $\pm$ 1,5	30,8 $\pm$ 2,4	32,5 $\pm$ 2,0
Диастазное число, ед. Готе	24,5 $\pm$ 1,5	18,2 $\pm$ 1,2	10,8 $\pm$ 0,9 ^d	20,1 $\pm$ 1,8	22,4 $\pm$ 1,6
ГМФ, мг/кг	5,2 $\pm$ 0,8	7,5 $\pm$ 1,1	7,3 $\pm$ 0,5	4,8 $\pm$ 0,7	6,1 $\pm$ 0,9

Примечание: Разные буквы в верхнем индексе указывают на достоверные различия между группами по строке ($p < 0,05$).

Исходя из результатов, изложенных в таблице 2, установили сильную положительную корреляцию между ОСПЗ и удельной электропроводностью ($r=0,82$, $p < 0,01$). Наиболее высокой электропроводностью и кислотностью обладали гречишный и луговой мёды, что связано с высоким содержанием органических кислот и минеральных веществ, привносимых, в том числе, с пыльцой. Для проб липового мёда характерны минимальные значения диастазного числа и электропроводности.

В результате оценки органолептических характеристик определили, что для каждой группы образцов мёда был свойственен специфический профиль. Так, для гречишного мёда был характерен темно-янтарный цвет (138 ± 5 мм по шкале Пфунда), интенсивный пряный аромат, выраженный терпкий вкус и быстрая кристаллизация в мелкозернистую массу. Для подсолнечникового мёда характерен светло-янтарный цвет (78 ± 4 мм по шкале

Пфунда), нежный цветочно-медовый аромат, сладкий мягкий вкус, очень быстрая кристаллизация с образованием крупных кристаллов. Для липового мёда – экстра светло-янтарный цвет (42 ± 8 мм по шкале Пфунда), характерный аромат липы с мятными нотами, яркий сладкий вкус с легкой горчинкой в послевкусии, медленная кристаллизация. Полифлорные мёды отличались от остальных образцов мёда тем, что их органолептические характеристики варьировали. Так, их цвет в зависимости от образца был от светло-янтарного до темно-янтарного.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, результаты исследования подтверждают взаимосвязь пыльцевого спектра и потребительских свойств мёда. Так, высокое ОСПЗ в луговом и лесном разнотравье является следствием богатого видового состава энтомофильных растений с высокой пыльцевой продуктивностью. Кроме того, сильная корреляция ОСПЗ с электропроводностью

объяснима, так как пылевые зерна являются носителями минеральных веществ (калий, кальций, магний), определяющих зольность и, следовательно, электропроводность продукта. Это делает электропроводность косвенным, но надежным маркером как ботанического происхождения (низкая у липы, акации; высокая у вереска, гречихи), так и потенциально – антиоксидантной активности.

При этом, низкое ОСПЗ и диастазное число в липовом мёде, несмотря на его высокие вкусовые достоинства, согласуется с литературными данными и объясняется особенностями физиологии липы как медоноса. Это указывает на необходимость использования пониженных пороговых значений доли пыльцы при идентификации некоторых видов монофлорных мёдов.

Установленные органолептические различия имеют прямую связь с пыльцевым составом. Например, темный цвет и терпкость гречишного мёда ассоциированы с полифенольными соединениями, источником которых является не только нектар, но и пыльца гречихи. Специфический аромат липового мёда обусловлен летучими соединениями нектара, однако наличие пыльцы других растений (малины, ивы) в спектре обогащает его оттенками.

Пыльцевой анализ эффективен не только для идентификации монофлорных мёдов, но и для географической привязки полифлорных образцов (наличие пыльцы *Calluna vulgaris* для вересковых угодий, *Quercus* для лесных массивов).

Полученные данные имеют практическую ценность для разработки национальных и международных стандартов на мёд, а также для борьбы с фальсификацией.

INFLUENCE OF THE QUANTITY AND SPECIES COMPOSITION OF POLLEN ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS OF FLOWER HONEY DEPENDING ON ITS BOTANICAL ORIGIN

Kalyuzhnaya T.V.* - Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the

Department of Veterinary and Sanitary Expertise (ORCHID 0000-0002-8682-1840);
Shamonova A.A. - 2nd-year student at the Faculty of Veterinary and Sanitary Expertise
St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*tomagafk087@mail.ru

ABSTRACT

In this work, a comprehensive study of 75 samples of floral honey of various botanical origin (buckwheat, sunflower, lime, forest and meadow grasses) was carried out in order to establish a correlation between pollen composition, physico-chemical parameters and organoleptic properties. Microscopic pollen analysis was used to determine the dominant botanical origin, calculate the total content of pollen grains (OSPZ), and determine the qualitative composition of pollen in honey samples. In parallel, the main physico-chemical parameters were determined: water mass fraction, water activity (Aw), acidity, diastase number, hydroxymethylfurfural (HMP) content and electrical conductivity. The organoleptic assessment included the determination of color, aroma, taste, consistency and crystallization. As a result of the conducted research, it was established that monoflora honeys (buckwheat, sunflower, lime) have a clearly defined pollen composition with a dominant pollen content of more than 45% and a specific set of characteristics. A high WSP (>80,000 grains/ 10 g) correlates with an increased ash content and electrical conductivity, which is especially typical for honey with a predominance of pollen from plants of the Asteraceae and Fabaceae families. As a result of the evaluation of organoleptic characteristics, it was determined that each group of honey samples had a specific profile. In addition, pollen analysis is effective not only for authenticating monoflora honeys, but also for geographically linking polyflora samples. The data obtained are of practical value for the development and refinement of national and international standards for honey, to combat counterfeiting.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Калюжная, Т. В. Экспертиза меда по показателям качества / Т. В. Калюжная, В. В. Воронцова, Я. С. Карпова // Инновационное развитие. – 2017. – № 12(17). – С. 231-232.
2. Калюжная, Т. В. Оценка качества меда / Т. В. Калюжная, Я. С. Карпова // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны : материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 22–23 ноября 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, 2018. – С. 94-95.
3. Kalyuzhnaya, T. V. Veterinary-sanitary examination honey / T. V. Kalyuzhnaya, Y. S. Karpova, V. V. Vorontsova // Advances of science : Proceedings of articles the IV International scientific conference, Karlovy Vary - Moscow, 29–30 марта 2018 года / Editor G.G. Babalova. – Karlovy Vary - Moscow: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2018. – P. 118-121.
4. Сравнение качества меда натурального и крем-меда по физико-химическим показателям и пыльцевому составу / О. В. Шлямина, А. А. Саматова, А. Р. Макаева [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 10(211). – С. 223-230. – DOI 10.36718/1819-4036-2024-10-223-230.
5. Курманов, Р. Г. Органолептический и палинологический анализ меда: обзор современного состояния методик, характеристика монофлорных видов российского меда / Р. Г. Курманов // Инновации и продовольственная безопасность. – 2020. – № 3(29). – С. 19-31. – DOI 10.31677/2311-0651-2020-29-3-19-31.
6. Корниенко, Е. В. Палинологический анализ при проведении ветеринарно-санитарной оценки меда Омской области / Е. В. Корниенко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3(51). – С. 105-111.
7. Маннапов, А. Г. Определение ботанического происхождения полифлорных медов / А. Г. Маннапов, О. А. Легочкин // Пчеловодство. – 2018. – № 7. – С. 50-53.
8. Аношкина, О. В. Влияние ботанического и географического происхождения меда на его минеральный состав / О. В. Аношкина, Е. П. Лапынина, М. А. Попкова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 5-14. – DOI 10.36508/RSATU.2023.83.57.002.
9. Шемякина, Е. В. Сравнительный мелиссопалинологический анализ меда / Е. В. Шемякина, Д. Д. Егоровых // Научные исследования студентов и учащихся : сборник статей Международной научно-практической конференции в 2 частях, Пенза, 30 мая 2021 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 169-171.
10. Егоровых, Д. Д. Определение географического положения пыльцевых зерен меда с помощью мелиссопалинологического анализа / Д. Д. Егоровых, Е. В. Шемякина // Научные исследования в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции: в 2 Частях, Уфа, 04 июня 2021 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. – С. 125-130.
11. Курманов, Р. Г. Использование палинологического и физико-химического методов анализа при характеристике российских монофлорных видов меда / Р. Г. Курманов // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3(39). – С. 58-65.
12. Индивидуальный комплексный подход к идентификации меда с использованием инструментальных методов анализа и статистической обработки результатов / А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина, Д. А. Свиридов, М. Ю. Ганин // Пищевые системы. – 2023. – Т. 6, № 2. – С. 211-223. – DOI 10.21323/2618-9771-2023-6-2-211-223.
13. Ligor M., Kowalkowski T., Buszewski B. Comparative study of the potentially toxic elements and essential microelements in honey // Molecules. — 2022. — Vol. 27,

No. 17. — Article 5474. — DOI: 10.3390/molecules27175474.

14. Wang X., Chen Y., Hu Y., Zhou J., Chen L., Lu X. Systematic review of the characteristic markers in honey of various botanical, geographic, and entomological origins // *ACS Food Science and Technology*. — 2022. — Vol. 2, No. 2. — P. 206–220. — DOI: 10.1021/acsfoodscitech.1c00422.

15. Yayinie M., Atlabachew M., Tesfaye A., Hilluf W., Reta C. Quality authentication and geographical origin classification of honey of Amhara region, Ethiopia based on physicochemical parameters // *Arabian Journal of Chemistry*. — 2021. — Vol. 14, No. 3. — Article 102987. — DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.102987.

REFERENCES

1. Kalyuzhnaya, T. V. Examination of honey by quality indicators / T. V. Kalyuzhnaya, V. V. Vorontsova, Ya. S. Karpova // *Innovative development*. — 2017. — № 12(17). — Pp. 231-232.

2. Kalyuzhnaya, T. V. Honey quality assessment / T. V. Kalyuzhnaya, Ya. S. Karpova // *Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country : proceedings of the international scientific conference of students, postgraduates and young scientists, St. Petersburg, November 22-23 in 2018*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, 2018, pp. 94-95.

3. Kalyuzhnaya, T. V. Veterinary-sanitary examination honey / T. V. Kalyuzhnaya, Y. S. Karpova, V. V. Vorontsova // *Advances of science : Proceedings of articles of the IV International scientific conference, Karlovy Vary - Moscow, March 29-30, 2018 / Editor G.G. Babalova. — Karlovy Vary - Moscow: International Center for Scientific Research Projects, 2018. - P. 118-121.*

4. Comparison of the quality of natural honey and cream honey by physico-chemical parameters and pollen composition / O. V. Shlyamina, A. A. Samatova, A. R. Makaeva [et al.] // *Bulletin of the KrasGAU*. — 2024. — № 10(211). — Pp. 223-230. — DOI

10.36718/1819-4036-2024-10-223-230.

5. Kurmanov, R. G. Organoleptic and palynological analysis of honey: a review of the current state of techniques, characteristics of monoflora species of Russian honey / R. G. Kurmanov // *Innovations and food safety*. — 2020. — № 3(29). — Pp. 19-31. — DOI 10.31677/2311-0651-2020-29-3-19-31.

6. Kornienko, E. V. Palynological analysis during the veterinary and sanitary assessment of honey in the Omsk region / E. V. Kornienko // *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. — 2023. — № 3(51). — Pp. 105-111.

7. Mannapov, A. G. Determination of the botanical origin of polyflora honey / A. G. Mannapov, O. A. Legochkin // *Beekeeping*. — 2018. — № 7. — pp. 50-53.

8. Anoshkina O. V., Lapynina E. P., Popkova M. A. The influence of the botanical and geographical origin of honey on its mineral composition // *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. — 2023. — Vol. 15, No. 1. — pp. 5-14. — DOI 10.36508/RSATU.2023.83.57.002.

9. Shemyakina, E. V. Comparative melissopalynological analysis of honey / E. V. Shemyakina, D. D. Egorov // *Scientific research of students and pupils : collection of articles of the International scientific and practical conference in 2 parts, Penza, May 30, 2021. Volume Part 1. Penza: Science and Enlightenment, 2021. pp. 169-171.*

10. Egorov, D. D. Determination of the geographical location of pollen grains of honey using melissopalynological analysis / D. D. Egorov, E. V. Shemyakina // *Scientific research in the modern world: experience, problems and prospects for development : Collection of scientific articles based on the materials of the V International Scientific and Practical Conference: in 2 Parts, Ufa, June 04, 2021 of the year. Volume Part 1. Ufa: Limited Liability Company Scientific Publishing Center Bulletin of Science, 2021, pp. 125-130.*

11. Kurmanov, R. G. The use of palynological and physico-chemical methods of analysis in the characterization of Russian monoflora honey species / R. G. Kurmanov //

Bulletin of Omsk State Agrarian University. — 2020. — № 3(39). — Pp. 58-65.

12. An individual integrated approach to the identification of honey using instrumental methods of analysis and statistical processing of results / A. L. Panasyuk, E. I. Kuzmina, D. A. Sviridov, M. Yu. Ganin // Food systems. — 2023. — Vol. 6, No. 2. — pp. 211-223. — DOI 10.21323/2618-9771-2023-6-2-211-223.

13. Ligor M., Kowalkowski T., Buszewski B. Comparative study of the potentially toxic elements and essential microelements in honey // *Molecules*. — 2022. — Vol. 27, No. 17. — Article 5474. — DOI: 10.3390/molecules27175474.

14. Wang X., Chen Y., Hu Y., Zhou J., Chen L., Lu X. Systematic review of the characteristic markers in honey of various botanical, geographic, and entomological origins // *ACS Food Science and Technology*. — 2022. — Vol. 2, No. 2. — P. 206–220. — DOI: 10.1021/acsfoodscitech.1c00422.

15. Yayinie M., Atlabachew M., Tesfaye A., Hilluf W., Reta C. Quality authentication and geographical origin classification of honey of Amhara region, Ethiopia based on physicochemical parameters // *Arabian Journal of Chemistry*. — 2021. — Vol. 14, No. 3. — Article 102987. — DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.102987.

УДК: 636.4.082

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.128

ПОСЛЕУБОЙНАЯ И ПРИЖИЗНЕННАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ МЯСО-САЛЬНЫХ КАЧЕСТВ У ОТКОРМОЧНОГО МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ИНДЕКСОВ

Дойлидов В.А.¹ – канд. с.-х. наук, доц. каф. частного животноводства (ORCID 0000-0002-3922-6993); Капитонова Е.А.*² – д-р биол. наук, проф. каф. зоогигиены и птицеводства имени А.К. Даниловой (ORCID 0000-0002-3549-5969)

¹ УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия
ветеринарной медицины»,

² ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина»

*kapitonovalena1110@mail.ru

Ключевые слова: свиньи, селекционный индекс, регрессия, высота длиннейшей мышцы спины, толщина шпика.

Key words: pigs, selection index, regression, height of the longissimus dorsi muscle, fat thickness.

Поступила 15.10.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Целью работы явилось проведение комплексного анализа формирования мясной продуктивности у откармливаемого молодняка свиней в динамике при использовании метода регрессионного анализа, с учетом различий в динамике структурных изменений соотношения в тушах мышечной и жировой тканей в процессе увеличения живой массы животных, с последующей разработкой селекционных индексов послеубойной и прижизненной оценки его мясных качеств. При послеубойном анализе динамики формирования у свиней мясных качеств числовое значение координаты X в точке пересечения графиков регрессии процентного содержания мышечной и жировой тканей в тушах по отношению к предубойной массе животных может служить критерием оценки динамики мясных качеств свиней и использоваться в качестве цифрового индекса при выявлении, лучшей финальной отцовской породы, обеспечивающей максимальное проявление мясных качеств помесного молодняка. Наиболее высоким оказался показатель индекса – 125 – при использовании на двухпородных свиноматках БКБхБМ хряков породы немецкий дюрор. Научно обоснован и разработан селекционный прием выявления лучших финальных отцовских форм для подбора при промышленном скрещивании по выраженности у получаемого молодняка мясных качеств, определяемой исходя из величины значения «Индекса мясных качеств» (ИМК), разработанного на основе комплексного анализа динамики их проявления при прижизненной оценке. Трехпородный молодняк, полученный с использованием на финальном этапе скрещивания хряков пород немецкий дюрор и канадский дюрор, канадский йоркшир, канадский ландрас, и белорусского типа в породе дюрор, характеризовался наиболее высокими показателями ИМК – 60-72.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Известно, что в свиноводстве быстрого повышения мясности откармливаемого помесного молодняка, что в особенности важно на заключительном этапе откорма, когда появляется возможность получать качественные мясные туши по достижении животными живой массы свыше 100 кг, можно достичь при использовании на финальном этапе промышленного скрещивания так называемых отцовских пород, отличающихся повышенным уровнем соответствующих качеств [9]. При этом на проявление показателей мясной продуктивности потомков главенствующее влияние оказывает генотип вводимых в схему скрещивания родителей, находящий свое выражение в принадлежности их к определенным породам [1, 2].

Улучшение уже существующих и выведение новых пород свиней, все более специализированных по выраженности их мясных качеств, является главным направлением породообразовательного процесса, который осуществляется в странах с развитым свиноводством в продолжение последних трех десятилетий [4, 7].

В свете этого для обеспечения дальнейшего развития свиноводства Беларуси самым низкокзатратным направлением является применение мировых достижений в этой отрасли в работе по повышению продуктивных признаков животных отечественной селекции [10]. А значит, обеспечение растущей потребности потребителей в высококачественной мясной свинине должно быть основано на введении в схемы скрещивания животных иностранных высокоспециализированных пород для управления процессами роста получаемого молодняка в искомом направлении [8]. Очень важной при этом является правильная оценка особенностей формирования мясных качеств растущего помесного молодняка, которые могут варьировать в зависимости от уровня специализации используемых в скрещивании пород. И особенно – финальной отцовской [5]. В то же время, проведение такой оценки классическим способом, по значениям показателей мясных качеств у полу-

ченных при скрещивании животных по достижении ими предубойной массы 100 кг, не позволяет учесть все особенности динамики роста мышечной и отложения жировой тканей.

Очевидно, что точность и достоверность оценки мясных качеств повысится при комплексном подходе к данной проблеме, обеспечивающем одновременный учет динамики роста мышечной жировой тканей у представителей оцениваемых межпородных сочетаний в процессе повышения живой массы самих откармливаемых животных.

В широком спектре областей науки, в том числе и в биологии, чтобы выявить существующие закономерности и определить тенденции развития различных процессов используются математические методы, что существенно повышает эффективность научного исследования [3, 6].

Вследствие того, что явления, связанные с ростом мышечной и накоплением жировой ткани в теле у откармливаемых свиней в процессе их роста, имеют в причинно-следственную взаимосвязь, в результате чего отклонение в ту или иную сторону среднего значения результативного признака обусловлено изменением связанного с ним факторного, установить вероятные значения одного показателя с помощью известных значений другого помогает применение метода регрессионного анализа [3, 5].

Целью работы явилось проведение комплексного анализа формирования мясной продуктивности у откармливаемого молодняка свиней в динамике при использовании метода регрессионного анализа, с учетом различий в динамике структурных изменений соотношения в тушах мышечной и жировой тканей в процессе увеличения живой массы животных, с последующей разработкой селекционных индексов послеубойной и прижизненной оценки его мясных качеств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Проведение анализа выраженности

мясных качеств у подопытного молодняка осуществлялась в ходе контрольных убоев животных, откормленных в двух свиноводческих хозяйствах – свиноводческом комплексе КУСХП «Городец» Шарковщинского района и селекционно-гибридном центре «Заднепровский» Оршанского района.

Объектом для проведения исследований служил, как чистопородный молодняк, принадлежащий к материнским породам – белорусской мясной (БМ) и белорусской крупной белой (БКБ), так и двухпородные помеси от сочетания БКБхБМ, а также трехпородные помеси, полученные при покрытии маток БКБхБМ финальными хряками пород немецкий йоркшир (НЙ), канадский йоркшир (КЙ), немецкий ландрас (НЛ), канадский ландрас (КЛ), а также немецкий дюрк (НД) и канадский дюрк (КД). Молодняк от каждого из изученных породных сочетаний имел предубойную живую массу от 90 до 130 кг. Количество голов в группах колебалось от 22 до 71.

Технология содержания осуществлялась в соответствии с нормативами, разработанными учеными РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». Кормление животных осуществлялось полнорационными комбикормами марки СК, по единым стандартным рецептурам, предназначенным для соответствующих половозрастных групп.

Мясные качества подопытных животных были изучены прижизненно в обоих хозяйствах и после убоя – у молодняка, откормленного в условиях СГЦ «Заднепровский».

Прижизненная оценка выраженности мясных качеств у молодняка проведена при помощи прибора Piglog 105. При этом измерялась толщина подкожного шпика и высота длиннейшей мышцы спины во II точке (на уровне третьего-четвертого ребра от задней части грудной клетки при отступе от середины спины в 7 см).

Динамика зависимости между повышающейся живой массой и значениями

показателей процентной доли толщины шпика в сумме его толщины и высоты длиннейшей мышцы спины (в мм) в точке измерения, а также процентной доли высоты длиннейшей мышцы в этой же сумме была отражена в уравнения регрессии, выведенных для каждого сочетания пород.

После убоя подопытных животных была проведена обвалка их туш с определением количества в них мышечной и жировой тканей. Чтобы дифференцировать влияние породы отца на динамику мясных качеств откормочного молодняка при изменении его живой массы, мы провели для каждого из изучаемых породных сочетаний однофакторный дисперсионный анализ, в котором действующим фактором выступала изменяющаяся предубойная масса исследуемых животных (от 90 до 125 кг), а как результативные признаки учитывались фактическое содержание в тушах мяса (мышечной ткани) и сала (жировой ткани).

Зависимость изменения содержания в тушах молодняка изучаемых сочетаний мышечной и жировой тканей от повышения его предубойной массы с 90 до 130 кг в заключительный период откорма была отражена и в выведенных уравнениях регрессии, приведенных к единой системе координат. Для этого наивысшим значениям в выборках показателей удельного веса мышечной и жировой тканей было присвоено значение 100 %, а остальным – соответственно ниже, сообразно их величине. Все математические расчеты проводились на ПЭВМ при помощи программы «Microsoft Office Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты дисперсионного анализа влияния живой массы чистопородного и помесного молодняка, откормленного в условиях СГЦ «Заднепровский» представлены в таблице 1.

В ходе анализа полученных данных (таблица 1), установлено, что доля влияния изменения предубойной массы чистопородных животных БМ и трехпородных помесей (БКБхБМ)хБД с 95 до 125 кг на количество содержащегося в туше мяса

(мышечной ткани) выше на 1-7 п. п., чем ее доля влияния на содержание сала (жировой ткани). То есть в данном случае прослеживается выраженное влияние генотипа, а в частности – использования на заключительном этапе трехпородного скрещивания специализированной мясной породы дюрок на формирование мясных качеств животных. Одновременно у

молодняка БКБ и двухпородных животных БКБхБМ установлена обратная тенденция, т. е. доля влияния живой массы животных на количество содержащегося в туше мяса ниже на 1-3 п. п., чем доля ее влияния на содержание сала. Это указывает на склонность данных животных к большему осаливанию в ходе заключительного этапа откорма.

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа влияния живой массы чистопородного и помесного молодняка разных породных сочетаний на изменчивость мясных качеств (СГЦ «Заднепровский»)

Результативные признаки	Показатели		
	доля влияния учтенного фактора (η^2)	достоверность влияния учтенного фактора (F)	достоверность (P)
СГЦ «Заднепровский»			
БКБ ($n=37$)			
Количество мяса в туше, кг	0,91	59,46	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,94	104,55	$P \leq 0,001$
БМ ($n=34$)			
Количество мяса в туше, кг	0,94	82,95	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,93	74,77	$P \leq 0,001$
БКБхБМ ($n=33$)			
Количество мяса в туше, кг	0,88	41,17	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,89	43,32	$P \leq 0,001$
(БКБхБМ)хБД ($n=33$)			
Количество мяса в туше, кг	0,87	36,17	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,80	20,23	$P \leq 0,001$
КУСХП «Городец»:			
(БКБхБМ)хНН ($n=22$)			
Количество мяса в туше, кг	0,80	12,8	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,75	9,7	$P \leq 0,001$
(БКБхБМ)хНЛ ($n=22$)			
Количество мяса в туше, кг	0,80	12,5	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,67	6,5	$P \leq 0,01$
(БКБхБМ)хНД ($n=22$)			
Количество мяса в туше, кг	0,84	16,8	$P \leq 0,001$
Количество сала в туше, кг	0,71	7,9	$P \leq 0,001$

В трехпородном сочетании, где на финальном этапе скрещивания использовались хряки пород немецкий дюрок, доля влияния изменения предубойной массы животных с 95 до 125 кг на количество содержащегося в туше мяса (мышечной ткани) выше на 4 п. п., чем в сочетаниях с

использованием хряков пород немецкий йоркшир и немецкий ландрас. Установлена также тенденция к снижению доли влияния увеличивающейся живой массы животных на содержание сала (жировой ткани) в сочетании, где на финальном этапе были использованы хряки пород

дюрок и ландрас – на 4-8 п. п., в сравнении с аналогичным использованием хряков породы йоркшир.

Анализ уравнений регрессии, отражающих взаимозависимости изменения предубойной живой массы молодняка с содержанием в тушах животных мышечной и жировой тканей, позволил установить, что интенсивность снижения удельного веса мышечной ткани и увеличение удельного веса жировой в тушах животных при увеличении их живой массы детерминирована межпородным сочетанием.

Графики, описываемые уравнениями регрессии процентного содержания в тушах мышечной и жировой тканей относительно повышения живой массы молод-

няка, находящиеся в единой системе координат, обязательно будут пересекаться. При этом значение координаты точки пересечения графиков по оси X зависит от углов их падения и восхождения, в величине которых находят свое математическое отражение способность животных изучаемых сочетаний сохранять свои мясные качества на высоком уровне, либо снижать их по мере увеличения живой массы. Чтобы снизить громоздкость текста статьи мы не приводим графики по всем сочетаниям, ограничившись для примера графиками по трехпородным помесям из КУСХП «Городец», на которых явно прослеживается выявленная закономерность (Рисунок 1).

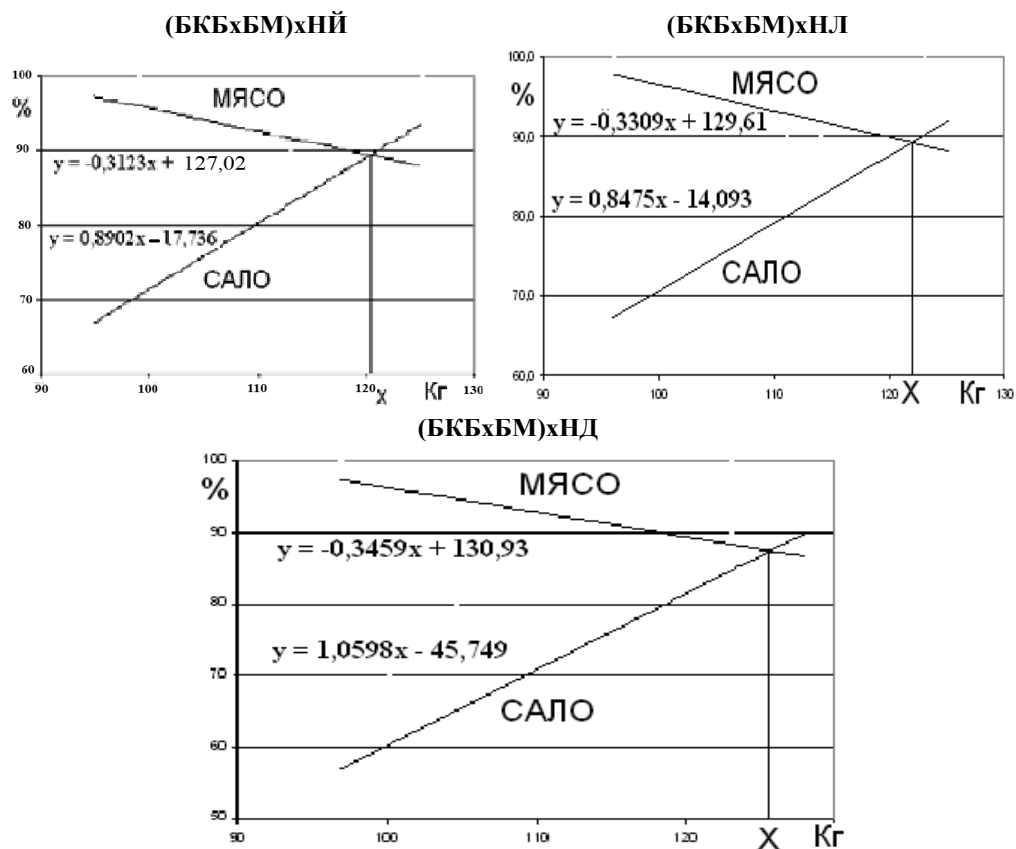


Рисунок 1 – Соотношение динамики удельного веса мяса и сала в тушах трехпородного молодняка с увеличением живой массы (КУСХП «Городец»)

СГЦ «Заднепровский»:

БКБ	БМ	БКБхБМ	(БКБхБМ)
$y_1 = 0,9459x - 21,543$	$y_1 = 0,7063x + 10,072$	$y_1 = 0,8355x - 5,8645$	$y_1 = 0,6203x + 14,424$
$y_2 = -0,4605x + 143,54$	$y_2 = -0,2854x + 126,16$	$y_2 = -0,3766x + 134,73$	$y_2 = -0,1962x + 114,01$
$x = 117$	$x = 117$	$x = 116$	$x = 122$

КУСХП «Городец»:

(БКБхБМ)хНЙ	(БКБхБМ)хНЛ	(БКБхБМ)хНД
$y_1 = 0,8902x - 17,736$	$y_1 = 0,8475x - 14,093$	$y_1 = 1,0598x - 45,749$
$y_2 = -0,3123x + 127,02$	$y_2 = -0,3309x + 129,61$	$y_2 = -0,3459x + 130,93$
$x = 121$	$x = 122$	$x = 125$

Стремление значения координаты X точки пересечения графиков к повышению свидетельствует о способности животных определенного сочетания сохранять мясные качества на высоком уровне в ходе повышения собственной живой массы, и наоборот.

В нашем случае определить точное значение координаты X точки пересечения графиков позволило решение систем уравнений регрессии изменения удельного веса мышечной и жировой тканей при увеличении живой массы животных, выведенных для каждого из породных сочетаний.

Анализ изменения значений координат X у молодняка разных сочетаний позволил установить, что трехпородные животные (БКБхБМ)хНЙ, (БКБхБМ)хНЛ, (БКБхБМ)хБД и (БКБхБМ)хНД имеют повышение значения этого показателя до 121-125, в сравнении со значениями в остальных породных сочетаниях – 116-117, что указывает на их способность к более длительному сохранению высокого уровня мясной продуктивности при одновременном понижении интенсивности осаливания с повышением живой массы. Наилучшим по выраженности мясных качеств среди сочетаний из КСУП СГЦ «Заднепровский» было (БКБхБМ)хБД, а среди сочетаний из свиного комплекса «Городец» – (БКБхБМ)хНД.

В итоге установлено, что величина числового значения координаты X точки пересечения графиков регрессии удельного веса мышечной и жировой тканей в

тушах по отношению к предубойной массе животных может служить критерием оценки динамики мясных качеств свиней и использоваться в качестве цифрового индекса при отборе на повышение мясности.

В то же время, проведение такой оценки связано со значительными затратами. Значительно облегчить процесс выявления лучших по проявлению мясных качеств сочетаний и отдельных пород позволяет использование прижизненно взятых показателей высоты длиннейшей мышцы спины и толщины подкожного шпика, поскольку доказано, что у свиней они тесно связаны с содержанием в теле животных жировой и мышечной тканей

Нами были рассчитаны разработанные нами коэффициент стабильности мясности (КСМ) индекс мясных качеств свиней (ИМК). Полученные результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Анализ показателей в таблице 2 позволил установить, что наибольшей процентной долей высоты длиннейшей мышцы спины, при живой массе 90 кг – 81,7 %, а значит более выраженными мясными качествами среди породных сочетаний, откормленных в условиях СГЦ «Заднепровский», характеризовался молодняк сочетания (БКБхБМ)хБД. Его сверстники белорусской мясной породы, имея первоначально высокое значение показателя процентной долей высоты длиннейшей мышцы спины при живой массе 90 кг – 80,2 % – существенно его

понижили, достигнув массы 110 кг – на 8,5 п. п. У молодняка же (БКБхБМ)хБД снижение данного показателя при достижении массы 110 кг было меньшим – 6,3 п. п., что указывает на лучшую стабильности у него мясных качеств.

Из межпородных сочетаний, откорм-

ленных в условиях КУСХП «Городец» по тому же показателю лидерами, оказались трехпородные животные сочетаний (БКБхБМ)хНД и (БКБхБМ)хКД. Наименьшее его значение установлено у их сверстников сочетания (БКБхБМ)хНЛ.

Таблица 2 – Удельный вес толщины шпика и высоты длиннейшей мышцы спины в их сумме при живой массе 90 кг и 110 кг

Породные сочетания	п	Уравнения регрессии	При живой массе 90 кг		При живой массе 110 кг	
			высота дл. мышцы, %	толщина шпика, %	высота дл. мыш-цы, %	толщина шпика, %
СГЦ «Заднепровский»						
БКБхБКБ	50	$y_1 = 0,2628x + 93,718$ $y_2 = 0,2628x + 6,2822$	70,1	29,9	64,8	35,2
БМхБМ	45	$Y_1 = -0,4262x + 118,77$ $Y_2 = 0,4262x - 18,771$	80,4	19,6	71,9	28,1
БКБхБМ	44	$Y_1 = -0,2853x + 98,075$ $Y_2 = 0,2853x + 1,9255$	72,4	27,6	66,7	33,3
(БКБхБМ)хБД	49	$Y_1 = -0,3114x + 109,69$ $Y_2 = 0,3114x - 9,6893$	81,7	18,3	75,4	24,6
КУСХП «Городец»						
(БКБхБМ)хНЙ	57	$Y_1 = -0,238x + 97,192$ $Y_2 = 0,238x + 2,8081$	75,8	24,2	71,0	29,0
(БКБхБМ)хНЛ	71	$Y_1 = -0,2712x + 100,12$ $Y_2 = 0,2712x - 0,1234$	75,7	24,3	70,3	29,7
(БКБхБМ)хНД	61	$Y_1 = -0,2268x + 100,63$ $Y_2 = 0,2268x - 0,6294$	80,2	19,8	75,7	24,3
(БКБхБМ)хКЙ	22	$Y_1 = -0,1196x + 87,442$ $Y_2 = 0,1196x + 12,558$	76,7	23,3	74,3	25,7
(БКБхБМ)хКЛ	22	$Y_1 = -0,0606x + 81,437$ $Y_2 = 0,0606x + 18,563$	76,0	24,0	74,8	25,2
(БКБхБМ)хКД	24	$Y_1 = -0,1126x + 89,154$ $Y_2 = 0,1126x + 10,846$	79,0	21,0	76,8	23,2

Примечание: y_1 – уравнение регрессии для высоты длиннейшей мышцы; y_2 – уравнение регрессии для толщины шпика.

Анализе таблицы 3 показал превосходство трехпородного молодняка (БКБхБМ)хБД над сверстниками других сочетаний, откормленными в условиях СГЦ «Заднепровский» по значению показателя КСМ – 0,801, повышение которого отражает математически способность подопытных животных минимально снижать уровень своих мясных качеств по мере роста живой массы в заключитель-

ный период откорма. Животные этого же сочетания характеризовались и наиболее высокими показателем ИМК – 63.

Их сверстники белорусской мясной породы вследствие значительного снижения показателя КСМ имели значение ИМК на 8 пунктов ниже, чем лидирующее сочетание.

В свою очередь, при высокой выраженности стабильности мясных качеств,

среди помесей из КУСХП «Городец» лидировал молодняк следующих сочетаний: (БКБхБМ)хКД, (БКБхБМ)хКЛ, (БКБхБМ)хКЙ и (БКБхБМ)хНД, который характеризовался показателями индекса мясных качеств от 72 до 66.

У сверстников сочетаний (БКБхБМ)

хНЙ и (БКБхБМ)хНЛ, вследствие существенного понижения числового значения одной либо одновременно двух составляющих индекса ИМК, его показатель оказался на 6-14 пунктов ниже, нежели у представителей лидирующих сочетаний.

Таблица 3 – Значения коэффициента стабильности мясности и индекса мясных качеств для откормленного молодняка разных породных сочетаний

Породные сочетания	n	Разница (мыца–шпик) при массе 90 кг	Разница (мыца–шпик) при массе 110 кг	КСМ	Высота дл. мышцы при массе 100 кг, %	ИМК
<i>СГЦ «Заднепровский»</i>						
БКБхБКБ	50	40,2	29,6	0,736	67,2	50
БМхБМ	45	60,8	43,8	0,720	76,2	55
БКБхБМ	44	44,8	33,4	0,746	69,5	52
(БКБхБМ)хБД	49	63,4	50,8	0,801	78,6	63
<i>КУСХП «Городец»</i>						
(БКБхБМ)хНЙ	57	51,6	42,0	0,813	73,4	60
(БКБхБМ)хНЛ	71	51,4	40,6	0,790	73,0	58
(БКБхБМ)хНД	61	60,4	51,4	0,851	78,0	66
(БКБхБМ)хКЙ	22	53,4	48,6	0,910	75,8	69
(БКБхБМ)хКЛ	22	52,0	49,6	0,954	75,4	72
(БКБхБМ)хКД	24	58,0	53,6	0,924	77,9	72

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, позволяют утверждать, что:

1. Проведенный комплексный анализ динамики структурных изменений соотношения в тушах мышечной и жировой тканей в процессе увеличения живой массы откармливаемого молодняка свиней позволил установить, что числовое значение координаты X точки пересечения графиков регрессии процентного содержания мышечной и жировой тканей в тушах по отношению к предубойной массе животных может служить индексом при оценке уровня мясных качеств животных. В условиях СГЦ «Заднепровский» наиболее высоким оказался показатель индекса у молодняка, полученного при использовании на двухпородных свиноматках БКБхБМ хряков

белорусского типа в породе дюрок – со значением 122. В условиях КУСХП «Городец» самым высоким оказался показатель индекса – 125 – при использовании на двухпородных свиноматках БКБхБМ хряков породы немецкий дюрок.

2. Величина значения «Индекса мясных качеств» (ИМК), разработанного на основе комплексного анализа динамики их проявления при прижизненной оценке, отражает выраженность данных качеств у изучаемого откормочного молодняка. При этом трехпородные потомки хряков пород немецкий дюрок и канадский дюрок, канадский йоркшир, канадский ландрас, и белорусского типа в породе дюрок, характеризовался наиболее высокими показателями ИМК – 60-72 – из всех изученных породных сочетаний.

3. Сравнение величин значений ИМК у молодняка от разных сочетаний может

быть использовано при подборе лучшей финальной отцовской породы, обеспечивающей максимальное проявление мясных качеств у получаемых потомков.

POST-MORROW AND VITAL COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF DYNAMICS OF MEAT AND LARD QUALITIES IN FATTENING YOUNG PIGS USING INDICES

Doylidov V.A.¹ – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Private Animal Husbandry (ORCID ID 0000-0002-3922-6993), **Kapitonova E.A.**^{2*} – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Zoohygiene and Poultry Farming named after A.K. Danilova (ORCID ID 0000-0002-3549-5969)

¹ Vitebsk orders "Sign of Honour" state academy of veterinary medicine

² Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology–MBA named after K.I. Skryabin

*kapitonovalena1110@mail.ru

ABSTRACT

The aim of this study was to conduct a comprehensive analysis of the development of meat productivity in fattened young pigs over time using regression analysis, taking into account differences in the dynamics of structural changes in the ratio of muscle and fat tissue in carcasses as the animals gain live weight. This was followed by the development of selection indices for post-mortem and intramortem assessment of meat quality. During the post-mortem analysis of the dynamics of meat quality development in pigs, the numerical value of the X-coordinate at the intersection of the regression graphs of the percentage of muscle and fat tissue in carcasses relative to the animals' pre-slaughter weight can serve as a criterion for assessing the dynamics of meat quality in pigs and can be used as a digital index to identify the best final sire breed ensuring maximum meat quality in crossbred young pigs. The highest index value—125—was obtained when German Duroc boars were used on two-breed BKBxBM sows. A scien-

tifically substantiated and developed selection method for identifying the best final paternal strains for industrial crossbreeding has been developed based on the expression of meat qualities in the resulting young animals. This expression is determined based on the Meat Quality Index (MQI) value, developed through a comprehensive analysis of the dynamics of these traits during in vivo assessment. Three-breed young animals, produced using German Duroc and Canadian Duroc boars, Canadian Yorkshire boars, Canadian Landrace boars, and Belarusian-type Duroc boars in the final crossbreeding stage, demonstrated the highest MQI values – 60-72.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Возможность повышения продуктивных качеств свиней белорусских пород при использовании маркерзависимой селекции / В. А. Дойлидов [и др.] // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». – 2011. – Т. 47, вып. 1. – С. 357–360.
2. Герасимов В., Пронь Е. Мясо-сальные качества трехпородных помесей различных генотипов. Свиноводство. – 2002. – № 5. – С. 5-6.
3. Зинченко А. П. Сельскохозяйственная статистика с основами социально-экономической статистики. – Москва : МСХА, 2005. – 368 с.
4. Кабанов В. Д., Бетин А. Н. Эффективный способ повышения мясной продуктивности. Зоотехния. – 2010. – № 1. – С. 22-24.
5. Коваленко Б. П. К вопросу оценки убойных качеств свиней // Пути интенсификации отрасли свиноводства в странах СНГ : тез. докл. XII междунар. науч.-практ. конф. – Жодино : Ин-т животноводства НАН Беларуси, 2006. – С. 57–59.
6. Осколков, М. Л. Основы научных исследований : учебное пособие. – Тюмень : ТГСХА, 2006. – 454 с.
7. Погодаев В. А., Комлацкий В. И., Комлацкий Г. В., Величко В. А. Продуктивность и качество свинины в зависимости

от генотипа и технологии откорма свиней : монография. Ставрополь : Сервис-школа, 2021. – 208 с.

8. Шейко И. П., Тимошенко Т. Н., Шиман Т. Л. Репродуктивные, откормочные и мясные качества свиней породы дюрок при различных вариантах подбора родительских пар // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2011. – № 1. – С. 74–80.

9. Шейко И. П. Свиноводство в Республике Беларусь // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 12–15.

10. Ятусевич В. П., Дойлидов. В. А. Свиноводство и технология производства свинины : учебное пособие. – Минск : РИПО, 2021. – 262 с.

REFERENCES

1. The possibility of increasing the productive qualities of pigs of Belarusian breeds using marker-dependent selection / V. A. Doylidov [et al.] // Scientific notes of the educational institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine". - 2011. - Vol. 47, issue 1. - P. 357-360.

2. Gerasimov V., Pron' E. Meat and fat qualities of three-breed crossbreeds of different genotypes. Pig breeding. - 2002. - № 5. - P. 5-6.

3. Zinchenko A. P. Agricultural statistics with the basics of socio-economic statistics. Moscow: Moscow Agricultural Academy, 2005. 368 p.

4. Kabanov V. D., Betin A. N. An effective method for increasing meat productivity. Zootechnics. – 2010. – № 1. – P. 22-24.

5. Kovalenko B. P. On the issue of assessing the slaughter qualities of pigs // Ways to intensify the pig breeding industry in the CIS countries: report summary of the XII international scientific and practical conference. – Zhodino: Institute of Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Belarus, 2006. – P. 57–59.

6. Oskolkov, M. L. Fundamentals of scientific research: a textbook. - Tyumen: TGSKhA, 2006. - 454 p.

7. Pogodaev V. A., Komlatsky V. I., Komlatsky G. V., Velichko V. A. Productivity and quality of pork depending on the genotype and technology of pig feeding: monograph. Stavropol: Service-school, 2021. - 208 p.

8. Sheiko I. P., Timoshenko T. N., Shiman T. L. Reproductive, fattening and meat qualities of Duroc pigs with different options for selecting parental pairs // News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of agricultural sciences. 2011. № 1. P. 74-80.

9. Sheiko I. P. Pig breeding in the Republic of Belarus // Belarusian agriculture. - 2006. - № 2. - P. 12-15.

10. Yatusевич V. P., Doylidov. V. A. Pig breeding and pork production technology: a tutorial. – Minsk: RIPO, 2021. – 262 p.

УДК: 659.3.043.13

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.138

ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОРМЛЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭПИЗООТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕ- СКИХ РИСКОВ В РЫБОВОДСТВЕ

Карпенко Л.Ю.¹ – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-2781-5993); Полистовская П.А.^{1*} – канд. биол. наук, доц. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0003-1977-0913); Сидорова Н.А.² – канд. биол. наук, доц., доц. каф. зоологии и экологии (ORCID 0000-0002-9659-9235); Савушкин А.И.² – науч. сотр. (ORCID 0009-0003-5202).

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

² ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

*p.polistovskaya@mail.ru

Ключевые слова: аквакультура, биогены, гематологические параметры, функциональное кормление, мониторинг, эпизоотии, экологические риски, *Chlorella sorokiniana* AGT.

Keywords: aquaculture, biogens, hematological parameters, functional feeding, monitoring, epizootics, ecological risks, *Chlorella sorokiniana* AGT.

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 322-23 (Соглашение № 23-16-20026), проводимого совместно с Республикой Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

Поступила: 23.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В статье приводятся результаты оценки эффективности интегрированной системы функционального кормления и мониторинга водной среды с целью контроля над эпизоотическими и экологическими рисками в рыбоводстве. На примере функциональной кормовой добавки, содержащей штамм *Chlorella vulgaris* штамм ГКО ВКПМ А1-24, рассматривается возможность применения функционального кормления для улучшения физиологического состояния рыб, усвояемости питательных веществ и снижения экологических рисков. Особое внимание уделено ихтиогематологическим параметрам и содержанию биогенных элементов (азота и фосфора) для оперативного контроля над условиями содержания объектов аквакультуры. Показано, что синергетический эффект от сочетания функционального кормления и мониторинга способствует уменьшению негативного воздействия на водные экосистемы, повышению продуктивности и экономической эффективности рыбоводства. Предложенная стратегия представляет практический интерес для внедрения в условиях интенсивного выращивания высокопродуктивных пород рыб с целью обеспечения устойчивого развития аквакультуры.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

С ростом объемов аквакультуры и усилением антропогенного давления на водные экосистемы возрастает потребность в устойчивых и экологически безопасных методах управления рыбоводными объектами. Одной из таких стратегий является функциональное кормление, применение кормов и кормовых добавок, необходимых для здоровья, иммунитета и продуктивности рыб [4,9]. К функциональным добавкам относят про- и пребиотики, фитогены, иммуномодуляторы, микро- и макроэлементы, ряд других биологически активных соединений. Исследованиями подтверждено их положительное влияние на рост, выживаемость и резистентность объектов аквакультуры к патогенам [6]. Однако, масштабное применение функциональных кормовых добавок в практике индустриального рыбоводства все еще остаётся ограниченным. Во многом, это связано с несовершенством системы кормления в современном рыбоводстве, которая должна складываться не только из процессов использования специализированных комбикормов для обеспечения рыбы необходимым рационом, но и из оптимизации кормления с целью снижения потерь корма в процессе выращивания рыбы и увеличения его усвояемости. Избыток корма может поступать в окружающую среду, что приводит к экологическим рискам для водных экосистем из-за накопления питательных веществ, органики, тенденции к эвтрофикации [5]. Обнаружено, что только 20-30% фосфора и 25-40% азота в составе корма усваиваются рыбой, остальное количество биогенных элементов поступает в окружающую среду [2]. Избыток корма, метаболиты рыб также могут оседать на дно водоемов, что часто провоцирует полную смену состава бентических сообществ, исчезновение чувствительных видов и массовое развитие гидробионтов полисапробной группы [7,11]. Ряд авторов отмечает серьезную опасность для водных экосистем лечебных и профилактических добавок к кормам, содержащих антибиотики, фунгициды и тяжелые

металлы (цинк, медь, кадмий), которые часто обнаруживаются в составе рыбной муки [3,15].

Эпизоотические и экологические риски возможно сократить за счет использования интегрированной системы функционального кормления (ИСФК) рыбы, под которой понимается комплексный технологический подход в аквакультуре, объединяющий в единую управляемую систему применение функциональных кормовых добавок, мониторинг состояния организма рыбы и водной среды и алгоритм обратной связи для управления процессом кормления в реальном времени. Цель ИСФК заключается в рациональной и безопасной для окружающей среды технологии кормления в сочетании с возможностью управления физиологическим состоянием объектов аквакультуры и качеством среды обитания рыбы. Интеграция функционального кормления с системой наблюдения за динамикой ихтиогематологических, гидрохимических и гидробиологических параметров позволяет создать адаптивную систему управления, минимизирующую эпизоотические и экологические риски и одновременно повысить устойчивость объектов аквакультуры к неблагоприятным средовым факторам.

Мы предполагаем, что использование функциональной кормовой добавки на основе *Chlorella vulgaris* позволяет одновременно решить две основные задачи: повысить неспецифическую резистентность организма рыб (снижение эпизоотического риска) за счет оптимизации белкового обмена и стимуляции клеточных факторов защиты; снизить нагрузку на водную экосистему (снижение экологического риска) за счет повышения усвояемости корма и, как следствие, уменьшения выделения азота и фосфора в воду.

Основная цель представленного исследования заключалась в комплексной оценке эффективности интегрированной системы функционального кормления и мониторинга водной среды для контроля над возможными рисками в условиях аквариального эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для реализации цели исследования проведен кормленческий опыт, в рамках которого выполнена апробация введения в рацион молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) функциональной кормовой добавки, содержащей *Chlorella vulgaris* штамм GKO ВКПМ А1-24 в количестве 500 млн. клеток в 1 мл концентрата. Как функциональная добавка к корму, хлорелла является полноценным источником белков (до 61.6 %), жиров (12.5 %), углеводов (13.7 %), ряда микроэлементов, витаминов группы В, С, Е, D, К, пигментов [1]. Объектом исследования служила молодь радужной форели в возрасте 4 месяцев, средней массой 5,5–5,9 г (табл. 2). Рыбу содержали в аквариальной установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) объемом 100 л, с постоянной аэрацией и биофильтрацией. Температура воды под-

держивалась на уровне $14,7 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, pH $6,64 \pm 0,3$, содержание кислорода – не менее 8 мг/л. Световой режим: 12 ч свет / 12 ч темнота.

Оценку эффективности функционального кормления с использованием хлореллы и мониторинг водной среды проводили на базе Научно-исследовательского центра по аквакультуре Института биологии, экологии и агротехнологий Петрозаводского государственного университета с привлечением ресурсов ООО «Микробиом» инновационного сектора Петрозаводского государственного университета. Для опыта рыбу отбирали случайно и распределяли по 3 группам (2 контрольные группы и 1 опытная) по 20 особей в каждой. В качестве отрицательного контроля (контроль 1) использовали стартовый корм для молоди форели «Аква Фид» размер гранул 2 мм. Состав используемого корма отображен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав стартового корма для молоди форели производства «Аква Фид»

Состав корма	Размер гранул, мм		
	0.1	0.2	0.4
Протеин (%)	64	64	64
Жир (%)	8	8	8
Углеводы (%)	8,9	8,9	8,9
Зола (%)	12,1	12,1	12,1
Волокно (%)	1,0	1,0	1,0
Фосфор (%)	1,4	1,4	1,4
Энергетическая ценность (МДж)	19,4	19,4	19,4
Усваиваемая энергия (МДж)	18,0	18,0	18,0

В качестве положительного контроля (контроль 2) – тот же корм с добавлением пробиотика «Ветом 1.1» производства ООО НПФ «Исследовательский центр», содержащий штамм *Bacillus subtilis* ВКПМ В-10641 (DSM 24613) в количестве $1 \cdot 10^6$ КОЕ (колониеобразующих единиц) в 1 г препарата. Пробиотик вносили в корм в виде водной суспензии из расчёта 10 мл рабочего раствора на 1 кг корма (предварительно 1 г порошка растворяли

в 10 мл воды). В опытной группе к корму добавляли концентрат хлореллы «АльгоБустер» из расчёта 10 мл на 1 кг корма. Общая продолжительность кормленческого опыта составила 40 суток. Кормовые добавки вносили в рацион рыбы при каждом кормлении из расчета 10 мл на 1 кг корма. Кормление осуществляли ежедневно, 2 раза в сутки. Суточный рацион для рыбы, с учетом мощности биофильтра, составлял 1,0 % от общей

биомассы. Пересчет нормы кормления по мере роста мальков выполняли 1 раз за 14 суток, на основании результатов контрольных взвешиваний. Перед проведением опыта рыбу предварительно акклиматизировали в течение 14 суток. Во время опыта оценивали ихтиогематологические параметры, ключевые показатели среды выращивания рыбы, рыбоводно-биологические показатели (выживаемость, рост, продуктивность) и экологическую нагрузку. Отбор проб крови у рыб осуществлялся согласно установленной методике [14]. Биохимические показатели крови определяли на автоматическом биохимическом анализаторе Chem Well (Awareness Technology, США): аланинотрансфераза (АЛТ) – УФ-кинетическим методом, аспаратамино-трансфераза (АСТ) – УФ-кинетическим методом, щелочная фосфатаза – кинетическим методом, общий белок – биуретовым методом, альбумины – колориметрическим методом, креатинин – кинетическим методом Яффе, мочевины – ферментативным колориметрическим методом по Бертелоту, глюкоза – ферментативным глюкозооксидазным методом, общий билирубин – количественным определением методом Walters и Gerarde, общий холестерин – ферментативно-колориметрическим методом.

Для оценки физиологического состояния рыб определяли следующие гематологические показатели: количество эритроцитов и лейкоцитов, концентрацию гемоглобина, гематокрит, лейкоцитарную формулу [14]. Подсчет количества эритроцитов проводили в камере Горяева, лейкоцитов – по соотношению к эритроцитам в мазках крови [15], гематокрит определяли микроцентрифугированием с помощью микроцентрифуги Hettich Haematokrit 200, гемоглобин – гемихромным методом на фотометре ФБС-01-2 ("Микролаб 540").

К ключевым параметрам водной среды относили температуру, pH, содержание аммиака, нитритов, фосфатов, к рыбоводно-биологическим – выживаемость, рост, продуктивность. Экологический

след рассчитывали по биогенным элементам – азоту (N) и фосфору (P). Для расчетов использовали данные за период исследования: общую массу внесенного корма (M корма, г), содержание азота в корме (мг/г), содержание фосфора в корме (мг/г), массу выращенной рыбы (M рыба, г), начальную массу рыбы (M начальная, г), содержание азота в рыбе (N в рыбе 2.5-3.2% от сырой массы), содержание фосфора в рыбе (P в рыбе 0.4-0.7% от сырой массы) [8]. Для оценки различий между тремя группами по рыбоводно-биологическим показателям (табл.2) применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим post-hoc тестом Тьюки. Для сравнения двух групп (контроль 1 и опыт) по гематологическим и биохимическим показателям (табл. 3, 4) использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок после проверки нормальности распределения (критерий Шапиро–Уилка). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. В таблицах данные представлены как $M \pm m$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

За период исследования выживаемость во всех группах составила 90%, молодь форели активно питалась. Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали наличие статистически значимых различий между группами по конечной массе, абсолютному и относительному приросту, кормовому коэффициенту ($p < 0,001$). Post-hoc тест Тьюки выявил, что опытная группа достоверно превосходила обе контрольные группы по всем ростовым показателям ($p < 0,05$), тогда как различия между контрольными группами 1 и 2 не были статистически значимыми ($p > 0,05$). Максимальные рыбоводно-биологические показатели установлены для опытной группы молоди радужной форели, получавшей с кормом концентрат хлореллы ($p < 0,05$) (табл. 2).

Гематологический анализ был выполнен для контрольной группы 1 (стандартный корм) и опытной группы, так как предварительный анализ показал отсутствие достоверных различий между

контролем 1 и контролем 2 по изучаемым параметрам, что согласуется с данными рыбоводно-биологических показателей.

Результаты исследования гематологического статуса радужной форели представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Рыбоводно-биологические показатели исследуемых групп молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*)

Показатель	Группа		
	1 группа контроль	2 группа контроль	опытная группа
М начальная, г	5,8±0,3	5,5±0,5	5,9±0,3
М конечная, г	12,5±0,4	13,1±0,2	15,3±0,4 [#]
Начальная биомасса, г	117,4±1,7	112,7±2,3	119,3±1,9
Конечная биомасса, г	224,1±2,6	235,3±2,1	273,3±2,7 [#]
Абсолютный прирост, г	6,6±0,2	7,6±0,4	9,2±0,3 [#]
Относительный прирост, %	113,7±1,9	138,2±2,9	154,2±2,4 [#]
Норма кормления, %	1,0	1,0	1,0
Кормовой коэффициент	0,65±0,02	0,75±0,01	0,79±0,01 [#]
Съедено корма за 40 суток, г	34,8	35,8	35,8

Примечание: * – различия достоверны по сравнению с контролем 1 ($p < 0,05$); # – различия достоверны по сравнению с контролем 2 ($p < 0,05$). *

Таблица 3 – Гематологические показатели контрольной и опытной групп радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), (M±m)

Показатель, ед.изм.	Референтные значения ¹	Подопытные группы	
		Контрольная группа	Опытная группа
Гемоглобин, г/л	75-100	71,70±1,87	76,20±2,09*
Эритроциты, млн/мкл	1,2-1,92	1,108±0,060	1,219±0,070*
Лейкоциты, млн/мкл	20-26	21,40±0,65	23,20±0,66
Гематокрит, л/л ^{10²}	28-35	23,5±1,0	28,10±0,64*
MCV, фл	145,8–291,7	212,1±5,5	230,5±12,4
MCH, пг	39,1–83,3	64,7±2,3	62,5±2,7
Цветовой показатель	1,17–2,50	1,94±0,07	1,88±0,08

Примечание: ¹Референтные значения приведены по [15, 16].

* – $p \leq 0,05$ по *t*-критерию Стьюдента относительно группы контроля 1.

В опытной группе зафиксировано достоверное увеличение уровня Hb на 6,3% (76,2 г/л против 71,7 г/л в контроле). При этом в контрольной группе среднее значение находилось ниже физиологической нормы, тогда как в опытной группе показатель достиг нижней границы нормы, что свидетельствует об улучшении синтеза гемоглобина и усилении кислородтранспортного потенциала крови [13, 14].

Аналогичная динамика наблюдалась

и по количеству эритроцитов: в опытной группе зарегистрировано увеличение на 10% (1,219 млн/мкл против 1,108 млн/мкл), что позволило вывести этот показатель в зону физиологической нормы. Это указывает на стимуляцию эритропоэза под влиянием добавки [14]. Наиболее выраженные изменения отмечены по величине гематокрита: в опытной группе показатель Ht увеличился на 19,6% (28,1% против 23,5%) и достиг нижней границы нормы, что свидетельствует об

увеличении количества эритроцитов и улучшении их морфофункциональных характеристик. В опытной группе отмечалась тенденция к увеличению MCV, что может указывать на активацию эритропоэза с выходом в кровоток более молодых форм эритроцитов [13]. Среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH) оставалось стабильным, что свидетельствует о нормальном насыщении эритроцитов гемоглобином. Цветовой показатель оставался в пределах нормы во всех группах, указывая на нормохромный характер эритропоэза.

Таким образом, комплексное улучшение эритроцитарных показателей в опытной группе свидетельствует о значительном усилении кислородтранспортной функции крови, что создаёт благоприятные условия для интенсификации метаболизма и роста рыб.

В опытной группе отмечено достоверное увеличение общего количества

лейкоцитов на 8.4% (23,2 млн/мкл против 21,4 млн/мкл в контроле). Увеличение общего количества лейкоцитов, хотя и не достигло статистической значимости, может рассматриваться как тенденция к активации неспецифического клеточного иммунитета, что в условиях реального производства (при неизбежном контакте с условно-патогенной микрофлорой) способно повысить резистентность организма к инфекционным агентам и снизить риск вспышек бактериальных заболеваний [10].

Биохимический анализ сыворотки крови является высокоинформативным методом, позволяющим оценить функциональное состояние внутренних органов и интенсивность метаболических процессов в организме рыб. Биохимический анализ сыворотки крови выполнен для тех же групп (контроль 1 и опыт), результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Биохимические показатели сыворотки крови контрольной и опытной групп радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), ($M \pm m$)

Показатель, ед.измерения	Контрольная группа	Опытная группа
АлАТ, МЕ\л	8,26±0,14	8,38±0,16
АсАТ, МЕ\л	12,92±0,14	12,97±0,24
ЩФ, МЕ\л	34,54±0,70	34,41±0,59
Общий белок, г/л	31,94 ±0,53	33,56 ±0,87
Альбумины, г/л	11,91±0,17	12,16±0,3
Креатинин, мкмоль/л	60,50±0,48	59,52±0,79
Мочевина, ммоль/л	1,31±0,06	1,30±0,04
Глюкоза, ммоль/л	4,47±0,12	4,11±0,12*
Билирубин, мкмоль/л	1,371 ± 0,001	1,200 ± 0,001*
Холестерин, ммоль/л	0,065 ± 0,003	0,067 ± 0,002

Примечание: * – $p \leq 0,05$ по t -критерию Стьюдента относительно группы контроля.

Показатели цитолиза и функции печени (АлАТ, АсАТ, ЩФ) находились в пределах физиологической нормы и не имели достоверных различий между группами. Активность внутриклеточных ферментов была стабильной и низкой. Отсутствие повышения активности АсАТ, которая может указывать на стресс или повреждение мышечной ткани [4], является благоприятным признаком. Уровень щелочной

фосфатазы, фермента, связанного с процессами роста костной ткани и мембранами желчных протоков, также оставался стабильным, что свидетельствует об отсутствии холестатических явлений и нормальном фосфорно-кальциевом обмене [4]. Концентрация общего билирубина была минимальной; достоверное снижение в опытной группе (1,200 против 1,371 мкмоль/л) не выходит за пределы рефе-

рентных значений и, вероятно, связано с индивидуальной вариабельностью.

В опытной группе зафиксирована тенденция к увеличению концентрации общего белка (с 31,94 до 33,56 г/л, +5,1%) и альбуминов (с 11,91 до 12,16 г/л, +2,1%), однако различия статистически не значимы ($p>0,05$). Повышение уровня альбуминов косвенно может указывать на интенсификацию белкового синтеза в печени, что согласуется с более высокими темпами роста в этой группе [1, 4]. Повышение уровня общего белка и альбуминов создаст благоприятный белковый фон для синтеза защитных белков (иммуноглобулинов, лизоцима, факторов комплемента) гепатоцитами, что является важным звеном в системе гуморального иммунитета [12].

Уровень мочевины и креатинина оставался стабильным и не имел достоверных различий между группами. Стабильность этих показателей свидетельствует о сохранении выделительной функции почек и отсутствии нарушений азотистого обмена [4]. Отсутствие увеличения мочевины на фоне тенденции к повышению общего белка позволяет предположить, что дополнительный азот используется преимущественно на пластические нужды, а не катаболизируется.

Уровень глюкозы в крови опытной группы был достоверно ниже (4,11 против 4,47 ммоль/л, $p<0,05$), оставаясь в пределах физиологической нормы. Это может объясняться более активным использованием глюкозы в качестве энергетического субстрата в условиях интенсификации метаболизма [4]. Концентрация холестерина была сопоставима в обеих группах.

Таким образом, улучшение ключевых гематологических и биохимических параметров (эритропоз, лейкоцитарный профиль, белковый обмен) под действием функциональной кормовой добавки свидетельствует о повышении неспецифической резистентности организма форели. Это является фундаментальной основой для снижения эпизоотического риска, так как здоровый организм с высоким иммунным статусом менее восприимчив к патогенам.

В течение кормленческого опыта средняя температура воды во всех рыбководных ёмкостях находилась в диапазоне $14,7\pm0,3^{\circ}\text{C}$, pH – $6,64\pm0,3$, содержание NH_4^+ изменялось от 0 до 0,003 мг/л, NO_2^- находилось в пределах нулевых значений, содержание NO_3^- изменялось от 0 до 5 мг/л, содержание PO_4^{+} – от 1,5 до 5,0 мг/л.

Таблица 5 – Показатели биогенной нагрузки на окружающую среду по результатам кормленческого опыта

Показатели	Подопытные группы		
	1 группа контроль	2 группа контроль	Опытная группа
Поступление N и P с кормом			
М N, мг/г	3,2 $\pm$ 0,1	3,3 $\pm$ 0,1	3,3 $\pm$ 0,1
М P, мг/г	0,90 $\pm$ 0,02	0,90 $\pm$ 0,02	0,90 $\pm$ 0,02
Аккумуляция N и P в рыбе			
М N, мг/г	2,9 $\pm$ 0,3	3,4 $\pm$ 0,2	4,3 $\pm$ 0,2
М P, мг/г	0,50 $\pm$ 0,03	0,60 $\pm$ 0,01	0,80 $\pm$ 0,02
Поступление избытка N и P в окружающую среду			
М N, мг/л	0,30 $\pm$ 0,01	-0,10 $\pm$ 0,01	-1,00 $\pm$ 0,01
М P, мг/л	0,40 $\pm$ 0,02	0,30 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,01

Результаты расчета экологического следа по биогенным элементам представлены в таблице 5. Для каждого варианта кормленческого опыта рассчитан массовый баланс с учетом количества азота (N) и фосфора (P), которые поступили в систему с кормом и количеством, которое было усвоено рыбой. В контроле 1 избыток азота, в среднем, составил 0,3 мг/л, а P – 0,4 мг/л. В контроле 2 и в опыте весь азот аккумулировался в организме рыбы. Избыток P в контроле 2 составил 0,3 мг/л, а в опыте – 0,1 мг/л.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В результате проведенного исследования установлено, что включение в рацион молоди радужной форели функциональной кормовой добавки на основе микроводоросли *Chlorella vulgaris* (препарат «АльгоБустер») в дозе 10 мл/кг корма способствует:

1. Достоверному повышению рыбо-водно-биологических показателей: конечной массы, абсолютного и относительного прироста, кормового коэффициента по сравнению с контролем (стандартный корм) и группой, получавшей пробиотик «Ветом 1.1».

2. Улучшению гематологических параметров: увеличению уровня гемоглобина, количества эритроцитов и гематокрита до нижней границы физиологической нормы, что свидетельствует об активации эритропоэза и усилении кислородтранспортной функции крови.

3. Отсутствию негативного влияния на функциональное состояние печени и почек, подтвержденному стабильностью ферментов (АлАТ, АсАТ, ЩФ), креатинина и мочевины в сыворотке крови. Достоверное снижение глюкозы в опытной группе может указывать на более активное использование энергетических ресурсов в условиях ускоренного роста.

4. Снижению экологической нагрузки за счёт более полной ассимиляции азота и фосфора: в опытной группе отмечена максимальная аккумуляция биогенов в теле рыбы и минимальный их выброс в воду (избыток фосфора 0,1 мг/л, отрицательный баланс азота). Это подтверждает,

что функциональное кормление с использованием хлореллы способствует повышению усвояемости корма и снижению риска эвтрофикации среды выращивания рыбы.

5. Способствует снижению эпизоотических рисков, что подтверждается активацией эритро- и лейкопоэза, а также оптимизацией белкового обмена у радужной форели. Данные изменения лежат в основе повышения общей резистентности организма к воздействию неблагоприятных факторов и потенциальных патогенов.

Таким образом, предложенная стратегия интеграции функционального кормления с постоянным мониторингом ихтиогематологических и гидрохимических параметров представляет собой научно обоснованный, экологически устойчивый и экономически целесообразный подход к управлению современными аквакультурными системами. Результаты исследования открывают перспективы для широкого внедрения подобных решений в практику интенсивного рыбоводства, особенно при выращивании ценных пород, таких как радужная форель, в условиях обеспечения устойчивого развития аквакультуры. Полученные первичные данные по применению функциональных кормовых добавок и результатам расчета экологического следа по биогенным элементам могут служить основой для разработки методических рекомендации для рыбоводных хозяйств с целью повышения экологической безопасности и устойчивости технологического процесса выращивания высокопродуктивных объектов аквакультуры. Результаты исследования подтверждают возможность использования функционального кормления для уменьшения антропогенной нагрузки на водоемы за счёт оптимизации кормления и снижения экскреции питательных веществ. Возможность масштабирования интегрированной системы функционального кормления на прудовые, садковые и замкнутые системы водоснабжения может стать основой для перехода к «зелёному» рыбоводству в рамках нацио-

нальных и международных экологических стандартов.

THE SIGNIFICANCE OF FUNCTIONAL FEEDING FOR REDUCING EPIZOOTIC AND ENVIRONMENTAL RISKS IN AQUACULTURE

Karpenko L.Yu.¹ - Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biochemistry and Physiology, (ORCID 0000-0002-2781-5993); **Polistovskaya P.A.**^{1*} - Ph.D. in Biology, Assoc. Prof. of the Department of Biochemistry and Physiology, ORCID 0000-0003-1977-0913); **Sidorova N.A.**² - Candidate of Sciences. Biol. sciences, assoc., assoc. Department of Zoology and Ecology (ORCID 0000-0002-9659-9235); **Savushkin A.I.**² - scientific. comp. (ORCID 0009-0003 -5202)

¹ -St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

² -Petrozavodsk State University

*p.polistovskaya@mail.ru

Financing: The study was supported by grant No. 322-23 of the Russian Science Foundation (Agreement No. 23-16-20026), conducted jointly with the Republic of Karelia with funding from the Venture Investment Fund of the Republic of Karelia (VIF RK).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1.Ahmad, M.T. Applications of microalga *Chlorella vulgaris* in aquaculture / M.T. Ahmad, M. Shariff, F.M. Yusoff et al. // Reviews in Aquaculture. - 2020. - 12. - P. 328-346.
- 2.Bureau, D.P. Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations / D.P. Bureau, K. Hua // Aquaculture Research. - 2010. - 41(5). - P. 777-792.
- 3.Cabello, F. C. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture / F. C. Cabello // Environ Microbiol. - 2006. - 8(7). - P. 1137-1144.
- 4.Dawood, M.A.O. The potential role of nano-selenium and vitamin C on the performances of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) / M.A.O. Dawood, M.Zommara, N.M.

Eweedah, A.I. Helal, M.A. Aboel-Darag // Environ. Sci. Pollution Res. - 2020. DOI:org/10.1007/s11356-020-07651-5.

5.Diana, J.S. Aquaculture Production and Biodiversity Conservation Get access Arrow / J.S. Diana // BioScience. - 2009. - 59 (1). - P. 27-38. DOI: org/10.1525/bio.2009.59.1.7.

6.Ekasari, J. Improvement of biofloc quality and growth of *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc systems by *Chlorella* addition / J. Ekasari, U.A. Nugroho, N. Fatimah, D. Angela, Y.P. Hastuti, G.S.J. Pande, F.M.I. Natrah // Aquac. Int. - 2021. - 29. - P. 2305-2317. DOI:10.1007/s10499-021-00750-1.

7.Islam, M. S. (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. Marine Pollution Bulletin, 50(1), 48–61.

8.Moreno, M.The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems / M. Moreno, F. Semprucci, Vezzulli L., Balsamo M., Fabiano M., Albertelli G. // Ecological Indicators, 2011.11(2). P. 328-336, DOI.org/10.1016/j.ecolind.2010.05.011

9.Rico A., Phu T. M., Satapornvanit K., Min J., Shahabuddin A.M., Patrik J.G et al. Use of veterinary medicines, feed additives and probiotics in four major internationally traded aquaculture species farmed in Asia // Aquaculture, 2013. № 412. P. 231-243, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.07.028.

10.Rieger, A.M., & Barreda, D.R. (2011). Antimicrobial mechanisms of fish leukocytes. Developmental & Comparative Immunology, 35(12), 1238-1245

11.Silva C, Yáñez E, Martín-Díaz ML, Riba I, DelValls TA. Integrated ecotoxicological assessment of marine sediments affected by land-based marine fish farm effluents: physicochemical, acute toxicity and benthic community analyses // Ecotoxicology, 2013. № 22(6). P. 996-1011. DOI: 10.1007/s10646-013-1085-6.

12.Yano, T. The Nonspecific Immune System: Humoral Defense / T. Yano // Fish Physiology / eds. G. Iwama, T. Nakanishi. - San Diego: Academic Press, 1996. - Vol.

15. – P. 105-157. – ISBN 9780123504395. – DOI: 10.1016/S1546-5098(08)60273-3.

13. Карпенко Л. Ю., Полистовская П. А., Енукашвили А. И., Балыкина А. Б. Влияние кадмия на показатели углеводного обмена у карпа // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2020. № 1. С. 239-240.

14. Методические указания по проведению гематологического обследования рыб" (утв. Минсельхозпродом России 02.02.1999 N 13-4-2/1487).

15. Юсефи, М. Применение лекарственных растений в аквакультуре / М. Юсефи, А.А. Никишов, Ю.А. Ватников, Е. В. Куликов. - СПб.: Лань, 2023. -140 с.

REFERENCES

1. Ahmad, M.T., Shariff, M., Yusoff, F.M., et al. (2020). Applications of microalga *Chlorella vulgaris* in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, *12*(3), 328–346.
2. Bureau, D.P., & Hua, K. (2010). Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, *41*(5), 777–792.
3. Cabello, F.C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture. *Environmental Microbiology*, *8*(7), 1137–1144.
4. Dawood, M.A.O., Zommara, M., Eweedah, N.M., Helal, A.I., & Aboel-Darag, M.A. (2020). The potential role of nano-selenium and vitamin C on the performances of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07651-5>
5. Diana, J.S. (2009). Aquaculture production and biodiversity conservation. *BioScience*, *59*(1), 27–38. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.7>
6. Ekasari, J., Nugroho, U.A., Fatimah, N., Angela, D., Hastuti, Y.P., Pande, G.S.J., & Natrah, F.M.I. (2021). Improvement of bio-floc quality and growth of *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc systems by *Chlorella* addition. *Aquaculture International*, *29*(1), 2305–2317.
7. Islam, M.S. (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage

aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: Review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, *50*(1), 48–61.

8. Moreno, M., Semprucci, F., Vezzulli, L., Balsamo, M., Fabiano, M., & Albertelli, G. (2011). The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems. *Ecological Indicators*, *11*(2), 328–336. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.05.011>

9. Rico, A., Phu, T.M., Satapornvanit, K., Min, J., Shahabuddin, A.M., Patrik, J.G., et al. (2013). Use of veterinary medicines, feed additives and probiotics in four major internationally traded aquaculture species farmed in Asia. *Aquaculture*, *412*(1), 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.028>

10. Rieger, A.M., & Barreda, D.R. (2011). Antimicrobial mechanisms of fish leukocytes. *Developmental & Comparative Immunology*, *35*(12), 1238–1245.

11. Silva, C., Yáñez, E., Martín-Díaz, M.L., Riba, I., & DelValls, T.A. (2013). Integrated ecotoxicological assessment of marine sediments affected by land-based marine fish farm effluents: Physicochemical, acute toxicity and benthic community analyses. *Ecotoxicology*, *22*(6), 996–1011.

12. Yano, T. (1996). The nonspecific immune system: Humoral defense. In G. Iwama & T. Nakanishi (Eds.), *Fish Physiology* (Vol. 15, pp. 105–157). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60273-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60273-3)

13. Karpenko, L.Yu., Polistovskaya, P.A., Enukashvili, A.I., & Balykina, A.B. (2020). Influence of cadmium on carbohydrate metabolism parameters in carp. *Issues of Regulatory Legal Framework in Veterinary Medicine*, (1), 239–240. [in Russian]

14. Ministry of Agriculture and Food of Russia. (1999). Methodological guidelines for conducting hematological examination of fish (No. 13-4-2/1487). Moscow. [in Russian]

15. Yusefi, M., Nikishov, A.A., Vatinikov, Yu.A., & Kulikov, E.V. (2023). The use of medicinal plants in aquaculture. Lan Publishing House. [in Russian]

УДК: 619:615.9:616-079:577.2

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.148

ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ СОЧЕТАННОГО МИКОТОКСИКОЗА ПО ОЦЕНКЕ ЭКСПРЕССИИ ПРОВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ КРЫС

Тарасова Е.Ю. * – канд. биол. наук, зав. лабораторией ветеринарной санитарии (ORCID 0000-0002-9056-5798)

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности»

* evgenechka1885@gmail.com

Ключевые слова: сочетанный микотоксикоз, белые крысы, воспаление, селезенка, провоспалительные цитокины, профилактические комплексы

Key words: combined mycotoxicosis, white rats, inflammation, spleen, proinflammatory cytokines, prophylactic complexes

Финансирование: 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 № 4/2025-ПД-ВНИВИ)

Поступила: 04.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Микотоксины являются частыми загрязнителями кормов для животных. Наиболее распространенными микотоксинами в кормах для животных являются зеараленон, Т-2 токсин, дезоксиниваленон, афлатоксины и т.д. В этой статье был рассмотрен молекулярный механизм комбинированного воздействия Т-2 токсина, афлатоксина В1 и зеараленона. Целью данного исследования являлось изучение влияния комплекса микотоксинов на степень экспрессии провоспалительных цитокинов (IL-1 β , IL-6, IFN- γ) мРНК селезенки белых крыс и оценка защитного потенциала разработанных комплексных средств для снижения индукции воспалительных процессов. Опыты проведены на 80 белых крысах. Для воспроизведения микотоксикоза животные с основным рационом в течение 21 суток получали кристаллические микотоксины: афлатоксин В1 – 2,5 мг/кг; Т-2 токсин – 5 мг/кг; зеараленон – 2,0 мг/кг корма. В качестве средств защиты использовали три рецептуры профилактических комплексов, обладающих сорбционными, антиоксидантными, гепатопротекторными и иммуномодулирующими свойствами. Экспрессию мРНК провоспалительных цитокинов (IL-1 β , IL-6, IFN- γ) определяли методом количественной ПЦР в реальном времени в образцах селезенки. Экспрессия генов оценивалась по количеству копий кДНК в исследуемом материале с учётом нормирования показателя относительно количества копий ДНК

в той же пробе. Установлено, что ассоциированное воздействие микотоксинов вызывает усиление экспрессии генов провоспалительных цитокинов на уровне мРНК селезенки. Разработанные комплексы модулировали выработку провоспалительных цитокинов. Наиболее выраженный иммуномодулирующий потенциал показал профилактический комплекс на основе галлуазита, силимарина, β -глюканов и метионина. Полученные данные свидетельствуют, что данный профилактический комплекс является перспективным и требует дальнейшего изучения в качестве средства профилактики смешанных микотоксикозов у продуктивных животных.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Микотоксины – это низкомолекулярные, высокостабильные вторичные метаболиты, продуцируемые микроскопическими грибами, принадлежащими к родам *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* и т.д. Эти соединения обладают широким спектром химических структур и токсичности, включая тератогенное, мутагенное, канцерогенное, нефротоксическое, гепатотоксическое, иммунотоксическое действие и представляя значительную опасность для здоровья человека и животных [1-3].

В глобальном масштабе от 60% до 80% сельскохозяйственных культур загрязнены микотоксинами по всей пищевой цепи. Чувствительность к микотоксинам варьирует в зависимости от вида и возрастной группы, при этом молодые особи более чувствительны из-за неполного развития органов [4].

Учитывая глобальный рост содержания микотоксинов в кормах и пищевых продуктах, зафиксированный за последнее десятилетие, актуальной задачей остается поиск эффективных комплексных средств профилактики микотоксикозов [5].

Несмотря на многолетние исследования и внедрение передовых методов ведения сельского хозяйства и производства в пищевой цепи, наличие микотоксинов остается значимой проблемой. Все чаще изучаются комбинированные токсикологические эффекты от одновременного воздействия микотоксинов. В настоящее время афлатоксины, Т-2 токсин, зеараленон, дезоксиниваленон и т.д. считаются наиболее важными микотоксинами с точки зрения токсичности [6-9].

Афлатоксин В₁ считается наиболее опасным микотоксином из-за его генотоксических, канцерогенных свойств. Он относится к числу наиболее мощных мутагенных и канцерогенных веществ. Хроническое воздействие вызывает рак печени, снижение иммунитета и задержку роста и развития, в то время как высокие дозы вызывают острые симптомы, вплоть до летального исхода [1, 10].

Т-2 и НТ-2 токсины также регулярно обнаруживаются в зерновых культурах. Их хроническое воздействие вызывает общую токсичность, гемато- и иммуно-токсичность, а также рвоту у животных при высокой концентрации. Тиольная группа в Т-2 токсине делает это соединение потенциальным ингибитором транскрипции РНК и трансляции белков. Он также предотвращает пролиферацию лимфоцитов, изменяя физиологию мембраны, нарушая выработку антител и изменяя рост дендритных клеток [3]. Считается, что Т-2 токсин связывает и инактивирует функцию пептидилтрансферазы в месте транскрипции, что приводит к подавлению синтеза белка. 60S рибосомальная система является наиболее известной молекулярной мишенью трихотеценов, особенно Т-2 токсина, и блокирует инициацию полипептидной цепи. Ингибирующее действие Т-2 токсина на уровне транскрипции и трансляции оказывает заметное влияние на растущие клетки, например, клетки слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, костный мозг, гемопоэтические стволовые клетки и т.д. [11].

Зеараленон является распространенным загрязнителем кукурузы и других зерновых культур. Свиноматки являются наиболее чувствительным видом к его

эстрогенной активности. Структура зеараленона аналогична эстрогену, и он конкурирует с 17 β -эстрадиолом за связывание с цитозольными эстрогенными рецепторами, вызывая репродуктивные проблемы и бесплодие. Более того, он обладает цитотоксическим и генотоксическим действием *in vivo* и *in vitro*, вызывает фрагментацию ДНК, образование микроядер в костном мозге и хромосомные aberrации, вызывает гепатотоксичность, нефротоксичность и нарушения в работе иммунной системы [12].

Учитывая множество патологических эффектов микотоксинов, крайне важно принимать меры по защите сельскохозяйственных животных от их воздействия. Накопление микотоксинов в зерне и комбикормах следует сводить к минимуму путем внедрения надлежащих сельскохозяйственных практик и подходящих условий хранения, но полное предотвращение образования микотоксинов практически невозможно [13]. Эффективная борьба с микотоксикозами животных в значительной степени заключается в изучении ответа организма на интоксикацию и применении профилактических и терапевтических средств [14]. Кроме классических подходов выявления последствий интоксикации и их снижения существуют методические подходы, основанные на стремительно развивающейся области науки «метаболомике» [15, 16]. В нашем случае выбран подход к изучению уровня экспрессии маркеров развития воспалительного процесса, а именно провоспалительных цитокинов.

Система цитокинов представляет собой универсальную, полиморфную, регуляторную сеть медиаторов, предназначенных для контроля процессов пролиферации, дифференцировки и функциональной активности клеточных элементов в кроветворной, иммунной и в других гомеостатических системах организма [17]. Все цитокины, а их в настоящее время известно более 30, по структурным особенностям и биологическому действию делятся на несколько самостоятельных групп, из них провоспалительные цитоки-

ны играют важную роль в иммунном ответе тканей и обеспечивают мобилизацию воспалительного ответа [18]. Однако информация о влиянии загрязненных сразу несколькими

микотоксинами (афлатоксином В₁, зеараленоном и Т-2 токсином) рационов на экспрессию, связанных с воспалением генов селезенки, немногочисленна. На основании вышеизложенного важным вопросом в отношении микотоксинов является детальная характеристика их молекулярного механизма действия и влияния на здоровье животных и человека, что необходимо для создания эффективной стратегии профилактики и лечения микотоксикозов [19, 20].

В связи с этим целью данного исследования являлось изучение влияния комплекса микотоксинов на степень экспрессии провоспалительных цитокинов (IL-1 β , IL-6, IFN- γ) мРНК селезенки белых крыс и оценка защитного потенциала разработанных комплексных средств для снижения индукции воспалительных процессов. Ранее нами было изучено действие разработанных профилактических комплексов на клинический статус, гемато-биохимические показатели крови, структуру внутренних органов животных при воздействии микотоксинов [21, 22].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Объектами исследования являлись комплексы препаратов, обладающие сорбционными, антиоксидантными, иммуномодулирующими, гепатопротекторными свойствами, микотоксины (Т-2 токсин, афлатоксин В₁, зеараленон), подопытные животные (белые крысы).

Белые крысы массой 150-170 г были распределены на восемь групп по десять крыс в каждой. Биологическим контролем служила первая группа крыс, крысам второй-пятой групп с кормом задавали микотоксины: афлатоксин В₁ – 2,5 мг/кг; Т-2 токсин – 5 мг/кг; зеараленон – 2,0 мг/кг корма. Дозы микотоксинов выбраны для воспроизведения подострого Т-2-, афла-, зеараленонмикотоксикоза с ярко выра-

женной клинической картиной. Крысы третьей-пятой групп дополнительно к токсичному рациону получали разработанные профилактические комплексы (соответственно первая (β -глюканы, шрот расторопши, витамин Е, аскорбиновая кислота, левамизол), вторая (бентонит, янтарная кислота, метилурацил; витамин А, пробиотический препарат «Флорин»), третья (галлуазит, метионин, β -глюканы, шрот расторопши)) в дозе 0,25 % от рациона. Шестой - восьмой группе крыс задавали первый, второй, третий профилактические комплексы в дозе 0,25 % дополнительно к основному рациону с целью оценки безвредности на молекулярном уровне. Экспериментальный период длился три недели.

Экспрессию мРНК провоспалительных цитокинов (IL-1 β , IL-6, и IFN- γ) определяли методом ОТ-ПЦР в реальном времени в образцах селезенки, извлеченных в конце эксперимента и подвергнутых заморозке (минус 70 °С). Для определения индукции провоспалительных цитокинов была выбрана селезенка, потому что она является вторичным (периферическим) лимфоидным органом,

играющим ведущую роль в воспалительной реакции и развитии приобретенного иммунитета. Тканевую РНК экстрагировали с помощью набора для экстракции РНК «Рибо-преп» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия). Лизис остатков ДНК в растворе РНК после выделения нуклеиновых кислот осуществляли путём добавления фермента «ДНКазы» в препарат, выделенных нуклеиновых кислот.

Нормализацию количества нуклеиновых кислот производили по результатам амплификации хромосомной ДНК (ген гамма-интерферона). Схожий подход был реализован в работах W.T. Porter и соавт. (2021) и А.А. Кожабад и соавт. (2021) [23, 24]. Обратную транскрипцию общей РНК проводили с использованием специфического обратного праймера с добавлением в основную смесь для ПЦР фермента MMLV-ревертазы (набор «Риверта-Л» (ЦНИИ Эпидемиологии, Россия)).

Реакции ПЦР с обратной транскрипцией в реальном времени проводили с использованием набора реагентов для проведения ПЦР-РВ (ЗАО «Синтол», Россия).

Таблица 1- Олигонуклеотидные праймеры для выбранных цитокинов

Специфичность генов	Олигонуклеотидные последовательности(5'→3')	Идентификационный номер
Интерлейкин 1- β F	tctccagtcaggcttctctgtg	NM_031512.2
Интерлейкин 1- β R	ctcctcactgtcgaaagctgcta	
Интерлейкин 1- β P	(ROX) tgaagcagctatggcaactgtccc (BHQ2)	
Интерлейкин-6 F	aggaacgaaagtaactccatctg	NM_012589.2
Интерлейкин-6 R	ttccttgatgactaacttctcagca	
Интерлейкин-6 P	(R6G) agacttcagccagttgccttctg (BHQ1)	
Интерферон- γ F	ccatcagcaacaacataagtgtcat	NM_138880.3
Интерферон- γ R	tgaacttgccgatgtca	
Интерферон- γ P	(FAM) atcactaacttctcagcaacagtaagcaaa (BHQ1)	

Примечание: 1 F – прямой праймер; 2 R – обратный праймер; 3 P – зонд.

Условия амплификации были следующими: 37 °С в течение 30 мин, 95 °С в течение 5 мин, 40 циклов 95 °С в течение 15 с, 55 °С в течение 30 с, 72 °С в течение 5 с. Экспрессия генов оценивалась по количеству копий кДНК в исследуемом материале.

Специфические компоненты ПЦР основывались на генетической последовательности интерлейкинов и интерферона белых крыс.

Нуклеотидная последовательность, используемых олигонуклеотидов, показана в таблице 1.

ОТ-ПЦР проводили с использованием детектирующего амплификатора CFX 96 «Bio-Rad».

При обработке цифровых данных вычисляли следующие описательные статистики: среднеарифметическую (М) и стандартное отклонение ($\pm Sd$). Статистическую значимость межгрупповых отличий оценивали с использованием теста Манна–Уитни ($\alpha = 0,05$) с коррекцией р-критерия при помощи поправки на множественные сравнения Бонферрони. При обработке данных использовали программы Statistica 6.0 и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

У крыс, получавших корм, контаминированный микотоксинами, экспрессия мРНК IL-1 β , IL-6, IFN- γ была повышена

($p < 0,01$), что подтверждено пониженными значениями порогового цикла относительно группы биологического контроля (таблица 2).

Было показано, что предлагаемые профилактические комплексы ингибируют экспрессию генов IL-1 β , IL-6 и IFN- γ селезенки белых крыс, получавших Т-2 токсин, зеараленон и афлатоксин В₁. По IL-1 β значение порогового цикла снизилось в третьей, четвертой и пятой группах на 14,38 % ($p < 0,05$), 12,36 % и 7,06 % относительно группы биологического контроля, во второй группе – 20,77 % ($p < 0,01$) соответственно; по IL-6 и IFN γ – 15,0 % ($p < 0,05$), 17,9 % ($p < 0,05$), 8,7 % и 15,9 % ($p < 0,05$), 12,48 %, 7,89 %, в группе токсического контроля – 25,0 % ($p < 0,01$) и 28,75 % ($p < 0,01$).

Результаты амплификации мРНК провоспалительных цитокинов представлены на рисунке 1.

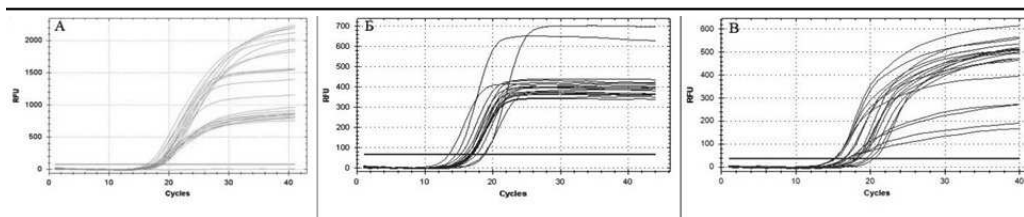
Эти результаты подтверждают наличие у разработанных профилактических комплексов противовоспалительных эффектов, наиболее выраженных у комплекса, в состав которого входит галлуазит, метионин, β -глюканы, шрот расторопши.

Влияние разработанных профилактических комплексов на экспрессию мРНК генов селезенки белых крыс, связанных с воспалением при смешанном микотоксикозе, представлено на рисунке 2.

Таблица 2- Циклы экспрессии провоспалительных цитокинов

Группа	Цикл провоспалительных цитокинов в ПЦР-РВ		
	IL-1 β	IL-6	IFN- γ
1	18,89 $\pm$ 0,95	17,41 $\pm$ 0,61	19,66 $\pm$ 1,12
2	16,42 $\pm$ 0,74**	14,80 $\pm$ 0,23**	16,02 $\pm$ 0,87**
3	17,18 $\pm$ 0,86*	15,84 $\pm$ 0,38*	17,64 $\pm$ 0,96*
4	17,42 $\pm$ 0,96	15,53 $\pm$ 0,67*	18,08 $\pm$ 0,72
5	18,05 $\pm$ 0,73	16,52 $\pm$ 0,22	18,66 $\pm$ 0,54
6	18,47 $\pm$ 1,02	17,53 $\pm$ 0,75	19,08 $\pm$ 1,08
7	18,51 $\pm$ 0,99	17,25 $\pm$ 0,91	19,03 $\pm$ 0,79
8	18,54 $\pm$ 0,82	17,34 $\pm$ 0,89	19,24 $\pm$ 0,55

Примечание: 1 * – $p < 0,05$; 2 ** – $p < 0,01$.



А - амплификация IL-1 β ; Б - амплификация IL-6; В - амплификация IFN γ

Рисунок 1 – Результаты ОТ-ПЦР мРНК провоспалительных цитокинов.

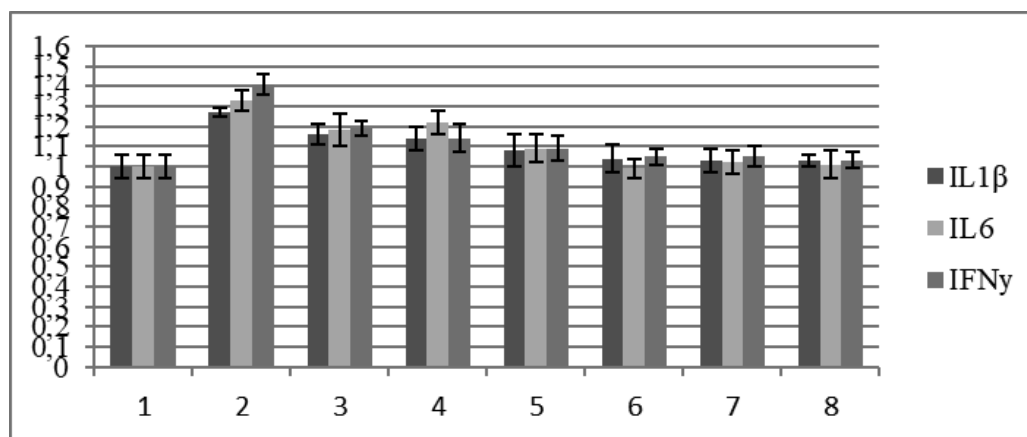


Рисунок 2 – Значения экспрессии провоспалительных цитокинов у белых крыс, выраженные в относительных единицах [AU].

Из рисунка 2 видно, что выработка цитокинов и воспалительная реакция селезенки вызваны потреблением корма, содержащего Т-2 токсин, зеараленон и афлатоксин В₁. Добавление профилактических комплексов модулирует воспалительный ответ у белых крыс за счет изменения экспрессии провоспалительных цитокинов селезенки.

Pistol G.C. и соавт. (2015) обнаружили, что зеараленон повышал экспрессию и синтез провоспалительных цитокинов (TNF- α , IL-8, IL-6, IL-1 β) и не влиял на цитокины IFN- γ , IL-4 и IL-10 в селезенке. Авторы делают вывод, что воспалительная реакция может быть следствием активации сигнального пути JNK, а не p-38MAPK и NF-kB, экспрессия генов и белков которых подавляется действием зеараленона [25].

В исследованиях Wang Y.C. и соавт. (2012) зеараленон приводил к повыше-

нию уровня IL-2 и IFN- γ и снижению экспрессии гена IL-6 в стимулированных лимфоцитах селезенки домашней птицы [26], Choi et al. (2012) снижению уровня IL-1, IL-10 и IFN- γ в селезенке крыс, вакцинированных или невакцинированных против парвовируса [27].

Результаты J. Wang и соавт. (2025) [28] выявили выраженную токсичность и канцерогенность афлатоксина В₁, подтвержденные повышением уровня TNF- α и IL-6.

Исследования [29-31] генотоксичности показали, что *in vitro* токсичность Т-2 вызывает однопочечные разрывы ДНК, которые анализируются в первичных лимфоцитах тимуса, гепатоцитов и селезенки мышей BALB/c.

После образования пор в плазматической мембране клеток печени под воздействием афлатоксина В₁ высвобождаются провоспалительные медиаторы, такие как

IL-1 β и IL-18, которые стимулируют и привлекают нейтрофилы в ткань. Этот процесс приводит к инфильтрации нейтрофилов, набуханию клеток, гибели клеток и воспалительному поражению печени, известному как пироптоическое поражение печени. Более того, наблюдалось повышение уровня экспрессии IL-1 β и расщепленной каспазы-1, что указывает на то, что AFB1 не только вызывал некроз печеночной ткани, но и запускал пироптоз в гепатоцитах [10, 28].

Выявленные различия в наблюдаемых эффектах от ранее проведенных исследований могут быть вызваны различной токсичностью исследуемых микотоксинов, их сочетанным воздействием, высокими дозами и видом животных.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Наиболее эффективным в снижении токсического действия T-2 токсина, зearаленона и афлатоксина B₁ по параметрам ингибирования экспрессии генов провоспалительных цитокинов в селезенке оказался профилактический комплекс, включающий галлуазит, метионин, β -глюканы, шрот рапсоропши.

Защитный эффект разработанной нами композиции можно объяснить сорбционными, антиоксидантными, иммуномодулирующими, гепатопротекторными свойствами, входящими в ее состав компонентов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что разработанный в ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» профилактический комплекс является перспективным и требует дальнейшего изучения в качестве средства профилактики смешанных микотоксикозов у продуктивных животных. Разработанные комплексы не оказывали негативного влияния на индукцию провоспалительных цитокинов при добавлении их к основному рациону с целью изучения безвредности.

Выполнение текущего исследования позволило подобрать генетические маркеры провоспалительных цитокинов и апробировать их на биологических образцах животных, что является основой для выявления метаболического ответа при ис-

следовании воздействия микотоксинов на организм животных, и определения эффективности профилактики и терапии микотоксикозов. Интеграция этого подхода в профилактические стратегии имеет значительные перспективы для снижения негативного воздействия микотоксинов.

STUDY OF THE PROTECTIVE POTENTIAL OF MEANS FOR THE PREVENTION OF COMBINED MYCOTOXICOSIS BY ASSESSING THE EXPRESSION OF PROINFLAMMATORY CYTOKINES IN RATS

Tarasova E.Yu. * – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Veterinary Sanitation (ORCID 0000-0002-9056-5798)

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

* evgenechka1885@gmail.com

Funding: This work was supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, research organizations, and other organizations to support human resource development plans to encourage their research and teaching staff to defend doctoral dissertations and conduct research. (Agreement No. 4/2025-PD-VNIVI, dated December 22, 2025)

ABSTRACT

Mycotoxins are common contaminants in animal feed. The most common mycotoxins in animal feed include zearalenone, T-2 toxin, deoxynivalenol, aflatoxins, and others. This article examined the molecular mechanism of the combined effects of T-2 toxin, aflatoxin B₁, and zearalenone. The aim of this study was to investigate the effect of a mycotoxin complex on the expression level of proinflammatory cytokines (IL-1 β , IL-6, IFN- γ) mRNA in the spleen of white rats and to evaluate the protective potential of the developed complex agents to reduce the induction of inflammatory processes. The experiments were conducted on 80 white rats. To reproduce mycotoxicosis, animals received crystalline mycotoxins with their ba-

sal diet for 21 days: aflatoxin B1 - 2.5 mg/kg; T-2 toxin - 5 mg/kg; zearalenone - 2.0 mg/kg of feed. Three formulations of prophylactic complexes with sorption, antioxidant, hepatoprotective and immunomodulatory properties were used as protective agents. Expression of mRNA of proinflammatory cytokines (IL-1 β , IL-6, IFN γ) was determined by quantitative real-time PCR in spleen samples. Gene expression was assessed based on the number of cDNA copies in the studied material, normalizing the indicator relative to the number of DNA copies in the same sample. It was found that associated exposure to mycotoxins causes increased expression of proinflammatory cytokine genes at the mRNA level in the spleen. The developed complexes modulated the production of proinflammatory cytokines. The prophylactic complex based on halloysite, silymarin, β -glucans, and methionine demonstrated the most pronounced immunomodulatory potential. The obtained data indicate that this prophylactic complex is promising and requires further study as a means of preventing mixed mycotoxicoses in food-producing animals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gasperini, A. M. Unravelling the impact of mycotoxins on gut health: implications for inflammatory bowel disease / A. M. Gasperini, D. Faccenda, E. Garcia-Cela // *Current Opinion in Food Science*. – 2025. – Vol. 64. – 101316. – <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101316>.
2. Оценка общей токсичности кормов республики Татарстан / З. Х. Сагдеева, О. К. Ермолаева, А. Р. Валиев [и др.] // *Ветеринарный врач*. – 2020. – № 5. – С. 59-65. – <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2020-5-59-65>.
3. Поиск эффективных адсорбентов Т-2 токсина / Е. Ю. Тарасова, Э. И. Семенов, А. Р. Валиев, Л. Е. Матросова // *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. – 2019. – Т. 5, № 3(19). – С. 322-329. – <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-3-322-328>.
4. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25% / M. Eskola, G. Kos, C. T. Elliott [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2020. – Vol. 60 (16). – P. 2773–2789. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>.
5. Detriment of mycotoxin contamination in feed and nutrition-based prevention and control strategies: A review / S. Fan, K. Teng, J. Li [et al.] // *Toxicon*. – 2026. – Vol. 273. – 108996. – <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2026.108996>.
6. Эффективность энтеросорбентов различной природы при полимикотоксикозе свиней / Н. Н. Мишина, Э. И. Семенов, А. Ф. Хасиятуллин [и др.] // *Ветеринария*. – 2020. – № 11. – С. 49-53. – <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.11.49-53>.
7. Бурдов, Л. Г. О результатах анализа кормов на содержание микотоксинов / Л. Г. Бурдов, Л. Е. Матросова // *Ветеринарный врач*. – 2011. – № 2. – С. 7-9.
8. Влияние комбинированного действия микотоксинов и ионизирующего излучения на аллергическую сенсibilизацию / Э. И. Семенов, Н. Н. Мишина, А. Р. Валиев [и др.] // *Ветеринарный врач*. – 2023. – № 2. – С. 60-69. – https://doi.org/10.33632/1998-698X.2023_2_60.
9. Диагностика и ветеринарная помощь при отравлениях животных : (Общие принципы) / А. М. Трemasова, И. И. Идиятов, Э. И. Семенов [и др.]. – Казань : Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, 2022. – 236 с.
10. Utilizing lemon peel extract and its nano-emulsion to control aflatoxin toxicity in rats / B. A. Sabry, A. N. Badr, K. A. Ahmed [et al.] // *Food Bioscience*. – 2022. – Vol. 50. – 101998. – <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101998>.
11. An update on T2-toxins: metabolism, immunotoxicity mechanism and human assessment exposure of intestinal microbiota / J. Zhang, X. Liu, Y. Su, T. Li // *Heliyon*. – 2022. – Vol. 8. – e10012. – <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10012>.
12. Baicalin protects against zearalenone-

- induced chicks liver and kidney injury by inhibiting expression of oxidative stress, inflammatory cytokines and caspase signaling pathway / J. Xu, S. Li, L. Jiang [et al.] // International Immunopharmacology. – 2021. – Vol. 100. – 108097. – <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.108097>.
13. Review: Strategies and technologies in preventing regulated and emerging mycotoxin co-contamination in forage for safeguarding ruminant health / A. Gallo, A. Catellani, F. Ghilardelli [et al.] // Animal. – 2024. – Vol. 18. – 101280. – <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101280>.
14. Editorial: Predicting, managing, and minimizing mycotoxicosis in farm animals / J.A. Maguey-González, J.D. Latorre, S. Gomez-Rosales, A. Mendez-Albores // Front. Fungal Biol. – 2024. – Vol. 5. – 1519411. – <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1519411>.
15. Evaluation of Untargeted Metabolomic and Mycotoxin Profiles in Corn Silage and High-Moisture Corn / M. Lapris, V. Novara, M. Masseroni [et al.] // Toxins (Basel). – 2025. – Vol. 17(5). – 214. <https://doi.org/10.3390/toxins17050214>.
16. Proinflammatory cytokines interleukin-18 and interleukin-6 mediate anorexia induction by trichothecene deoxynivalenol and its congeners / C. Zhou, Z. Qin, H. Zhang [et al.] // Front. Vet. Sci. – 2024. – Vol. 11. – 1521424. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1521424>.
17. The flavonoid chrysin protects against zearalenone induced reproductive toxicity in male mice / L. Del Fabbro, C.R. Jesse, M.G. de Gomes [et al.] // Toxicol. – 2019. – Vol. 165. – P. 13-21.
18. Fungi and mycotoxin types, toxicity, mechanisms, and control of mycotoxin contamination: a review / Z. Zhang, X. Qi, Y. Wang [et al.] // Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. – 2025. – Vol. 42(12). – P. 1692-1716. – <https://doi.org/10.1080/19440049.2025.2575980>.
19. Mycotoxin Contamination: Occurrence, Biotransformation, Pathogenic Mechanisms, and Strategies for Nutritional Intervention / C. Yao, M. Ye, C. Wang [et al.] // Molecules. – 2025. – Vol. 30(19). – P. 3860. <https://doi.org/10.3390/molecules30193860>.
20. Effects of lipoic acid on immune function, anti-oxidant defense system, and inflammation-related gene expression in broiler chickens fed aflatoxin-contaminated diets / Y. Li, Q. Ma, L. Zhao [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2014. – Vol. 15. – P. 5649-5662.
21. The effectiveness of a feed additive with gallosite in rat mycotoxicosis / E. Tarasova, L. Matrosova, G. Kashevarov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 548. – 02014. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454802014>.
22. Efficiency of the complex mycotoxin adsorbent "Galluasorb" in combined mycotoxicosis of pigs / E. Tarasova, L. Matrosova, S. Tanaseva [et al.] // Bio Web of Conferences : International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024). – 2024. – 07019. – <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413007019>.
23. Normalization of SARS-CoV-2 viral load via RT-qPCR provides higher-resolution data for comparison across time and between patients / W.T. Porter, E.J. Kelley, J.R. Bowers, D.M. Engelthaler // Virus Res. – 2021. – Vol. 306. – 198604. – <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198604>.
24. Droplet digital PCR of viral DNA/RNA, current progress, challenges, and future perspectives / A.A. Kojabad, M. Farzanehpour, H.E.G. Galeh [et al.] // J. Med. Virol. – 2021. – Vol. 93(7). – P. 4182-4197. – <https://doi.org/10.1002/jmv.26846>.
25. Zearalenone mycotoxin affects immune mediators, MAPK signalling molecules, nuclear receptors and genome-wide gene expression in pig spleen / G.C. Pistol, B. Craicu, M. Motiu [et al.] // PLoS One. – 2015. – № 10 (5). – 0127503. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127503>.
26. Effect of zearalenone on calcium homeostasis of splenic lymphocytes of chickens in vitro / Y.C. Wang, J.L. Deng, S.W. Xu [et al.] // Poultry Science. – 2012. – Vol. 91. – P. 1956-1963.
27. Zearalenone affects immune-related parameters in lymphoid organs and serum of

rats vaccinated with porcine parvovirus vaccine / B.K. Choi, J.H. Cho, S.H. Jeong [et al.] // *Toxicological research*. – 2012. – Vol. 28. – P. 279-288. – <https://doi.org/10.5487/TR.2012.28.4.279>.

28. Inhibition of aflatoxin B1-induced murine hepatocyte pyroptosis by *Bacillus amyloliquefaciens* by activation of the Nrf2/HO-1 pathway / J. Wang, Y. Zhao, Y. Zhou [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2025. – Vol. 302. – 118688. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118688>.

29. Can plant phenolic compounds alleviate toxic effects induced by mycotoxins? A narrative review / M.K.M. Evangelista da Costa, L. Schmidt, J. E. Welke, P. R. Augusti // *Food Bioscience*. – 2025. – Vol. 71. – 107339. – <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107339>.

30. Immunotoxic effect and mechanisms of *Fusarium* mycotoxins on human immune cells: A focus on T cells and macrophages / J. Yang, X. Wang, Q. Zhang [et al.] // *Toxicology*. – 2025. – Vol. 515. – 154170. – <https://doi.org/10.1016/j.tox.2025.154170>.

31. Review article: Recent advances in enzyme technologies for mitigating mycotoxin contamination in poultry feed / C. Gruber-Dorninger, M. Aleschko, A. Höbartner-Gußl [et al.] // *Journal of Applied Poultry Research*. – 2025. – Vol. 34. – 100544. – <https://doi.org/10.1016/j.japr.2025.100544>.

REFERENCES

1. Gasperini, A. M Unravelling the impact of mycotoxins on gut health: implications for inflammatory bowel disease / A. M. Gasperini, D. Faccenda, E. Garcia-Cela // *Current Opinion in Food Science*. – 2025. – Vol. 64. – 101316. – <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101316>.

2. Assessment of the general toxicity of feed in the Republic of Tatarstan / Z. Kh. Sagdeeva, O. K. Ermolaeva, A. R. Valiev [et al.] // *The Veterinarian*. – 2020. – No. 5. – P. 59-65. – <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2020-5-59-65>. (In Russ.)

3. Search for effective adsorbents of T-2 toxin / E. Yu. Tarasova, E. I. Semenov, A. R. Valiev, L. E. Matrosova // *Bulletin of the*

Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences. – 2019. – Vol. 5, No. 3 (19). – P. 322-329. – <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-3-322-328>. (In Russ.)

4. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25% / M. Eskola, G. Kos, C. T. Elliott [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2020. – Vol. 60 (16). – P. 2773-2789. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>.

5. Detriment of mycotoxin contamination in feed and nutrition-based prevention and control strategies: A review / S. Fan, K. Teng, J. Li [et al.] // *Toxicon*. – 2026. – Vol. 273. – 108996. – <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2026.108996>.

6. The effectiveness of enterosorbents of various natures in polymycotoxicosis of pigs / N. N. Mishina, E. I. Semenov, A. F. Khasiyatullin [et al.] // *Veterinary Medicine*. – 2020. – No. 11. – P. 49-53. – <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.11.49-53>. (In Russ.)

7. Burdov, L. G. On the results of the analysis of feed for the content of mycotoxins / L. G. Burdov, L. E. Matrosova // *The Veterinarian*. – 2011. – No. 2. – P. 7-9. (In Russ.)

8. The influence of the combined action of mycotoxins and ionizing radiation on allergic sensitization / E. I. Semenov, N. N. Mishina, A. R. Valiev [et al.] // *The Veterinarian*. – 2023. – No. 2. – P. 60-69. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_2_60. (In Russ.)

9. The influence of the combined action of mycotoxins and ionizing radiation on allergic sensitization / E. I. Semenov, N. N. Mishina, A. R. Valiev [et al.] // *The Veterinarian*. – 2023. – No. 2. – P. 60-69. (In Russ.)

10. Utilizing lemon peel extract and its nano-emulsion to control aflatoxin toxicity in rats / B. A. Sabry, A. N. Badr, K. A. Ahmed [et al.] // *Food Bioscience*. – 2022. – Vol. 50. – 101998. – <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101998>.

11. An update on T2-toxins: metabolism, immunotoxicity mechanism and human assessment exposure of intestinal microbiota / J. Zhang, X. Liu, Y. Su, T. Li // *Heliyon*. –

2022. – Vol. 8. – e10012. – <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10012>.
12. Baicalin protects against zearalenone-induced chicks liver and kidney injury by inhibiting expression of oxidative stress, inflammatory cytokines and caspase signaling pathway / J. Xu, S. Li, L. Jiang [et al.] // International Immunopharmacology. – 2021. – Vol. 100. – 108097. – <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.108097>.
13. Review: Strategies and technologies in preventing regulated and emerging mycotoxin co-contamination in forage for safeguarding ruminant health / A. Gallo, A. Catellani, F. Ghilardelli [et al.] // Animal. – 2024. – Vol. 18. – 101280. – <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101280>.
14. Editorial: Predicting, managing, and minimizing mycotoxicosis in farm animals / J.A. Maguey-González, J.D. Latorre, S. Gomez-Rosales, A. Mendez-Albores // Front. Fungal Biol. – 2024. – Vol. 5. – 1519411. – <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1519411>.
15. Evaluation of Untargeted Metabolomic and Mycotoxin Profiles in Corn Silage and High-Moisture Corn / M. Lapris, V. Novara, M. Masseroni [et al.] // Toxins (Basel). – 2025. – Vol. 17(5). – 214. <https://doi.org/10.3390/toxins17050214>.
16. Proinflammatory cytokines interleukin-18 and interleukin-6 mediate anorexia induction by trichothecene deoxynivalenol and its congeners / C. Zhou, Z. Qin, H. Zhang [et al.] // Front. Vet. Sci. – 2024. – Vol. 11. – 1521424. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1521424>.
17. The flavonoid chrysin protects against zearalenone induced reproductive toxicity in male mice / L. Del Fabbro, C.R. Jesse, M.G. de Gomes [et al.] // Toxicon. – 2019. – Vol. 165. – P. 13-21.
18. Fungi and mycotoxin types, toxicity, mechanisms, and control of mycotoxin contamination: a review / Z. Zhang, X. Qi, Y. Wang [et al.] // Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. – 2025. – Vol. 42(12). – P. 1692-1716. – <https://doi.org/10.1080/19440049.2025.2575980>.
19. Mycotoxin Contamination: Occurrence, Biotransformation, Pathogenic Mechanisms, and Strategies for Nutritional Intervention / C. Yao, M. Ye, C. Wang [et al.] // Molecules. – 2025. – Vol. 30(19). – P. 3860. <https://doi.org/10.3390/molecules30193860>.
20. Effects of lipoic acid on immune function, anti-oxidant defense system, and inflammation-related gene expression in broiler chickens fed aflatoxin-contaminated diets / Y. Li, Q. Ma, L. Zhao [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2014. – Vol. 15. – P. 5649-5662.
21. The effectiveness of a feed additive with gallosite in rat mycotoxicosis / E. Tarasova, L. Matrosova, G. Kashevarov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 548. – 02014. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454802014>.
22. Efficiency of the complex mycotoxin adsorbent "Galluasorb" in combined mycotoxicosis of pigs / E. Tarasova, L. Matrosova, S. Tanaseva [et al.] // Bio Web of Conferences : International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024). – 2024. – 07019. – <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413007019>.
23. Normalization of SARS-CoV-2 viral load via RT-qPCR provides higher-resolution data for comparison across time and between patients / W.T. Porter, E.J. Kelley, J.R. Bowers, D.M. Engelthaler // Virus Res. – 2021. – Vol. 306. – 198604. – <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198604>.
24. Droplet digital PCR of viral DNA/RNA, current progress, challenges, and future perspectives / A.A. Kojabad, M. Farzanehpour, H.E.G. Galeh [et al.] // J. Med. Virol. – 2021. – Vol. 93(7). – P. 4182-4197. – <https://doi.org/10.1002/jmv.26846>.
25. Zearalenone mycotoxin affects immune mediators, MAPK signalling molecules, nuclear receptors and genome-wide gene expression in pig spleen / G.C. Pistol, B. Craicu, M. Motiu [et al.] // PLoS One. – 2015. – № 10 (5). – 0127503. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone>.
26. Effect of zearalenone on calcium homeostasis of splenic lymphocytes of chickens in vitro / Y.C. Wang, J.L. Deng, S.W. Xu [et al.] // Poultry Science. 2012. – Vol. 91. – P.

1956–1963.

27. Zearalenone affects immune-related parameters in lymphoid organs and serum of rats vaccinated with porcine parvovirus vaccine / B.K. Choi, J.H. Cho, S.H. Jeong [et al.] // *Toxicological research*. – 2012. – Vol. 28. – P. 279–288. – <https://doi.org/10.5487/TR.2012.28.4.279>.

28. Inhibition of aflatoxin B1-induced murine hepatocyte pyroptosis by *Bacillus amyloliquefaciens* by activation of the Nrf2/HO-1 pathway / J. Wang, Y. Zhao, Y. Zhou [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2025. – Vol. 302. – 118688. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118688>.

29. Can plant phenolic compounds alleviate toxic effects induced by mycotoxins? A nar-

rative review / M.K.M. Evangelista da Costa, L. Schmidt, J. E. Welke, P. R. Augusti // *Food Bioscience*. – 2025. – Vol. 71. – 107339. – <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107339>.

30. Immunotoxic effect and mechanisms of *Fusarium* mycotoxins on human immune cells: A focus on T cells and macrophages / J. Yang, X. Wang, Q. Zhang [et al.] // *Toxicology*. – 2025. – Vol. 515. – 154170. – <https://doi.org/10.1016/j.tox.2025.154170>.

31. Review article: Recent advances in enzyme technologies for mitigating mycotoxin contamination in poultry feed / C. Gruber-Dorninger, M. Aleschko, A. Höbartner-Gußl [et al.] // *Journal of Applied Poultry Research*. – 2025. – Vol. 34. – 100544. – <https://doi.org/10.1016/j.japr.2025.100544>.

УДК: 612.124:636.5+636.5.085.13
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.160

ИЗМЕНЕНИЯ АМИНОКИСЛОТНОГО ПРОФИЛЯ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ЗАМЕНЕ ЧАСТИ РАЦИОНА НА СЕМЕНА РАПСА

Колесник Н.С. – к.б.н., с.н.с. лаборатории фундаментальных основ питания с.-х. животных и рыб (ORCID: 0000-0002-4267-5300); **Зайцев С. Ю.** – д.х.н., д.б.н., в.н.с. отдела физиологии и биохимии с.-х. животных (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Воронина О. А.** – к.б.н., с.н.с. отдела физиологии и биохимии с.-х. животных (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Савина А.А.** – н.с. отдела физиологии и биохимии с.-х. животных (ORCID 0000-0003-0257-1643).

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста»

* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: аминокислотный состав, сыворотка крови, цыплята-бройлеры, рапс, фистула.

Key words: amino acid composition, blood serum, broiler chickens, rapeseed, fistula.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №25-16-00095 (от 30.05.2025 г.).

Благодарности: Авторы благодарны д.б.н., проф. Вертипрахову В.Г. (зав. каф. физиологии, этологии и биохимии животных, ФГБОУ ВО РГАУ — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва) за большую помощь в работе.

Поступила: 23.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



АННОТАЦИЯ

Сбалансированный по аминокислотному составу «протеин» является ключевым элементом в кормлении сельскохозяйственной птицы, необходимым для интенсивного роста и высокой продуктивности. Дефицит лимитирующих

аминокислот (АК) в рационе неизбежно приводит к нарушениям обмена веществ, замедлению темпов роста и снижению продуктивных качеств птицы. Белки рапса хорошо сбалансированы по аминокислотному составу, по содержанию лизина приближаются к сое, а по метионину и цистеину, кальцию и фосфору значительно превосходят её. Целью данной работы является оценка влияния замены части корма семенами рапса в количестве 25-75% от рациона цыплят-бройлеров на аминокислотный профиль организма. В эксперименте задействовано 4 группы фистульных цыплят-бройлеров кросса Смена 9 (N=20, n=5): А – основной рацион (ОР) с сырым жиром (СЖ) 5%; В – ОР с 25% семян рапса (СР) (9,5% СЖ); С – ОР с 50% СР (19% СЖ); D – ОР с 75% СР (28,5% СЖ). Ами-

ноктислотный анализ сыворотки крови проводили методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией нингидрином. Введение семян рапса в рацион бройлеров способствовало достоверному ($p \leq 0,05$) увеличению содержания в крови цыплят опытных групп Вал, Гли, Сер, а также выраженному повышению уровня Арг, Ала, Цис, Мет и Лиз. 2-ая группа характеризуется наибольшим содержанием ряда функциональных аминокислот: Асп, Тре, Сер, Глу, Гли, Ала, Вал и Лей, однако соотношение суммы незаменимых АК к заменимым было наилучшим в 4-ой группе, что обусловлено большим содержанием Мет, Иле, Гис, Лиз и Арг наряду с меньшей концентрацией ряда заменимых АК. Таким образом, замена в рационе цыплят-бройлеров зерновой части на семена рапса в количестве 25-75% оказывает выраженное влияние на общий аминокислотный профиль крови.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В настоящее время аминокислоты (АК), как одни из наиболее важных биологически-активных веществ (БАВ), активно изучаются в мире. Это связано с колоссальным биологическим значением аминокислот в жизнедеятельности человека и животных, а также - в природе в целом. Аминокислоты выполняют целый ряд функций, необходимых для стабильной работы организма. Это элементарная единица для построения всех белковых молекул организма, от белков, формирующих мышечные ткани до гормонов белковой природы. Отдельные аминокислоты выступают в роли нейромедиаторов, например, глутаминовая кислота – которая отвечает за процессы, связанные с обучением и памятью, тирозин используется как основа для синтеза дофамина, норадреналина и адреналина. Аминокислоты учувствуют в углеводном, липидном и водно-солевом обменах [1,2]. При этом, некоторые аминокислоты могут непосредственно снабжать энергией мышечную ткань, из чего следует, что уникальные биологические функции аминокислот позволяют организму, расти, развиваться и нормально функционировать на протяжении всей жизни, так как они «незаменимы во всех процессах жизнедеятельности» [3,4].

Было обнаружено, что ряд аминокислот с разветвленной цепью (например, изолейцин, лейцин и валин) способствуют росту мышечной ткани, усиливают развитие кишечника и активно участвуют в регуляции иммунного ответа [5]. Имеются данные о том, что некоторые свободные аминокислоты (т.е. не связанные

в белковые молекулы), а также их производные могут выступать в роли регуляторных факторов для соединения основных метаболических процессов в организме животных и человека [5]. Например, метаболиты аланина, 4-гидроксипролина, тирозина, метионина и т. д. связаны с циклом Кребса, который является связующим для многих метаболических путей [4,6].

Сбалансированный по аминокислотному составу «протеин» (имеется ввиду суммарное содержание всех белков) является ключевым элементом в кормлении сельскохозяйственной птицы, необходимым для интенсивного роста и высокой продуктивности. Критическое значение имеет баланс рациона бройлеров по лимитирующим аминокислотам: метионину, лизину, треонину, триптофану, валину [7]. Дефицит лимитирующих аминокислот в рационе неизбежно приводит к нарушениям обмена веществ, замедлению темпов роста и снижению продуктивных качеств птицы. Лучшее понимание потребностей организма бройлеров в определенных аминокислотах позволит оптимизировать рецепты комбикормов и снизить избыток сырого протеина в них, что приведет к уменьшению затрат на производство кормов, выбросов азота в окружающую среду, а также улучшению продуктивности [8,9].

В рамках данной работы был поставлен эксперимент с частичной заменой зерновой части рациона цыплят-бройлеров семенами. Поскольку рапс относится к важнейшим масличным кормовым культурам, так как содержат до 50% жира и 23% сырого протеина в своем

составе [10]. Кроме того, объемы его производства на территории Российской Федерации нарастают [11]. Белки рапса хорошо сбалансированы по аминокислотному составу, по содержанию лизина приближаются к сое, а по метионину и цистину, кальцию и фосфору значительно превосходят её.

Целью данной работы является оценка влияния семян рапса в количестве 25-75% от зерновой части рациона цыплят-бройлеров на аминокислотный профиль организма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования выполнены в 2025 году на кафедре физиологии, этологии и биохимии животных МСХА имени К. А. Тимирязева и в лаборатории физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Условия содержания животных (температурный, влажностный световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) в исследуемые периоды были одинаковы и в пределах зоогигиенических норм. Протокол исследования на животных был одобрен биоэтической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста (протокол № 2, от 20 марта 2023 года). Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в

Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, использующихся для научных целей и принципам обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ N 498-ФЗ.

Подготовка к эксперименту. В эксперименте задействовано 4 группы цыплят-бройлеров кросса Смена 9. Все задействованные в эксперименте цыплята предварительно прооперированы с целью постановки кишечной фистулы. Канюлю вживляли в двенадцатиперстную кишку 20 цыплятам-бройлерам 15-20-суточного возраста по методу Вертипрахова (2022) в участок кишки напротив впадения панкреатических протоков. Данная методика позволяет получать дуоденальный химус, состоящий преимущественно из панкреатического сока и желчи и отражает регуляторные процессы, происходящие в поджелудочной железе в до- и постпрандиальный период, а также при введении кормовых добавок и различных биологически активных веществ.

Схема эксперимента. Предварительно фистулированные цыплята были разделены на 4 группы, по 5 голов в каждой. 1 группа – контрольная и 3 опытных группы, в рацион которых вводили семена рапса, согласно схеме в таблице 1.

Таблица 1-Схема опыта по изучению влияния разного количества семян рапса на аминокислотный профиль цыплят-бройлеров

Рацион	Группа			
	А	В	С	Д
ОР	100%	75%	50%	25%
СР	Без добавления	+25,0%	+50,0%	+75%

Примечание: ОР – основной рацион, комбикорм полнорационный для бройлеров ПК-5-2, СР – семена рапса, А – 1 контрольная группа, В – 2 опытная группа, С – 3 опытная группа, Д – 4 опытная группа.

Кровь получали от цыплят утром (натощак) из подкрыльцовой вены в пробирки для морфологического и биохимического анализа. Сыворотку отделяли центрифугированием в течение 5 мин при 5000 об/мин (лабораторная центрифуга СМ-12, Россия).

Определение концентрации аминокислот в сыворотке крови осуществлялось методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией проб нингидрином. Для этого в отделе физиологии и биохимии с/х животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста имеется си-

стема высокоэффективной жидкостной хроматографии LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония), оснащенная реакционным модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином APM-1000 (Sevko&Co, Россия) и колонка с ионообменной смолой (Sevko&Co, Россия) [4]. Для подготовки проб к анализу использовали кислый гидролиз в 6 N HCl для разложения белков на отдельные аминокислоты с добавлением норлейцина в качестве внутреннего стандарта. Гидролиз выполняли в фторопластовых стаканах с завинчивающейся крышкой (СЕМ, США), в термостате при 110 °C в течение 24 часов. Для определения серосодержащих аминокислот (метионин, цистеин) пробы перед гидролизом обрабатывались смесью для окисления (надмуравьиная кислота с фенолом в качестве консерванта). Триптофан разрушается в процессе кислотного гидролиза, а потому нами не определялся. аспарагин и глутамин в условиях гидролиза переходят в соответствующие кислоты и на хроматограмме определяются вместе с аспарагиновой и глутаминовой кислотами соответственно. Отношение незаменимых аминокислот к заменимым рассчитывали путём деления сумм соответствующих аминокислот.

Обработку полученных результатов выполняли в программах «R» и Microsoft Excel с расширенным пакетом анализа данных. Данные по аминокислотному профилю крови цыплят проверялись на нормальность распределения по методу Шапиро-Уилка и однородность дисперсии тестом Левена. Далее проводили однофакторный дисперсионный анализ с последующей процедурой попарных сравнений по Тьюки-Крамеру [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Основные результаты по изучению влияния разного уровня семян рапса в рационе на общий аминокислотный состав крови цыплят-бройлеров кросса Смена 9 представлены в таблице 2.

Для большинства аминокислот за исключением аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, тирозина и пролина прослеживается чёткая тенден-

ция к увеличению их содержания в крови цыплят опытных групп относительно контроля. Линейный рост концентрации аргинина, вероятно, взаимосвязан с такими факторами, как увеличение общего белка и некоторое снижение липидных показателей крови. Так, в работе Смуглова Е.П. (2015) сообщается, что аргинин способствует снижению уровня общего холестерина и триглицеридов [13,14]. Аналогично, в крови возрастает содержание ряда незаменимых аминокислот: фенилаланина, лизина, тирозина, метионина, изолейцина, лейцина.

Стоит отметить близкую к достоверной разницу по содержанию аланина в 1 и 2 группах (0,182 г/100мл против 0,209 г/100мл, $p = 0,069$). Также наблюдается достоверная ($p = 0,012$) разница по уровню глицина в опытных группах, причем во 2-ой группе этот показатель максимальный (0,148 г/100мл), а в 3-ей и 4-ой группах линейно снижается (0,139 и 0,119 г/100мл соответственно). Глицин участвует в синтезе порфиринов, инозиновой кислоты – предшественника пуриновых нуклеотидов в составе нуклеиновых кислот, глутатиона, а также является нейромедиатором. Аналогичная достоверная ($p = 0,006$) тенденция характерна для серина, что объясняется тесной взаимосвязью и взаимными превращениями этих протениогенных аминокислот [15].

Валин был максимальным во 2-ой и 3-ей группах (0,198 г/100мл) и был достоверно выше ($p = 0,006$) 1-ой и 4-ой групп. В кормлении бройлеров валин является четвертой лимитирующей аминокислотой после метионина, лизина и треонина [8]. Сообщается, что дефицит валина в комбикорме снижает прирост живой массы цыплят, конверсию корма, а также может приводить к развитию аномалий оперения и ног [8].

Количество лизина в крови также линейно возрастало в опытных группах относительно контроля (от 0,203 г/100мл в контроле до 0,266 г/100мл в группе 4о). Лизин является незаменимой АК, необходимой для синтеза всех белков организма, включая ферменты способствует улучше-

нию пищеварения, воспроизводительной функции и мясной продуктивности. Как незаменимая аминокислота, лизин играет фундаментальную роль в биохимических процессах: служит субстратом для синтеза коллагена, вовлечён в биогенез карнитина (ключевого транспортера жирных

кислот в митохондриях, где они включаются в процессы β -окисления). активизирует процессы гемопоэза, повышает эффективность кишечной абсорбции ионов кальция. Также лизин модулирует белковый обмен и поддерживает нейротрофические функции нервной системы [16].

Таблица 2- Общий аминокислотный профиль крови бройлеров кросса Смена 9 (N=20, n=5, M $\pm$ m)

Показатель, г/100мл	A	B	C	D	p - значение	Меж-групповые различия
Асп	0,349 $\pm$ 0,004	0,370 $\pm$ 0,022	0,368 $\pm$ 0,027	0,338 $\pm$ 0,029	0,600	
Тре	0,159 $\pm$ 0,004	0,178 $\pm$ 0,008	0,171 $\pm$ 0,012	0,164 $\pm$ 0,001	0,319	
Сер	0,191$\pm$0,001	0,226$\pm$0,013	0,209$\pm$0,015	0,202$\pm$0,003	0,006	AB, AC, BC, BD
Глу	0,552 $\pm$ 0,004	0,590 $\pm$ 0,039	0,582 $\pm$ 0,034	0,543 $\pm$ 0,043	0,575	
Гли	0,133 $\pm$ 0,007	0,148$\pm$0,005	0,139$\pm$0,008	0,119$\pm$0,009	0,012	BD, CD
Ала	0,182$\pm$0,004	0,209$\pm$0,015	0,191 $\pm$ 0,009	0,185 $\pm$ 0,005	0,069	AB
Цис	0,086 $\pm$ 0,005	0,098 $\pm$ 0,017	0,097 $\pm$ 0,006	0,142 $\pm$ 0,043	0,223	
Вал	0,180$\pm$0,003	0,198$\pm$0,008	0,198$\pm$0,013	0,185$\pm$0,002	0,006	AB, AC, BD, CD
Мет	0,078 $\pm$ 0,003	0,086 $\pm$ 0,012	0,087 $\pm$ 0,008	0,124 $\pm$ 0,036	0,234	
Иле	0,112 $\pm$ 0,001	0,119 $\pm$ 0,003	0,127 $\pm$ 0,011	0,133 $\pm$ 0,008	0,216	
Лей	0,279 $\pm$ 0,002	0,307 $\pm$ 0,013	0,303 $\pm$ 0,017	0,282 $\pm$ 0,004	0,188	
Тир	0,172 $\pm$ 0,012	0,166 $\pm$ 0,014	0,189 $\pm$ 0,008	0,173 $\pm$ 0,009	0,243	
Фен	0,187 $\pm$ 0,002	0,207 $\pm$ 0,006	0,214 $\pm$ 0,012	0,204 $\pm$ 0,002	0,027	
Гис	0,079 $\pm$ 0,003	0,078 $\pm$ 0,003	0,088 $\pm$ 0,010	0,095 $\pm$ 0,016	0,322	
Лиз	0,203 $\pm$ 0,001	0,213 $\pm$ 0,011	0,249 $\pm$ 0,041	0,266 $\pm$ 0,035	0,146	
Арг	0,150 $\pm$ 0,006	0,153 $\pm$ 0,006	0,186 $\pm$ 0,033	0,209 $\pm$ 0,054	0,361	
Про	0,122 $\pm$ 0,004	0,120 $\pm$ 0,004	0,126 $\pm$ 0,008	0,112 $\pm$ 0,005	0,298	
НАК/ЗАК	0,80 $\pm$ 0,03	0,80 $\pm$ 0,02	0,85 $\pm$ 0,03	0,92 $\pm$ 0,04	0,087	

Примечания: A – 1 контрольная группа, B – 2 опытная группа; C – 3 опытная группа; D – 4 опытная группа; p – достоверность различий между группами; Асп – аспаргиновая кислота; Тре – треонин; Сер – серин; Глу – глутаминовая кислота; Гли – глицин; Ала – аланин; Цис – цистеин; Вал – валин; Мет – метионин; Иле – изолейцин; Лей – лейцин; Тир – тирозин; Фен – фенилаланин; Гис – гистидин; Лиз – лизин; Арг – аргинин; Про – пролин, НАК – сумма незаменимых аминокислот, ЗАК – сумма заменимых аминокислот.

В опытных группах цыплят прослеживается выраженная тенденция к увеличению содержания серосодержащих метионина и цистеина. Метионин обычно является первой лимитирующей аминокислотой для бройлеров [17]. Обе эти АК

участвуют в образовании пера, ряда гормонов, витаминов. Введение метионина в рацион бройлеров способствует снижению уровня жира, увеличению уровня протеина и уменьшению количества влаги в грудных мышцах [17]. Также метио-

нин является потенциальным медиатором иммунного ответа, а добавки с метионином могут способствовать яйценоскости и улучшению периферического иммунитета крови [18]. В работе Gene M. Pesti и Mingan Choct (2023) сообщается о потребности цыплят в цистеине и невозможности получения наилучших показателей роста только с помощью метионина [19].

Стоит отметить, что 2-ая группа характеризуется наибольшим содержанием (по абсолютной величине) ряда заменимых (аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, серина) и незаменимых аминокислот (треонина, аланина, валина и лейцина), однако соотношение суммы незаменимых аминокислот к заменимым (НАК\ЗАК) было наилучшим в 4-ой группе и составило 0,92 против 0,80 в 1-ой и 2-ой, а также 0,85 в 3-ей (гистидина и аргинина в данном исследовании относили к незаменимым АК). Это обусловлено большим содержанием незаменимых аминокислот (метионина, изолейцина, гистидина, лизина и аргинина) наряду с меньшей концентрацией ряда заменимых аминокислот. По мнению авторов, соотношение НАК\ЗАК может служить одним из критериев ценности корма для роста организма цыплят.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Замена в рационе цыплят-бройлеров зерновой части на семена рапса в количестве 25-75% оказывает выраженное влияние на общий аминокислотный профиль крови.

Во всех опытных группах увеличивается содержание большинства аминокислот относительно контроля за исключением за исключением аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, тирозина и пролина. Достоверная разница между группами наблюдается для 4 функциональных аминокислот: серин, глицин, аланин, валин.

Добавление семян рапса в рацион бройлеров способствовало увеличению содержания в крови лимитирующих аминокислот метионина, лизина и валина, что говорит о высокой биологической ценности изучаемого алиментарного фактора.

2-ая группа характеризуется наибольшим содержанием ряда заменимых и незаменимых аминокислот (аспарагиновая кислота, треонин, серин, глутаминовая кислота, глицин, аланин, валин и лейцин), однако соотношение суммы незаменимых аминокислот к заменимым было наилучшим в 4-ой группе, что обусловлено большим содержанием незаменимых (метионин, изолейцин, гистидин, лизин и аргинин) аминокислот наряду с меньшей концентрацией ряда заменимых аминокислот.

По мнению авторов, соотношение НАК\ЗАК может служить одним из критериев ценности корма для роста организма цыплят.

AMINO ACID PROFILE OF BLOOD IN BROILER CHICKENS WHEN REPLACING CERTAIN PROTEIN COMPONENTS IN THE DIET

Kolesnik N. S. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Agricultural Animals and Fish (ORCID 0000-0002-4267-5300); **Zaitsev S. Yu.** – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Voronina O. A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Savina A. A.** – Researcher, of the Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0003-0257-1643)

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst

* s.y.zaitsev@mail.ru

Funding: This work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 25-16-00095 (dated May30, 2025). The authors are grateful to Doctor of Biological Sciences, Professor V.G. Vertiprakhov (Head of the Department of Animal Physiol-

ogy, Ethology and Biochemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow) for his great assistance in this work.

ABSTRACT

A protein with a balanced amino acid composition is a key element in poultry feeding, necessary for intensive growth and high productivity. Deficiency of limiting amino acids (AA) in the diet inevitably leads to metabolic disorders, slower growth rates and a decrease in the productive qualities of poultry. Rapeseed proteins are well balanced in amino acid composition; in lysine content they are close to soybeans, and in methionine and cysteine, calcium and phosphorus they are significantly superior to it. The aim of this work is to evaluate the effect of replacement of some feed with rapeseed in the amount of 25-75% of the broiler chicken diet on the amino acid profile of the body. The experiment involved 4 groups of fistula broiler chickens of the Smena 9 cross (N = 20, n = 5): 1 (k) - basic diet (BD) + crude fat (CF) 5%; 2 (o) - BD + 25% rapeseed (RS) (9.5% CF); 3(o) – OR with 50% RS (19% CF); 4(o) – OR with 75% RS (28.5% CF). Amino acid analysis of blood serum was performed by ion-exchange chromatography with post-column derivatization with ninhydrin. The introduction of rapeseed into the broiler diet contributed to a reliable ($p \leq 0.05$) increase in the content of Val, Gly, Ser in the blood of chickens from the experimental groups, as well as a marked increase in the level of Arg, Ala, Cys, Met and Lys. The 2nd group is characterized by the highest content of a number of functional amino acids: Asp, Thr, Ser, Glu, Gly, Ala, Val and Leu, however, the ratio of the sum of essential AAs to replaceable AAs was the best in the 4th group, which is due to the high content of Met, Ile, His, Lys and Arg along with a lower concentration of a number of replaceable AAs. Thus, replacing the grain portion of the broiler chicken diet with rapeseed in an amount of 25-75% has a pronounced effect on the overall amino acid profile of the blood.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wade, L. G. Amino acids, peptides, and proteins / L. G. Wade // Organic chemistry. – 2010. – P. 1153-1199
2. Chalvon-Demersay, T. Functional amino acids in pigs and chickens: implication for gut health / T. Chalvon-Demersay, D. Luise, N. Le Floch et al. // Frontiers in Veterinary Science. – 2021. – Vol. 8. – article 663727. – DOI: 0.3389/fvets.2021.663727.
3. Karau, A. Amino acids in human and animal nutrition / A. Karau, I. Grayson // Biotechnology of food and feed additives. – 2014. – P. 189-228. – DOI: 10.1007/10_2014_269.
4. Zaitsev, S. Y. Correlations between the major amino acids and biochemical blood parameters of pigs at controlled fattening duration / S. Y. Zaitsev, N. S. Kolesnik, N. V. Bogolyubova // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – №. 7. – article 2278. – DOI: 10.3390/molecules27072278.
5. Zhang, S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review / S. Zhang, X. Zeng, M. Ren et al. // Journal of animal science and biotechnology. – 2017. – Vol. 8. – article 10. – DOI: 10.1186/s40104-016-0139-z.
6. Ильяков, А. В. Метод повышения биологической полноценности мышечной и жировой ткани свиней / А. В. Ильяков, И. Н. Миколайчик, Л. А. Морозова, Е. С. Ступина // Аграрный вестник Урала. – 2015. – №. 6 (136). – С. 34-37.
7. Гречкина, В. В. Роль аминокислот в кормлении сельскохозяйственной птицы (обзор) / В. В. Гречкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – №. 2 (94). – С. 333-336.
8. Буряков, Н. П. Кормовая добавка синтетического L-валина в комбикормах для цыплят-бройлеров / Н. П. Буряков, С. А. Шукина, К. А. Горст // Агрозоотехника. – 2022. – Т. 5. – №. 2. С. 1-13. – DOI: 10.15838/alt.2022.5.2.1.
9. Agostini, P. S. The optimum valine: lysine ratios on performance and carcass traits of male broilers based on different regression approaches / P. S. Agostini, R. R. Santos, D. R. Khan et al. // Poultry Science. – 2018. –

- Vol. 98. – №. 3. – С. 1310-1320. – DOI: 10.3382/ps/pey454.
10. Воловик, В. Т. Производство рапса в Центральной России: состояние и перспективы / В. Т. Воловик, А. С. Шпаков // Кормопроизводство. – 2020. – №. 10. – С. 3-8. DOI: 10.25685/krm.2020.83.54.001
11. Дегтярев, И. А. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий / И. А. Дегтярев, И. А. Фоменко, А. А. Мижева и др. // Пищевые системы. – 2023. – Т. 6. – №. 2. – С. 159-170. – DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170.
12. Колесник, Н. С. Влияние сроков откорма на метаболиты крови свиней породы ландрас и их двухпородных гибридов / Н. С. Колесник, О. Н. Сивкина, О. А. Воронина и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2025. – Т. 26. – №. 4. – С. 872-884. – DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.4.872-884.
13. Смуглов, Е. П. Влияние L-аргинина на метаболизм липидов и активаторную активность у больных стабильной стенокардией / Е. П. Смуглов, Э. В. Келеджиева, Н. А. Шадчневая, А. Д. Сахалтуев // Таврический медико-биологический вестник. – 2015. – Т. 18. – №. 3. – С. 56-59.
14. Li, S. Dietary L-arginine supplementation reduces lipid accretion by regulating fatty acid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) / S. Li, Y. Zhang, N. Liu et al. // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2020. – Vol. 11. – №. 1. – article 82. – DOI: 10.1186/s40104-020-00486-7.
15. Абашкина, Е. М. Глицин в кормлении цыплят-бройлеров и применение кристаллического глицина с целью снижения уровня сырого протеина в рационах / Е. М. Абашкина // Птицеводство. – 2021. – №. 6. – С. 12-17. – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-12-17.
16. Андрианова, Е. Н. L-лизин сульфат 75% и концентрат лизина сульфата жидкого в кормлении цыплят-бройлеров / Е. Н. Андрианова, И. А. Егоров, Е. Н. Григорьева и др. // Птицеводство. – 2019. – №. 1. – С. 5-10.
17. Орлов, М. М. Влияние аминокислоты метионина и сухой молочной сыворотки на зоотехнические показатели бройлеров / М. М. Орлов, В. В. Зайцев, М. С. Сеитов и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – №. 5 (91). – С. 250-254.
18. Song, B. Methionine deficiency affects liver and kidney health, oxidative stress, and ileum mucosal immunity in broilers / B. Song, M. Fu, F. He et al. // Frontiers in veterinary science. – 2021. – Vol. 8. – article 722567. – DOI: 10.3389/fvets.2021.722567.
19. Pesti, G. M. The future of feed formulation for poultry: Toward more sustainable production of meat and eggs / G. M. Pesti, M. Choct // Animal Nutrition. – 2023. – Vol. 15. – P. 71-87. – DOI: 10.1016/j.aninu.2023.02.013.

REFERENCES

1. Wade, L. G. Amino acids, peptides, and proteins / L. G. Wade // Organic chemistry. – 2010. – P. 1153-1199
2. Chalvon-Demersay, T. Functional amino acids in pigs and chickens: implications for gut health / T. Chalvon-Demersay, D. Luise, N. Le Floc'h et al. // Frontiers in Veterinary Science. – 2021. – Vol. 8. – article 663727. – DOI: 10.3389/fvets.2021.663727.
3. Karau, A. Amino acids in human and animal nutrition / A. Karau, I. Grayson // Biotechnology of food and feed additives. – 2014. – P. 189-228. – DOI: 10.1007/10_2014_269.
4. Zaitsev, S. Y. Correlations between the major amino acids and biochemical blood parameters of pigs at controlled fattening duration / S. Y. Zaitsev, N. S. Kolesnik, N. V. Bogolyubova // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – no. 7. – article 2278. – DOI: 10.3390/molecules27072278.
5. Zhang, S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review / S. Zhang, X. Zeng, M. Ren et al. // Journal of animal science and biotechnology. – 2017. – Vol. 8. – article 10. – DOI: 10.1186/s40104-016-0139-z.
6. Iltyakov, A. V. Method for increasing the biological value of muscle and adipose tissue in pigs / A. V. Iltyakov, I. N. Mikolaychik,

- L. A. Morozova, E. S. Stupina // *Agrarian Bulletin of the Urals*. – 2015. – No. 6 (136). – P. 34-37. (in Russian).
7. Grechkina, V. V. The role of amino acids in feeding agricultural poultry (review) / V. V. Grechkina // *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. – 2022. – No. 2 (94). – P. 333-336. (in Russian).
8. Buryakov, N. P. Feed additive of synthetic l-valine in compound feed for broiler chickens / N. P. Buryakov, S. A. Shchukina, K. A. Gorst // *Agrozootekhnika*. – 2022. – Vol. 5. – No. 2. pp. 1-13. (in Russian). – DOI: 10.15838/alt.2022.5.2.1.
9. Agostini, P. S. The optimum valine: lysine ratios on performance and carcass traits of male broilers based on different regression approaches / P. S. Agostini, R. R. Santos, D. R. Khan et al. // *Poultry Science*. – 2018. – Vol. 98. – No. 3. – P. 1310-1320. – DOI: 10.3382/ps/pey454.
10. Volovik, V. T. Rapeseed production in Central Russia: status and prospects / V. T. Volovik, A. S. Shpakov // *Forage production*. – 2020. – No. 10. – P. 3-8. (in Russian). – DOI: 10.25685/krm.2020.83.54.001
11. Degtyarev, I. A. Protein preparations from rapeseed processing waste: a review of the current status and prospects for the development of existing technologies / I. A. Degtyarev, I. A. Fomenko, A. A. Mizheva, et al. // *Food systems*. – 2023. – Vol. 6. – No. 2. – P. 159-170. (in Russian). – DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170.
12. Kolesnik, N. S. The Effect of Fattening Timing on Blood Metabolites in Landrace Pigs and Their Two-Breed Hybrids / N. S. Kolesnik, O. N. Sivkina, O. A. Voronina, et al. // *Agrarian Science of the Euro-North-East*. – 2025. – Vol. 26. – No. 4. – P. 872-884. (in Russian). – DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.4.872-884.
13. Smuglov, E. P. Effect of L-arginine on lipid metabolism and activator activity in patients with stable angina / E. P. Smuglov, E. V. Keledzhieva, N. A. Shadchneva, A. D. Sakhaltuev // *Tavricheskiy Mediko-Biologicheskii Vestnik*. – 2015. – Vol. 18. – No. 3. – Pp. 56-59. (in Russian).
14. Li, S. Dietary L-arginine supplementation reduces lipid accretion by regulating fatty acid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) / S. Li, Y. Zhang, N. Liu et al. // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. – 2020. – Vol. 11. – No. 1. – article 82. – DOI: 10.1186/s40104-020-00486-7.
15. Abashkina, E. M. Glycine in feeding broiler chickens and the use of crystalline glycine to reduce the level of crude protein in diets / E. M. Abashkina // *Poultry farming*. – 2021. – No. 6. – Pp. 12-17. (in Russian). – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-12-17.
16. Andrianova, E. N. L-lysine sulfate 75% and liquid lysine sulfate concentrate in feeding broiler chickens / E. N. Andrianova, I. A. Egorov, E. N. Grigorieva, et al. // *Poultry farming*. – 2019. – No. 1. – Pp. 5-10. (in Russian).
17. Orlov, M. M. Influence of the amino acid methionine and dry whey on the zootechnical indicators of broilers / M. M. Orlov, V. V. Zaitsev, M. S. Seitov, et al. // *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. – 2021. – No. 5 (91). – Pp. 250-254. (in Russian).
18. Song, B. Methionine deficiency affects liver and kidney health, oxidative stress, and ileum mucosal immunity in broilers / B. Song, M. Fu, F. He et al. // *Frontiers in veterinary science*. – 2021. – Vol. 8. – article 722567. – DOI: 10.3389/fvets.2021.722567.
19. Pesti, G. M. The future of feed formulation for poultry: Toward more sustainable production of meat and eggs / G. M. Pesti, M. Choct // *Animal Nutrition*. – 2023. – Vol. 15. – P. 71-87. – DOI: 10.1016/j.aninu.2023.02.013.



БИОХИМИЯ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ

УДК: 611.61.018:636.934.55-053

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.169

ВОЗРАСТНЫЕ ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧЕК СОБОЛЯ ЧЕРНОЙ ПУШКИНСКОЙ ПОРОДЫ

Маленьких Н.А. – асп. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0002-9051-1749); Щипакин М.В. – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0002-2960-3222)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

* nadiamall50101@mail.ru

Ключевые слова: почка, корковый слой, мозговой слой, гистология, паренхима, юкстагломерулярные клетки, нефрон.

Key words: kidney, cortical layer, cerebral layer, histology, parenchyma, juxtaglomerular cells, nephron.

Поступила: 24.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Соболь черной пушкинской породы – это выдающееся достижение селекционеров в области звероводства. Его биологические особенности, сформированные в результате целенаправленной селекции, обеспечивают получение шкур с уникальными качествами: глубокий черный цвет, высокая плотность, шелковистость и блеск. Цель исследования – изучить гистологические особенности почек самцов и самок черной пушкинской породы в возрастном аспекте, а также определить их морфометрические параметры, проанализировать полученные данные. Гистологическому исследованию были подвергнуты образцы почки. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина в течение 24 часов, после чего по общепринятой методике заливали в парафин. Затем изготавливали срезы толщиной 5-7 мкм, которые окрашивали. Анализ представленных морфометрических данных по возрастным особенностям почек у исследуемых особей позволяет выявить четкие закономерности роста всех исследуемых структур с возрастом, а также незначительные половые различия. По всем исследуемым параметрам наблюдается статистически значимое увеличение значений у животных второй возрастной группы по сравнению с первой. Это касается как толщины общих слоев органа (капсула, корковый и мозговой слой), так и микроскопических структур (эпителий канальцев, сосудистый клубочек, почечное тельце, собирательные трубочки). Данный рост является закономерным следствием общего соматического развития и созревания организма. Увеличение толщины слоев паренхимы (коркового и

мозгового) связано с продолжающимся в постнатальном периоде процессом роста и дифференцировки нефронов, увеличением размеров почечных канальцев и клубочков. Рост диаметра сосудистого клубочка и почечного тельца свидетельствует о развитии фильтрационного аппарата, что соответствует повышению уровня метаболизма и потребности в более интенсивной очистке крови у взрослых особей. Утолщение капсулы почки и стенок канальцев (однослойного кубического эпителия) также отражает структурное укрепление органа в процессе онтогенеза. Также в обеих возрастных группах абсолютные значения морфометрических показателей данных структур у самцов стабильно превышают параметры самок. Эта разница прослеживается как у 15-20 месячных животных, так и в возрасте 36-40 месяцев.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Российская Федерация имеет одну из лидирующих позиций на рынке в направлении сельского хозяйства. Развитие звероводческих хозяйств для выращивания пушнины остается перспективной даже в наше время. Наиболее распространенным видом выращиваемых животных в условиях звероферм являются представители семейства кунных, а именно – соболь. Соболь черной пушкинской породы – это выдающееся достижение селекционеров в области звероводства. Его биологические особенности, сформированные в результате целенаправленной селекции, обеспечивают получение шкурок с уникальными качествами: глубокий черный цвет, высокая плотность, шелковистость и блеск. При этом порода сохраняет хорошие репродуктивные показатели и высокую адаптивность к клеточному содержанию, что делает ее эталонной для современного соболеводства и подтверждает ценность научных подходов в развитии пушной индустрии [1-4].

Исследование мочевыделительной системы, и в особенности почек, имеет фундаментальное значение для ветеринарной медицины, в частности звероводства. В настоящее время среди пушных зверей широко распространены заболевания мочевыделительного аппарата различной этиологии, такие как нефрит, нефроз, пиелонефрит и недержание мочи. Эти патологии не только негативно отражаются на общем развитии и здоровье животных, но и напрямую ведут к ухудшению качества получаемой меховой продукции, нанося тем самым существенный экономический ущерб предприятиям.

Одной из важных проблем в борьбе с данными заболеваниями является недостаточность знаний о морфофункциональных основах органов мочевого выделения в возрастном аспекте, что существенно затрудняет раннюю диагностику, точное определение патологий и проведение своевременной и эффективной терапии у животных. Следовательно, проведение тщательного и всестороннего исследования анатомо-гистологических особенностей, в первую очередь мочевыделительной системы органов мочеотделения у соболей, содержащихся в условиях ограниченной подвижности, представляется насущной необходимостью. Такое исследование заложит критически важную морфологическую основу для разработки научно обоснованных методов профилактики, диагностики и лечения заболеваний, обеспечивая тем самым сохранение здоровья поголовья и поддержание высоких стандартов качества пушной продукции [5-8].

Цель исследования – изучить гистологические особенности почек самцов и самок черной пушкинской породы в возрастном аспекте, а также определить их морфометрические параметры, проанализировать полученные данные.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводили на кафедре анатомии животных ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». Трупный материал для исследования был доставлен на кафедру анатомии животных ФГБОУ ВО СПбГУВМ со звероводческого хозяйства Тверской области. Объек-

том для исследования послужили самцы и самки соболей черной пушкинской породы в возрасте 15-20 и 36-40 месяцев от рождения в количестве по 10 голов в каждой группе. Гистологическому исследованию были подвергнуты образцы почки. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина в течение 24 часов, после чего по общепринятой методике заливали в парафин. Затем изготавливали срезы толщиной 5-7 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином по Ван-Гизону и трихромом по Массону с целью выявления коллагеновых волокон. Анализ гистологических препаратов проводился при помощи светового микроскопа Carl Zeiss AxioSkop 2 plus (Германия) при увеличении 400. Микрофотографирование проводили при помощи цифровой фотокамеры AxioCam ERc5s и программного обеспечения AxioVision Rel. 4.8 (Германия). Морфометрические измерения проводили вручную при помощи программного обеспечения AxioVision Rel. 4.8 [9-16].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В обеих возрастных группах соболей черной пушкинской породы почка снаружи покрыта тонкой соединительнотканной капсулой. Толщина капсулы почки у животных первой возрастной группы составила в среднем: у самцов $15,80 \pm 1,65$ мкм, у самок – $15,10 \pm 1,70$ мкм. У второй возрастной группы: самцы $19,20 \pm 2,60$ мкм, у самки – $18,90 \pm 2,10$ мкм. В паренхиме органа хорошо визуализируется четко выраженное корковое и мозговое вещество почки. Граница между корковым и мозговым веществами хорошо выражена, толщина коркового вещества варьировала в пределах 1800-2200 мкм и составила в среднем у животных в возрасте 15-20 месяцев от рождения: самцы $1690,10 \pm 156,40$ мкм, у самок – $1615,80 \pm 149,70$ мкм; у соболей в возрасте 36-40 месяцев данный показатель в среднем составил: самцы $1940,40 \pm 206,50$ мкм, у самок – $1880,60 \pm 206,50$ мкм. Толщина мозгового вещества у соболей черной пушкинской породы в среднем составила в возрасте 15-20 месяцев: самцы

$1782,30 \pm 161,10$ мкм, у самок – $1705,60 \pm 173,00$ мкм. У животных в возрасте 36-40 месяцев данный показатель в среднем составил: самцы $2023,50 \pm 256,40$ мкм, у самок – $1995,80 \pm 221,10$ мкм. При исследовании было установлено, что корковое вещество характеризовалось наличием разнонаправленных канальцев, образующих почечный лабиринт, в котором определялись хорошо развитые почечные тельца. Канальца почки на всем протяжении были образованы однослойным кубическим эпителием. Толщина эпителия незначительно варьировала в разных отделах и составила в среднем у первой возрастной группы: самцы $13,10 \pm 1,35$ мкм, у самок – $12,65 \pm 1,25$ мкм. У животных второй возрастной группы этот показатель в среднем составил: самцы $14,40 \pm 1,50$ мкм, у самок – $14,05 \pm 1,35$ мкм. Нефроны почки были образованы почечным тельцем, состоящим из сосудистого клубочка и капсулы Боумена, проксимальным извитым канальцем, тонкой и толстой частями петли Генле, дистальным извитым канальцем, собирательными трубками и протоками. Диаметр почечного тельца составил в среднем у животных в возрасте 15-20 месяцев от рождения: самцы $102,90 \pm 10,80$ мкм, у самок – $101,70 \pm 10,10$ мкм; у соболей в возрасте 36-40 месяцев данный показатель в среднем составил: самцы $116,40 \pm 15,70$ мкм, у самок – $115,30 \pm 13,20$ мкм. Диаметр сосудистого клубочка составил в среднем у первой возрастной группы: самцы $77,20 \pm 7,10$ мкм, у самок – $76,70 \pm 7,05$ мкм. У животных второй возрастной группы этот показатель в среднем составил: самцы $92,60 \pm 8,50$ мкм, у самок – $91,80 \pm 9,00$ мкм. В почечных тельцах определялись сосудистый полюс (с приносящей и выносящей артериолами) и мочевой полюс. В стенке приносящей артериолы выявлялись юктагломерулярные клетки, которые были расположены между артериолами клубочка и плотным пятном, здесь же они переходили в клетки мезангия. В эпителии проксимального извитого канальца определялась щеточная каемка, образованная многочислен-

ными микроворсинками. В стенке дистальных канальцев выявлялось плотное пятно, образованное плотно расположенными эпителиальными клетками и являющееся составляющей частью юктагломерулярного аппарата. В состав последнего входят секреторные клетки (миоидные эндокриноциты), которые находятся в средней оболочке приносящей артериолы, юктаваскулярные клетки, расположенные в треугольном пространстве в области сосудистого полюса почечного тельца нефрона. В паренхиме коркового и преимущественно мозгового вещества располагались собирательные трубочки,

диаметр которых варьировал в пределах 25-40 мкм. Диаметр собирательных трубочек составил в среднем у соболей в возрасте 15-20 месяцев: самцы $34,50 \pm 3,70$ мкм, у самок – $34,10 \pm 3,10$ мкм. У животных в возрасте 36-40 месяцев этот показатель в среднем составил: самцы $38,00 \pm 3,50$ мкм, у самок – $37,65 \pm 3,45$ мкм. Интерстициальная ткань почки умеренно развита, представлена небольшим количеством рыхлой соединительной ткани, содержащей тонкие коллагеновые волокна, окрашенные трихромом по Массону в синий цвет (Рис. 1).

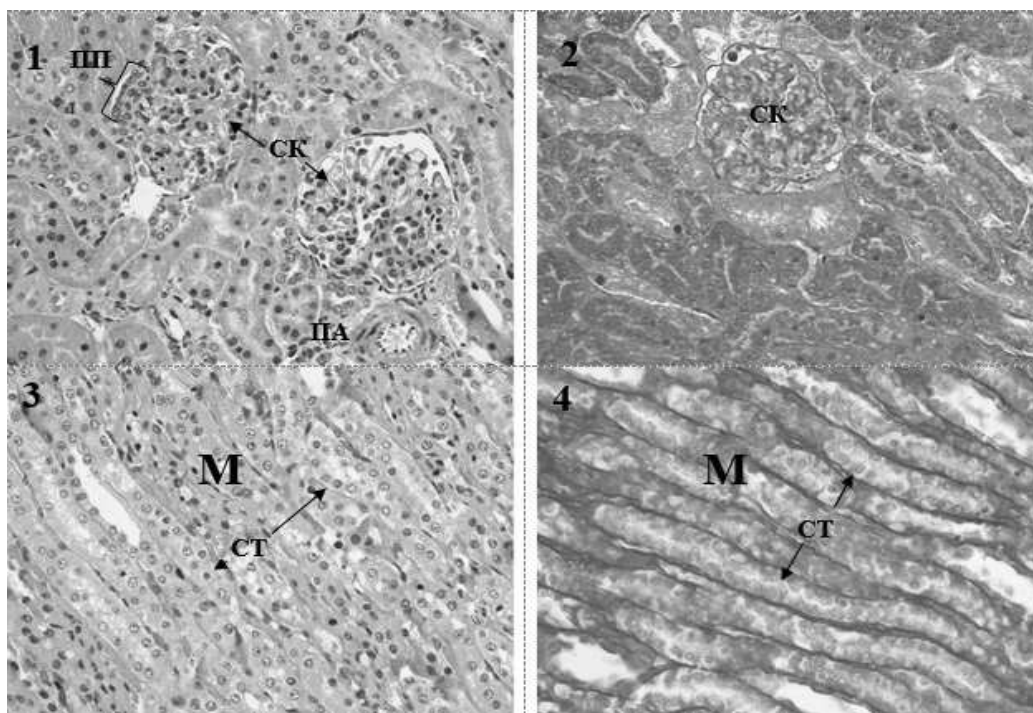


Рисунок 1 – Почка соболя черной пушкинской породы. Возраст 36-40 месяцев. Обозначения: М – мозговое вещество; СК – сосудистый клубочек; ПП – плотное пятно; ПА – приносящая артериола; СТ – собирательные трубочки. Окраска гематоксилином и эозином (1, 3), трихромом по Массону (2), пикрофуксином по Ван-Гизону (4). Ув. 400.

При проведении морфометрического исследования, приведенного в таблице 1, было установлено, что толщина капсулы почки у соболей черной пушкинской по-

роды подвержена возрастным изменениям. Так, к возрасту 36-40 месяцев у самцов наблюдается увеличение данного параметра на 22%, у самок на 25% отно-

сительно показателей особей 15-20 месяцев. Анализ полового диморфизма показал незначительное превышение толщины капсулы почки у самцов соболей 15-20 месяцев жизни в 1,04 раза, а у 36-40 месячных – в 1,02 раза. У особей в возрасте 36-40 месяцев по сравнению с группой 15-20 месяцев толщина коркового слоя почки была выше в среднем на 15% у самцов и на 16% у самок. Половой диморфизм в толщине коркового слоя почки был выражен слабо: у соболей 15-20 месяцев жизни значения самцов превышали таковые у самок в 1,04 раза, а у 36-40 месячных животных – в 1,03 раза. Отмечен рост толщины мозгового слоя почки к возрасту 36-40 месяцев по сравнению с группой 15-20 месяцев и составляет 14% для самцов и 17% для самок. Различия между самцами и самками по данному параметру являются статистически незначительными. В группе 15-20 месяцев толщина мозгового слоя почки у самцов больше в 1,04 раза, а в группе 36-40 месяцев жизни соболей в 1,02 раза. У самцов соболей в возрасте 36-40 месяцев наблюдается увеличение толщины однослойного кубического эпителия канальцев почки на 10%, у самок на 11% относительно данного параметра с особями 15-20 месяцев. Анализируя половой диморфизм по данному по-

казателю, было определено, что у самцов соболей 15-20 месяцев жизни отмечается увеличение в 1,04 раза, а у 36-40 месячных особей – в 1,03 раза. У самцов и самок соболей черной пушкинской породы в возрасте 36-40 месяцев по сравнению с группой 15-20 месяцев диаметр почечного тельца был выше в среднем на 13%. Половой диморфизм диаметра почечного тельца был выражен незначительно: у соболей 15-20 и 36-40 месячных особей значения самцов превышали таковые самок в 1,01 раза. Наблюдается увеличение диаметра сосудистого клубочка у самцов и самок к возрасту 36-40 месяцев по сравнению с группой 15-20 месяцев на 19%. Различия между самцами и самками по данному параметру являются статистически незначительными. В обеих возрастных группах диаметр сосудистого клубочка у самцов больше в 1,01 раза. К возрасту 36-40 месяцев у самцов и самок соболей данной породы наблюдается увеличение диаметра собирательных трубочек на 10% относительно показателей группы 15-20 месяцев. Анализ полового диморфизма показал незначительное превышение диаметра собирательных трубочек у самцов соболей 15-20 месяцев и 36-40 месяцев жизни в 1,01 раза (Табл. 1).

Таблица 1 – Возрастные морфометрические показатели толщины слоев почки у соболей черной пушкинской породы

Название показателя	Пол	Соболь 15-20 месяцев	Соболь 36-40 месяцев
Толщина капсулы почки (мкм)	♂	15,80±1,65	19,20±2,60*
	♀	15,10±1,70	18,90±2,10*
Толщина коркового слоя почки (мкм)	♂	1690,10±156,40	1940,40±206,50*
	♀	1615,80±149,70	1880,60±206,50*
Толщина мозгового слоя почки (мкм)	♂	1782,30±161,10	2023,50±256,40*
	♀	1705,60±173,00	1995,80±221,10*
Толщина однослойного кубического эпителия канальцев почки (мкм)	♂	13,10±1,35	14,40±1,50*
	♀	12,65±1,25	14,05±1,35*
Диаметр сосудистого клубочка (мкм)	♂	77,20±7,10	92,60±8,50*
	♀	76,70±7,05	91,80±9,00*
Диаметр почечного тельца (мкм)	♂	102,90±10,80	116,40±15,70*
	♀	101,70±10,10	115,30±13,20*
Диаметр собирательных трубочек (мкм)	♂	34,50±3,70	38,00±3,50*
	♀	34,10±3,10	37,65±3,45*

* $P < 0,05$ уровень достоверности при сравнении с соболями 15-20 месячного возраста.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Анализ представленных морфометрических данных по возрастным особенностям почек у самцов и самок соболей черной пушкинской породы позволяет выявить четкие закономерности роста всех исследуемых структур с возрастом, а также незначительные половые различия. По всем исследуемым параметрам наблюдается статистически значимое увеличение значений у животных второй возрастной группы (соболи 36-40 месяцев от рождения) по сравнению с первой (соболи 15-20 месяцев от рождения). Это касается как толщины общих слоев органа (капсула, корковый и мозговой слой), так и микроскопических структур (эпителий канальцев, сосудистый клубочек, почечное тельце, собирательные трубочки). Данный рост является закономерным следствием общего соматического развития и созревания организма. Увеличение толщины слоев паренхимы (коркового и мозгового) связано с продолжающимся в постнатальном периоде процессом роста и дифференцировки нефронов, увеличением размеров почечных канальцев и клубочков. Рост диаметра сосудистого клубочка и почечного тельца свидетельствует о развитии фильтрационного аппарата, что соответствует повышению уровня метаболизма и потребности в более интенсивной очистке крови у взрослых особей. Утолщение капсулы почки и стенок канальцев (однослойного кубического эпителия) также отражает структурное укрепление органа в процессе онтогенеза. Также в обеих возрастных группах абсолютные значения морфометрических показателей данных структур у самцов стабильно превышают параметры самок. Эта разница прослеживается как у 15-20 месячных животных, так и в возрасте 36-40 месяцев.

AGE-RELATED HISTOLOGICAL FEATURES OF THE KIDNEYS OF THE SABLE OF THE BLACK PUSH-

KIN BREED

Malenkikh N.A. – Postgraduate student of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0000-0002-9051-1749);
Shchipakin M.V. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0000-0002-2960-3222)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* Nadiamal150101@mail.ru

ABSTRACT

The sable of the black Pushkin breed is an outstanding achievement of breeders in the field of animal husbandry. Its biological features, formed as a result of targeted breeding, ensure the production of skins with unique qualities: deep black color, high density, silkiness and shine. The purpose of the study was to study the histological features of the kidneys of males and females of the black Pushkin breed in the age aspect, as well as to determine their morphometric parameters, and analyze the data obtained. Kidney samples were subjected to histological examination. The material was fixed in a 10% solution of neutral formalin for 24 hours, after which it was poured into paraffin according to the generally accepted method. Then sections 5-7 microns thick were made, which were stained. The analysis of the presented morphometric data on the age-related features of the kidneys in the studied individuals makes it possible to identify clear patterns of growth of all the studied structures with age, as well as minor sex differences. According to all the parameters studied, there is a statistically significant increase in values in animals of the second age group compared with the first. This applies both to the thickness of the general layers of the organ (capsule, cortical and cerebral layer) and microscopic structures (tubule epithelium, vascular glomerulus, renal corpuscle, collecting tubules). This growth is a natural consequence of the general somatic development and maturation of the body. An increase in the thickness of parenchymal layers (cortical and cerebral) is associated

with the ongoing process of growth and differentiation of nephrons in the postnatal period, an increase in the size of renal tubules and glomeruli. An increase in the diameter of the vascular glomerulus and the renal corpuscle indicates the development of a filtration apparatus, which corresponds to an increase in the level of metabolism and the need for more intensive blood purification in adults. The thickening of the kidney capsule and the walls of the tubules (single-layered cubic epithelium) also reflects the structural strengthening of the organ during ontogenesis. Also, in both age groups, the absolute values of the morphometric parameters of these structures in males consistently exceed the parameters of females. This difference can be traced both in 15-20-month-old animals and at the age of 36-40 months.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Балакирев, Н.А. Современное состояние соболеводства в России / Н. А. Балакирев, Е. А. Орлова, Ларина Е.Е. // Вестник аграрной науки. – 2024. – №1 (106). – С. 6-12.
2. Бакеев, Н. Н. Соболь / Н. Н. Бакеев, Г. И. Монахов, А. А. Синицын. – Вятка: ГНУ ВНИИОЗ, 2003. – 336 с.
3. Орлова, Е. А. История и современное состояние породы черный соболь / Е. А. Орлова, О. И. Федорова // Современные проблемы зоотехнии: Сборник трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Бакай Анатолия Владимировича (1946-2020) в рамках Года науки и технологий Российской Федерации по тематике "Генетика и качество жизни", Москва, 14 декабря 2021 года. – Москва: ЗооВетКнига, 2022. – С. 150-156.
4. Маленьких, Н.А. Анатомо-топографические и морфометрические показатели почек соболя черной пушкинской породы / Н.А. Маленьких, М.В. Щипакин//Материалы 79-й международной научной конференции молодых ученых и студентов СПбГУВМ – 2025. – С 150-152.
5. Мельников, С. И. Ход и ветвление артерий почек и мочеточников у енотовидных собак / С. И. Мельников // Молодые ученые - науке и практике АПК: Материалы научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых, 27–28 апреля 2023 года /. – Витебск: Учреждение образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины ", 2023. – С. 407-410.
6. Мельников, С. И. особенности артериальной васкуляризации почек и мочеточников у енотовидных собак / С. И. Мельников // Ступени роста - 2023: Материалы 75-й межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых, Кострома, 03–22 апреля 2023 года / Сост. и отв. редактор Л.А. Исаков. – Кострома: Костромской государственный университет, 2023. – С. 50. – EDN QTOUFY.
7. Жигарев, А. А. Ультразвуковое исследование почек у кроликов / А. А. Жигарев // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI Международной научно -практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29-31 марта 2023 года. - Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. - С. 148-151.
8. Крохмаль, С. А. Морфометрические показатели почек собак породы французский бульдог в сравнительном аспекте / С. А. Крохмаль, С. И. Мельников // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика: Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 апреля 2025 года. – Москва: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина, 2025. – С. 125-127. – EDN NSGOFV.
9. Пидченко, Р. Д. Гистологические закономерности строения почек у новорожденных однодневных поросят породы йоркшир / Р. Д. Пидченко, М. В. Щипакин // Международный вестник ветеринарии. – 2022. – № 4. – С. 295-299.
10. Масленицын, К. О. Микроморфология почек у коз англо-нубийской породы / К. О. Масленицын, М. В. Щипакин // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика: Сборник трудов всерос-

- сийской (национальной) научно-практической конференции, Москва, 01-04 июня 2021 года. - Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина", 2021. - С. 118-122.
11. Масленицын, К. О. Морфофункциональные особенности строения почек у коз англо-нубийской породы / К. О. Масленицын, М. В. Щипакин // Международный вестник ветеринарии. – 2019. – № 2. – С. 107-110. – EDN TNRWEE.
12. Рядинская, Н. И. Микроциркуляторное русло корковой зоны почек байкальской нерпы / Н. И. Рядинская, Т. Е. Гладкая // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы IV международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941-1945 гг.) и 100 -летию со дня рождения А.А. Ежевского, Иркутск, 27 мая 2015 года - 29 2017 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Департамент научно-технологической политики и образования; ФГБОУ ВО "Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского" и др.. - Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, 2015. - С. 256-263.
13. Хонин Г.А., Мелешков С.Ф., Процкая А.С. Перспективы использования ультразвуковых технологий в клинической ветеринарии // в сборнике: Современное состояние, перспективы развития молочного животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы международной научно-практической конференции. Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Институт международного образования. 2016. - С. 147-149.
14. Особенности гистологической обработки органов и тканей лабораторных животных Мужикян А.А., Макарова М.Н., Гуцин Я.А. Международный вестник ветеринарии. 2014. – № 2. – С. 103-109.
15. Некоторые особенности фиксации органов и тканей лабораторных животных для повышения качества гистологического анализа Коптяева К.Е., Мужикян А.А., Гуцин Я.А., Беляева Е.В., Макарова М.Н., Макаров В.Г. Лабораторные животные для научных исследований. 2018. – № 2. С. 60-70.
16. Nemiri, N. Anatomical, histological and biochemical studies of desert rodent *Gerbillus tarabuli* kidney / N. Nemiri, S. Ouali-Hassenaoui // Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia, 2020. – № 49 (4). – p. 486-493.

REFERENCES

1. Balakirev, N.A. The current state of sable breeding in Russia / N. A. Balakirev, E. A. Orlova, Larina E.E. // Bulletin of Agrarian Science. – 2024. – №1 (106). – Pp. 6-12.
2. Bakeev, N. N. Sobol / N. N. Bakeev, G. I. Monakhov, A. A. Sinitsyn. – Vyatka: GNU VNIIOZ, 2003. – 336 p.
3. Orlova, E. A. The history and current state of the black Sable breed / E. A. Orlova, O. I. Fedorova // Modern problems of animal science: Proceedings based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of the birth of Doctor of Agricultural Sciences, Professor Anatoly Vladimirovich Bakai (1946-2020) within the framework of the Year of Science and Technology of the Russian Federation on the topic "Genetics and quality of Life", Moscow, December 14, 2021. Moscow: ZooVetKniga, 2022, pp. 150-156.
4. Malenkikh N.A. Anatomical, topographic and morphometric parameters of the kidneys of the sable of the black Pushkin breed / N.A. Malenkikh, M.V. Shchipakin// Proceedings of the 79th International Scientific Conference of Young Scientists and Students of St. Petersburg State University of Economics – 2025, pp. 150-152.
5. Melnikov, S. I. Course and branching of the arteries of the kidneys and ureters in raccoon dogs / S. I. Melnikov // Young scientists - science and practice of agriculture: Proceedings of the scientific and practical conference of graduate students and young

- scientists, April 27-28, 2023 /. - Vitebsk: Educational institution "Vitebsk Order "Badge of Honor" State Academy veterinary Medicine", 2023. – pp. 407-410.
6. Melnikov, S. I. features of arterial vascularization of the kidneys and ureters in raccoon dogs / S. I. Melnikov // Growth stages - 2023: Proceedings of the 75th interregional scientific and practical conference of young scientists, Kostroma, 03-22 April 2023 / Comp. and editor-in-chief L.A. Isakov. Kostroma: Kostroma State University, 2023. – p. 50. – EDN QTOUFY.
7. Zhigarev, A. A. Ultrasound examination of kidneys in rabbits / A. A. Zhigarev // Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Krasnoyarsk, March 29-31, 2023. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2023, pp. 148-151.
8. Krokhmal, S. A. Morphometric parameters of the kidneys of French Bulldog dogs in a comparative aspect / S. A. Krokhmal, S. I. Melnikov // Morphology in the XXI century: theory, methodology, practice: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, April 24-25, 2025. – Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K.I. Scriabin, 2025. – pp. 125-127. – EDN NSGOFV.
9. Pidchenko, R. D. Histological patterns of kidney structure in newborn one-day-old Yorkshire piglets / R. D. Pidchenko, M. V. Shchipakin // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2022. – No. 4. – pp. 295-299.
10. Maslenitsyn, K. O. Micromorphology of kidneys in Anglo-Nubian goats / K. O. Maslenitsyn, M. V. Shchipakin // Morphology in the XXI century: theory, methodology, practice: Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Moscow, June 01-04, 2021. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K.I. Scriabin", 2021, pp. 118-122.
11. Maslenitsyn, K. O. Morphofunctional features of kidney structure in Anglo-Nubian goats / K. O. Maslenitsyn, M. V. Shchipakin // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2019. – No. 2. – pp. 107-110. – EDN TNRWEE.
12. Ryadinskaya, N. I. Microcirculatory bed of the cortical kidney zone of the Baikal seal / N. I. Ryadinskaya, I.e. Gladkaya // Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Proceedings of the IV international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of Victory in the Great Patriotic War (1941-1945) and the 100th anniversary of since the birth of A.A. Yezhevsky, Irkutsk, May 27, 2015 - 29, 2017 / Ministry of Agriculture of the Russian Federation; Department of Scientific and Technological Policy and Education; Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky, etc.. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky, 2015. pp. 256-263.
13. Honin G.A., Meleshkov S.F., Protskaya A.S. Prospects for the use of ultrasound technologies in clinical veterinary medicine // in the collection: Current state, prospects for the development of dairy farming and processing of agricultural products. Materials of the international scientific and practical conference. Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institute of International Education. 2016. pp. 147-149.
14. Features of histological treatment of organs and tissues of laboratory animals Muzhikyan A.A., Makarova M.N., Gushchin Ya.A. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2014. No. 2. pp. 103-109.
15. Some features of fixation of organs and tissues of laboratory animals to improve the quality of histological analysis Koptyaeva K.E., Muzhikyan A.A., Gushchin Ya.A., Belyaeva E.V., Makarova M.N., Makarov V.G. Laboratory animals for scientific research. 2018. – No. 2. pp. 60-70.
16. Nemiri, N. Anatomical, histological and biochemical studies of desert rodent Gerbillus tarabuli kidney / N. Nemiri, S. Ouali-Hassenaoui // Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia, 2020. – № 49 (4). – p. 486-493.

УДК: 636.4:591.133

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.178

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ У СВИНОМАТОК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АСКОРБАТА ЛИТИЯ

Куткин И.В. * – науч. сотр. лаб. иммунобиотехнологии и микробиологии
(ORCID 0000-0002-4605-9417)

ВНИИФБиП Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии,
биохимии и питания животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр животноводства – ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста»

kurookami@mail.ru

Ключевые слова: свиноматки, антиоксидантная система, адаптогены, репродуктивный цикл, окислительный стресс.

Keywords: sows, antioxidant system, adaptogens, reproductive cycle, oxidative stress.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки, проект № 124020200032-4.

Поступила: 04.08.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Одним из ключевых физиологических факторов, определяющих успешность воспроизводства, является окислительный статус организма, поскольку в период супоросности, опороса и лактации у свиноматок возрастает уровень метаболического стресса, сопровождающегося усиленным образованием свободных радикалов. Цель исследования – комплексная оценка эффективности аскорбата лития в модуляции антиоксидантной системы свиноматок в динамике супоросности. Эксперимент проведён на клинически здоровых свиноматках, распределённых на контрольную и опытную группы. Животные опытной группы получали перорально аскорбат лития в дозе 10 мг/кг живой массы ежедневно в течение всего репродуктивного цикла (сервис-периода, периода супоросности, периода лактации). Контрольная группа добавку не получала. В качестве критериев антиоксидантного статуса на 30-е и 110-е сутки супоросности определяли: концентрации восстановленного (GSH) и окисленного (GSSG) глутатиона, рассчитывали тиол-дисульфидное соотношение (GSH/GSSG) и уровень малонового диальдегида (МДА) в плазме крови. Установлено, что применение аскорбата лития вызвало статистически значимые изменения в показателях окислительно-антиоксидантного гомеостаза. В опытной группе отмечено повышение уровня GSH и снижение содержания GSSG, что привело к улучшению тиол-дисульфидного соотношения по сравнению с контролем. Параллельно зафиксировано снижение концентрации МДА. Положительный эффект был более выражен на 110-е сутки супоросности, что соответствует периоду максимального метаболического напряжения. Аскорбат лития проявляет выраженную антиоксидантную активность у супоросных свиноматок, проявляющуюся в активации глутатионовой системы и ингибировании перекисного окисле-

ния липидов. Полученные результаты обосновывают целесообразность его использования в схемах кормления для профилактики окислительного стресса и поддержания репродуктивного здоровья свиноматок в условиях повышенных физиологических и технологических нагрузок.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Современное свиноводство ориентировано на повышение продуктивности животных, что требует не только совершенствования технологий кормления и содержания, но и углубленного изучения физиологических процессов, влияющих на репродуктивную функцию свиноматок. Одним из ключевых физиологических факторов, определяющих успешность воспроизводства, является окислительный статус организма, поскольку в период супоросности, опороса и локации у свиноматок возрастает уровень метаболического стресса, сопровождающегося усиленным образованием свободных радикалов [1].

Антиоксидантная система играет важную роль в защите клеток от окислительного повреждения, обеспечивая стабильность мембран, ДНК и функциональную активность ферментов. Однако в условиях повышенной нагрузки, например, в репродуктивном цикле, эндогенных антиоксидантов может быть недостаточно, что приводит к развитию окислительного стресса и негативно сказывается на здоровье свиноматок, сохранности приплода и молочной продуктивности [2].

В последние годы особое внимание уделяется поиску эффективных антиоксидантных добавок, способных модулировать окислительно-восстановительный баланс у сельскохозяйственных животных. Аскорбат лития представляет собой перспективное соединение, сочетающее свойства аскорбиновой кислоты (мощного антиоксиданта) и лития (элемента, обладающего нейропротекторным и антистрессовым действием). Предполагается, что его применение может способствовать повышению устойчивости свиноматок к окислительному стрессу в ключевые периоды репродуктивного цикла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Экспериментальная часть исследования проводилась в 2020 году, в свиноводческом комплексе «Томский» АО «СИБАГРО» в поселке Светлый Томской области. Объектом исследования являлись свиноматки породы Ирландский ландрас в период супоросности. Было сформировано 2 группы по 20 голов в каждой. Подопытные группы сформированы из пользовательских животных хозяйства. Доза аскорбата лития для введения в рацион была выбрана на основе анализа ранее проведенных исследований [1, 3, 4], показавших его максимальную эффективность в отношении стресс-протекторного и антиоксидантного действия у свиней. Исходя из этого, АЛ вводили в основной рацион опытной группы в дозе 10 мг/кг живой массы 1 раз в сутки на протяжении всего репродуктивного цикла (сервис-периода, периода супоросности, периода лактации).

Для динамической оценки антиоксидантного статуса у всех животных, вовлеченных в эксперимент (свиноматки опытной и контрольной групп), проводили последовательный отбор проб крови. Забор крови осуществляли в критические точки репродуктивного цикла: за сутки до искусственного осеменения, на 30-е и 110-е сутки супоросности, а также на 20-й день лактации. Процедуру проводили стандартным венозным методом в условиях производственного комплекса.

В полученных образцах крови определяли комплекс ключевых биохимических маркеров, характеризующих состояние антиоксидантной системы и уровень окислительного стресса: концентрацию восстановленной (GSH) и окисленной (GSSG) форм глутатиона (мкмоль/мл) – центральных компонентов тиол-зависимой антиоксидантной защиты, тиол-дисульфидное соотношение (SH/SS), рассчитываемое как GSH/GSSG-интегральный показатель редокс-гомеостаза клетки, а так же уровень мало-

нового диальдегида (МДА) (нмоль/мл) – основного продукта перекисного окисления липидов, служащий маркером степени повреждения клеточных мембран. Концентрацию GSH и окисленного GSSG глутатиона в эритроцитах измеряли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СПЕКС 705 («Спектроскопические системы», Россия) в соответствии с методикой [5]. На основании полученных данных рассчитывали тиол-дисульфидное соотношение. Концентрацию МДА в плазме, определяли с использованием коммерческого набора реагентов «Human Malondialdehyde ELISA kit» (США) в микропланшетном формате на анализаторе АИФР-01 УНИПЛАН (ЗАО «Пикон», Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Ранний период супоросности представляет собой критически важную фазу репродуктивного цикла, когда происходят ключевые процессы имплантации эмбрионов и формирования плаценты. В это время в организме свиноматок наблюдаются значительные метаболические изменения, связанные с перестройкой гормонального фона и повышенными энергетическими потребностями развивающихся эмбрионов.

Наиболее значимым эффектом применения аскорбата лития стало увеличение концентрации восстановленного глутатиона на 21,74% по сравнению с контрольной группой. Этот результат особенно важен, так как GSH играет центральную роль в защите быстро делящихся клеток эмбрионов от окислительного повреждения [6, 7]. Механизм действия аскорбата лития в данном случае связан с его способностью активировать ферменты синтеза глутатиона, а также предоставлять дополнительные восстановительные эквиваленты через аскорбиновый компонент [1, 4]. Одновременно мы наблюдали снижение уровня окисленного глутатиона на 32,08%, что указывает на значительное уменьшение окислительной нагрузки на клеточные структуры. Особого внимания заслуживает динамика тиол-дисульфидного соотношения, которое в

опытной группе превышало контрольные значения на 86,13%. Этот показатель, отражающий общий редокс-потенциал клеток, демонстрирует создание оптимальных условий для нормального протекания восстановительных процессов и поддержания функциональной активности белков [1, 8]. Такие изменения особенно важны в контексте плацентации, когда происходит активное формирование новых сосудов и дифференцировка трофобластов. Снижение малонового диальдегида (МДА) на 33,98% свидетельствует о выраженном антиоксидантном эффекте аскорбата лития в отношении перекисного окисления липидов [9, 3]. Этот аспект имеет особое значение для раннего эмбриогенеза, так как целостность клеточных мембран напрямую влияет на процессы деления и дифференцировки клеток развивающегося эмбриона. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, показывающих взаимосвязь между уровнем перекисного окисления липидов и частотой ранних эмбриональных потерь [2, 6, 7].

Физиологическое значение наблюдаемых изменений в данный период, заключается в создании оптимальных условий для успешной имплантации и раннего развития эмбрионов. Улучшение антиоксидантного статуса способствует нормальному формированию плаценты, обеспечивая адекватное снабжение развивающихся плодов кислородом и питательными веществами [10, 11]. Кроме того, стабилизация окислительно-восстановительного баланса положительно влияет на гормональный фон, что особенно важно для поддержания супоросности на ранних сроках.

Поздний период супоросности (110-е сутки) характеризуется интенсивным ростом плодов и максимальной нагрузкой на организм свиноматки. В это время наблюдается значительное повышение метаболической нагрузки, сопровождающееся усилением окислительных процессов.

Наиболее значимым изменением следует отнести увеличение уровня восста-

новленного глутатиона на 42,68% в опытной группе в сравнении с контрольной группой. Этот эффект имеет особое физиологическое значение, так как GSH играет ключевую роль в защите плацентарной ткани от окислительного повреждения. Повышенная концентрация глутатиона способствует улучшению маточно-плацентарного кровообращения, что подтверждается исследованиями, показавшими прямую корреляцию между уровнем GSH и плацентарной перфузией [4, 6]. Одновременно отмечалось снижение содержания окисленного глутатиона на 19,64%, что свидетельствует о значительном уменьшении окислительного стресса. Со стороны тиол-дисульфидного баланса, показатель SH/SS в опытной группе превышал контрольные значения на 76,87%. Такое изменение редокс-статуса создает оптимальные условия для функционирования плацентарных ферментов и транспортной системы, обеспечивающих снабжение плодов необходимыми питательными веществами в контексте профилактики внутриутробной задержки развития плодов, часто связанной с окислительным стрессом в поздние сроки супоросности [1, 4].

Снижение концентрации МДА на

33,98% демонстрирует выраженный антиперекисный эффект аскорбата лития. Этот показатель имеет общую клиническую значимость, так как перекисное повреждение липидов в поздний период супоросности ассоциировано с риском преждевременных опоросов и рождения ослабленного потомства [3, 6, 10].

Важным аспектом действия аскорбата лития является его влияние на иммунный статус. Повышенный уровень GSH способствует усилению фагоцитарной активности макрофагов и продукции цитокинов, что имеет особое значение для поддержания иммунного гомеостаза в условиях повышенной антигенной нагрузки в конце супоросности [4, 6]. Как отмечено некоторыми авторами, глутатион играет ключевую роль в регуляции иммунного ответа у супоросных свиноматок [4].

Метаболические эффекты АЛ в данном периоде проявлялись в оптимизации энергетического обмена, что особенно важно в условиях повышенных энергетических потребностей в конце супоросности. Улучшение утилизации питательных веществ стабилизация энергетического баланса способствует нормальному развитию плодов и подготовке к предстоящему опоросу [8, 9, 10].

Таблица 1 – Функциональное состояние антиоксидантной системы у свиноматок в течении супоросности

Показатели	GSH, мкмоль/мл	GSSG, мкмоль/мл	SH/SS	МДА нмоль/мл
Ранняя супоросность 30 суток				
Опыт	1,12±0,1	0,36±0,07*	3,22±0,77	5,13±0,62*
Контроль	0,92±0,43	0,53±0,02	1,73±0,81	7,77±0,7
Поздняя супоросность 110 сутки				
Опыт	1,17±0,09*	0,45±0,03*	2,6±0,27*	6,19±0,71*
Контроль	0,82±0,08	0,56±0,04	1,47±0,21	8,89±0,88

Примечания: *P≤0,05 по t - критерию при сравнении с контролем

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Наиболее стабильным и значимым эффектом применения аскорбата лития на протяжении всего репродуктивного цикла свиноматок стало достоверное повыше-

ние уровня восстановленного глутатиона, сопровождающееся снижением его окисленной формы. Это указывает на улучшение клеточного редокс-баланса и усиление антиоксидантной защиты. поддержа-

ние устойчивого тиол-дисульфидного соотношения свидетельствует о благоприятном влиянии АЛ на активность тиол-зависимых ферментов и обменные процессы. Снижение уровня малонового диальдегида в разные периоды супоросности подтверждает антиоксидантный и мембранопротекторный эффект АЛ, особенно выраженный в условиях максимальной физиологической нагрузки перед опоросом.

В целом, применение АЛ способствует оптимизации окислительно-восстановительного статуса, снижению оксидативного стресса и созданию условий для полноценного течения гестации.

FUNCTIONAL STATE OF THE ANTIOXIDANT SYSTEM IN SOWS WITH LITHIUM ASCORBATE SUPPLEMENTATION

Kutyin I.V. * – researcher of the laboratory of immunobiotechnology and microbiology (ORCID 0000-0002-4605-9417).

Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition,
branch of the Federal Research Center of Animal Husbandry, Ernst VIZh,

*Kurookami@mail.ru

Financing: The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science, project №. 124020200032-4.

ABSTRACT

One of the key physiological factors determining the success of reproduction is the oxidative status of the body, since during gestation, farrowing and lactation, the level of metabolic stress in sows increases, accompanied by increased formation of free radicals. The aim of the study was to comprehensively evaluate the effectiveness of lithium ascorbate in modulating the antioxidant system of sows during gestation. For this purpose, an experiment was conducted on clinically healthy sows, which were divided into two groups: control and experimental. The animals in the experimental group were given lithium ascorbate orally at

a dose of 10 mg/kg body weight per day throughout the entire reproductive cycle, including the service period, gestation, and lactation. The control group did not receive any supplement. To assess the antioxidant status, blood samples were collected from the sows on days 30 and 110 of gestation to measure the concentrations of glutathione (GSH and GSSG), calculate the thiol-disulfide ratio (GSH/GSSG), and determine the level of malondialdehyde (MDA). It has been established that the use of lithium ascorbate causes statistically significant changes in indicators of oxidative-antioxidant homeostasis in pregnant sows. In the experimental group, there was an increase in glutathione (GSH) levels and a decrease in glutathione disulfide (GSSG) content, leading to an improvement in the GSH/GSSG ratio compared to the control group. Additionally, a reduction in malondialdehyde (MDA) concentration was observed. The positive effects were more pronounced on day 110 of gestation, which corresponds to the period of maximum physiological stress. The results suggest that lithium ascorbate has antioxidant activity in sows during pregnancy, possibly through activation of the glutathione system and inhibition of lipid peroxidation. These findings support the potential use of lithium ascorbate in feeding schemes to prevent oxidative stress and support the reproductive health of sows in conditions of increased physiological and environmental stress.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Остренко, К. С. Антиоксидантный и стресспротекторный эффекты аскорбата лития в биомедицинских моделях у свиней / К. С. Остренко // Фармакокинетика и фармакодинамика. – 2019. – № 2. С. 32-35. – DOI 10.24411/2587-7836-2019-10044
Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/antioksidantnyy-i-stressprotektornyy-effekty-askorbata-litiya-v-biomeditsinskih-modelyakh-u-sviney>
2. Agarwal, A. Oxidative stress and its implications in female infertility - a clinician's perspective / A. Agarwal, S. Gupta, R. Sharma // Reprod. Biomed. Online. – 2005. –

- Vol. 11, № 5. – P. 641-650. – DOI: 10.1016/s1472-6483(10)61174-1.
3. Ниязов, Н. С. Эффективность антиоксидантного действия добавок витамина С у супоросных и лактирующих свиноматок / Н. С. Ниязов, К. С. Остренко, В. О. Лемешевский, А. Н. Овcharova // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2019. – № 3. С. 67-77. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-antioksidantnogo-deystviya-dobavok-vitamina-s-u-suporosnyh-i-laktiruyuschih-svinomatok>
4. Ostrenko, K. The Effect of Lithium Salt with Ascorbic Acid on the Antioxidant Status and Productivity of Gestating Sows / K. Ostrenko, R. Nekrasov, A. Ovcharova, V. Lemiasheuski, I. Kutin // Animals. – 2022. – Vol. 12, № 7. – P. 915. – DOI: 10.3390/ani12070915.
5. Арутюнян, А. В. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы организма: методические рекомендации / А. В. Арутюнян, Е. Е. Дубинина, Н. Н. Зыбина. – СПб.: Фолиант, 2000. – 104 с.
6. Al-Gubory, K. H. The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes / K. H. Al-Gubory, P. A. Fowler, C. Garrel // Int. J. Biochem. Cell Biol. – 2010. – Vol. 42, № 10. – P. 1634-1650. – DOI: 10.1016/j.biocel.2010.06.001.
7. Guérin, P. Oxidative stress and protection against reactive oxygen species in the pre-implantation embryo and its surroundings / P. Guérin, S. El Mouatassim, Y. Ménéz // Hum. Reprod. Update. – 2001. – Vol. 7, № 2. – P. 175-189. – DOI: 10.1093/humupd/7.2.175.
8. Семенова, А. А. Использование антиоксидантов в качестве адаптогенов для свиней (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) (мета-анализ) / А. А. Семенова, Т. Г. Кузнецова, В. В. Насонова, Р. В. Некрасов, Н. В. Боголюбова, Е. Ю. Цис // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – № 6. – С. 1107-1125. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-antioksidantov-v-kachestve-adaptoginov-dlya-sviney-sus-scrofa-domesticus-erxleben-1777-meta-analiz>
9. Максимов, Г. В. Система антиоксидантной защиты организма в зависимости от стресс-реакции, возраста и породы свиней / Г. В. Максимов, Н. В. Ленкова // Ветеринарная патология. – 2010. – № 4 (35). – С. 59-61. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-antioksidantnoy-zaschity-organizma-v-zavisimosti-ot-stress-reaktsii-vozrasta-i-porody-sviney>
10. Berchieri-Ronchi, C. B. Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation / C. B. Berchieri-Ronchi, S. W. Kim, Y. Zhao, C. R. Correa, K. J. Yeum, A. L. Ferreira // Animal. – 2011. – Vol. 5, № 11. – P. 1774-1779. – DOI: 10.1017/S1751731111000772.
11. Lykkesfeldt, J. Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals / J. Lykkesfeldt, O. Svendsen // Vet. J. – 2007. – Vol. 173, № 3. – P. 502-511. – DOI: 10.1016/j.tvjl.2006.06.005.

REFERENCES

1. Ostrenko, K. S. Antioxidant and stress protective effects of lithium ascorbate in biomedical models in pigs / K. S. Ostrenko // Pharmacokinetics and pharmacodynamics. – 2019. – No. 2. pp. 32-35. – DOI 10.24411/2587-7836-2019-10044 Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/antioksidantnyy-i-stressprotektornyy-effekty-askorbata-litiya-v-biomeditsinskih-modelyah-u-sviney>
2. Agarwal, A. Oxidative stress and its implications in female infertility - a clinician's perspective / A. Agarwal, S. Gupta, R. Sharma // Reprod. Biomed. Online. – 2005. – Vol. 11, № 5. – P. 641-650. – DOI: 10.1016/s1472-6483(10)61174-1.
3. Niyazov, N. S. The effectiveness of the antioxidant effect of vitamin C supplements in pregnant and lactating sows / N. S. Niyazov, K. S. Ostrenko, V. O. Lemeshevsky, A. N. Ovcharova // Problems of biology of productive animals. – 2019. – № 3. С. 67-77. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-antioksidantnogo-deystviya-dobavok-vitamina-s-u-suporosnyh-i-laktiruyuschih-svinomatok>

4. Ostrenko, K. The Effect of Lithium Salt with Ascorbic Acid on the Antioxidant Status and Productivity of Gestating Sows / K. Ostrenko, R. Nekrasov, A. Ovcharova, V. Lemiasheuski, I. Putin // *Animals*. – 2022. – Vol. 12, No. 7. – P. 915. – DOI: 10.3390/ani12070915.
5. Harutyunyan, A.V. Methods for assessing free radical oxidation and the antioxidant system of the body: methodological recommendations / A.V. Harutyunyan, E. E. Dubinina, N. N. Zybina. – St. Petersburg: Foliant, 2000. – 104 p.
6. Al-Gubory, K. H. The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes / K. H. Al-Gubory, P. A. Fowler, C. Garrel // *Int. J. Biochem. Cell Biol.* – 2010. – Vol. 42, № 10. – P. 1634-1650. – DOI: 10.1016/j.biocel.2010.06.001.
7. Guérin, P. Oxidative stress and protection against reactive oxygen species in the pre-implantation embryo and its surroundings / P. Guérin, S. El Mouatassim, Y. Ménézou // *Hum. Reprod. Update.* – 2001. – Vol. 7, № 2. – P. 175-189. – DOI: 10.1093/humupd/7.2.175.
8. Semenova, A. A. The use of antioxidants as adaptogens for pigs (*Sus scrofa domestica* Erxleben, 1777) (meta-analysis) / A. A. Semenova, T. G. Kuznetsova, V. V. Nasonova, R. V. Nekrasov, N. V. Bogolyubova, E. Y. Cis // *Agricultural Biology*. – 2020. – № 6. – C. 1107-1125. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-antioksidantov-v-kachestve-adaptogenov-dlya-sviney-sus-scrofa-domesticus-erxleben-1777-meta-analiz>
9. Maksimov, G. V. The system of antioxidant protection of the body depending on the stress reaction, age and breed of pigs / G. V. Maksimov, N. V. Lenkova // *Veterinary pathology*. – 2010. – № 4 (35). – C. 59-61. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-antioksidantnoy-zaschity-organizma-v-zavisimosti-ot-stress-reaktsii-vozrasta-i-porody-sviney>
10. Berchieri-Ronchi, C. B. Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation / C. B. Berchieri-Ronchi, S. W. Kim, Y. Zhao, C. R. Correa, K. J. Yeum, A. L. Ferreira // *Animal*. – 2011. – Vol. 5, № 11. – P. 1774-1779. – DOI: 10.1017/S1751731111000772.
11. Lykkesfeldt, J. Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals / J. Lykkesfeldt, O. Svendsen // *Vet. J.* – 2007. – Vol. 173, № 3. – P. 502-511. – DOI: 10.1016/j.tvjl.2006.06.005.

УДК: 599.742.4:619:611.31

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.185

ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СЛЮННЫХ ЖЕЛЕЗ СОБОЛЯ ЧЕРНОЙ ПУШКИНСКОЙ ПОРОДЫ

Каюмова Э.И. – асп. каф. анатомии животных (ORCID 0009-0006-2971-7007);
Зеленевский Н.В. – д-р ветеринар. наук, проф. (ORCID 0000-0001-6679-6978)

ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины”

* elina_31_99@mail.ru

Ключевые слова: морфология, морфометрия, гистология, слюнные железы, соболь.

Keywords: morphology, morphometry, histology, salivary glands, sable.

Поступила: 24.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Изучение анатомических особенностей ротового аппарата пушных зверей, как одной из перспективных отраслей сельского хозяйства способствует улучшению условий их содержания в неволе и повышению качества пушнины. Было изучено 10 препаратов слюнных желез физиологически зрелых соболей черной пушкинской породы. Цель работы – изучить особенности гистологического строения слюнных желез соболя черной пушкинской породы и определить морфометрические показатели этих органов. Гистологическому исследованию были подвергнуты образцы нижнечелюстной, околоушной и подъязычной слюнных желез. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина в течение 24 часов, после чего по общепринятой методике заливали в парафин. Затем изготавливали срезы толщиной 5-7 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином по Ван-Гизону и трихромом по Массону с целью выявления коллагеновых волокон. Часть срезов окрашивали Альциановым синим (pH 2,5) с последующей докраской гематоксилином Майера. Анализ гистологических препаратов проводился при помощи светооптического микроскопа Carl Zeiss AxioSkop 2 plus (Германия) при увеличении 40, 100, 200 и 400. Микрофотографирование проводили при помощи цифровой фотокамеры AxioCam ERc5s и программного обеспечения AxioVision Rel. 4.8 (Германия). Морфометрические измерения проводили вручную при помощи программного обеспечения AxioVision Rel. 4.8. Все анатомические термины соответствуют «Международной ветеринарной анатомической номенклатуре», пятая редакция, перевод и русская терминология профессора Зеленевского Н. В. (2013). В результате исследования были выявлены особенности гистологического строения слюнных желез соболей, а также определены их морфометрические показатели.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Мех соболя черной пушкинской породы – один из самых популярных видов пушнины [1]. Качество меха зависит от условий содержания и режима кормления, а также от состояния здоровья, в частности, пищеварительного аппарата. Слюнные железы являются одним из первоначальных звеньев, участвующий в обработке корма [2-4]. При их поражении у соболей возникают трудности с принятием корма и как следствие отсутствие нормального кормления приводит к снижению качества шкурки. Изучение анатомо-гистологических особенностей строения слюнных желез соболя способствует сохранению продуктивности соболей и увеличению экономической эффективности [5-7].

Цель работы – изучить особенности гистологического строения слюнных желез соболя черной пушкинской породы и определить морфометрические показатели этих органов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводились на базе кафедры анатомии животных ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины». Гистологическому исследованию были подвергнуты образцы нижнечелюстной, околоушной и подъязычной слюнных желез. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина в течение 24 часов, после чего по общепринятой методике заливали в парафин. Затем изготавливали срезы толщиной 5-7 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином по Ван-Гизону и трихромом по Массону с целью выявления коллагеновых волокон. Часть срезов окрашивали Альциановым синим (рН 2,5) с последующей докраской гематоксилином Майера. Анализ гистологических препаратов проводился при помощи светомикроскопа Carl Zeiss AxioSkop 2 plus (Германия) при увеличении 40, 100, 200 и 400 [10]. Микрофотографирование проводили при помощи цифровой фотокамеры AxioCam

ERc5s и программного обеспечения Axio-Vision Rel. 4.8 (Германия). Морфометрические измерения проводили вручную при помощи программного обеспечения AxioVision Rel. 4.8 [11, 12].

Все анатомические термины соответствуют «Международной ветеринарной анатомической номенклатуре», пятая редакция, перевод и русская терминология профессора Зеленецкого Н. В. (2013).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Нижнечелюстная слюнная железа соболя черной пушкинской породы альвеолярно-трубчатого строения, смешанного типа, снаружи окружена тонкой соединительнотканной капсулой, от которой вглубь органа отходят трабекулы, делящие железу на крупные дольки.

Капсула железы малоклеточна, содержит немногочисленные тонкостенные кровеносные сосуды, снаружи покрыта жировой тканью. Толщина капсулы в среднем $178,5 \pm 19,4$ мкм.

Паренхима железы представлена преимущественно смешанными (серозно-мукозными) ацинусами, ограниченными друг от друга очень тонкими прослойками рыхлой соединительной ткани. Смешанные ацинусы крупнее серозных, состоят из сероцитов, мукоцитов и лежащих на базальной мембране миоэпителиальных клеток. В ацинусах смешанного типа сероциты окружают слизистые клетки в виде полулуний (полулуния Джизануцци).

Слизистые клетки имеют кубическую или цилиндрическую форму и организованы в трубочки с отчетливым просветом, ядра клеток уплощенной формы, смещены к периферии. В апикальной части серозных и слизистых клеток выявляются секреторные гранулы, имеющие в мукоцитах характерное окрашивание при применении альцианового синего и Шифф-йодной кислоты.

Снаружи ацинусы окружены миоэпителиальными клетками. Площадь ацинуса в среднем составляет $2027,2 \pm 240,4$ мкм², площадь сероцита – $117,6 \pm 12,5$ мкм², мукоцита – $243,2 \pm 15,8$ мкм². Площадь ядра сероцитов составляет в среднем $15,8 \pm 2,1$ мкм², площадь ядра мукоцита – $17,4 \pm 2,2$

мкм².

В соединительнотканых перегородках стромы органа обнаруживаются кровеносные сосуды, нервные стволы, а также вставочные, исчерченные и междольковые выводные протоки, объединяющиеся в общий выводной проток.

Диаметр вставочных и внутридольковых протоков варьирует в пределах 40-50 мкм и составляет в среднем $49,7 \pm 3,6$ мкм. Диаметр междольковых выводных протоков значительно больше и составляет $523,3 \pm 51,8$ мкм.

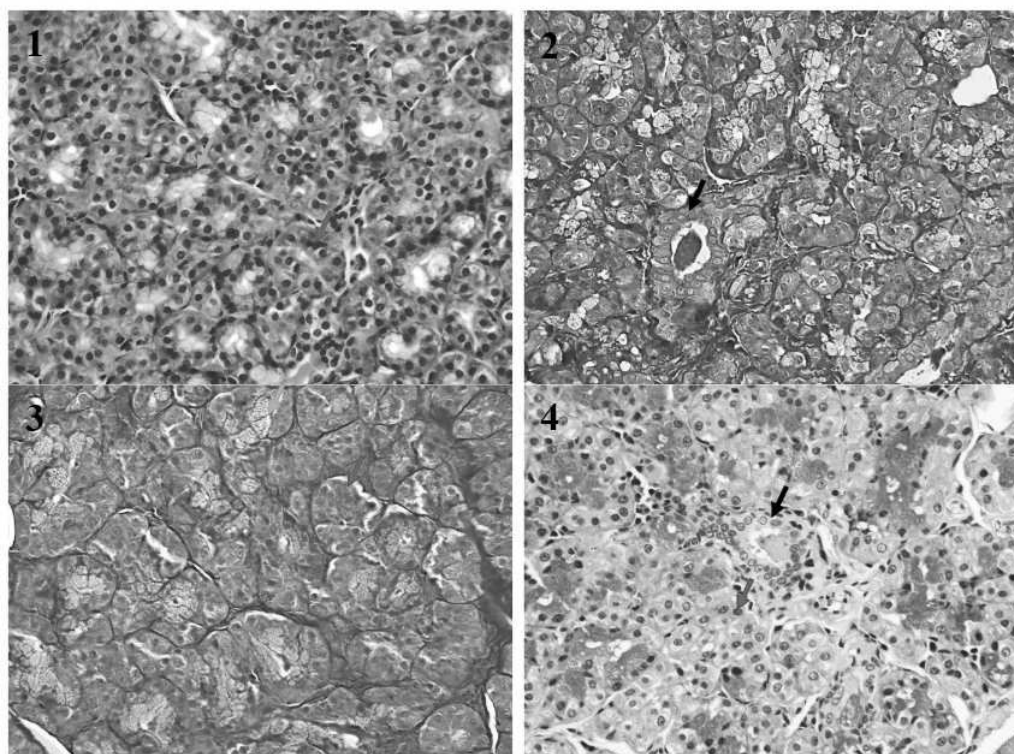


Рисунок 1 – Нижнечелюстная слюнная железа. В смешанных ацинусах определяются мукоциты (↑) и сероциты, располагающиеся в виде полулуний (↑). Цитоплазма мукоцитов содержит секрет, интенсивно окрашенный альциановым синим. Вставочные протоки также отмечены стрелками (↑). Окр. гематоксилин-эозином (1), трихромом по Массону (2), пикрофуксином по Ван-Гизону (3), альциановым синим (4).

Ув. 400.

Система выводных протоков на всех уровнях окружена хорошо оформленной богатой коллагеновыми волокнами соединительной тканью, толщина которой варьирует в пределах 10-50 мкм. В эпителии, выстилающей междольковые и общий выводной протоки, выявляются одиночно расположенные бокаловидные клетки.

Эпителиальные клетки протоков кубической формы с округлыми светлыми богатыми эухроматином ядрами. Высота эпителия от вставочных до междольковых протоков равномерно снижается и варьирует в пределах 15-35 мкм.

Околоушная слюнная железа соболя черной пушкинской породы альвеоларно-трубчатого строения, серозного типа, сна-

ружи окружена тонкой соединительнотканной капсулой, от которой вглубь органа отходят трабекулы, делящие железу на крупные доли, с хорошо развитой внутридольковой жировой тканью.

Капсула железы малоклеточна, содержит немногочисленные тонкостенные кровеносные сосуды, снаружи покрыта жировой тканью. Толщина капсулы в

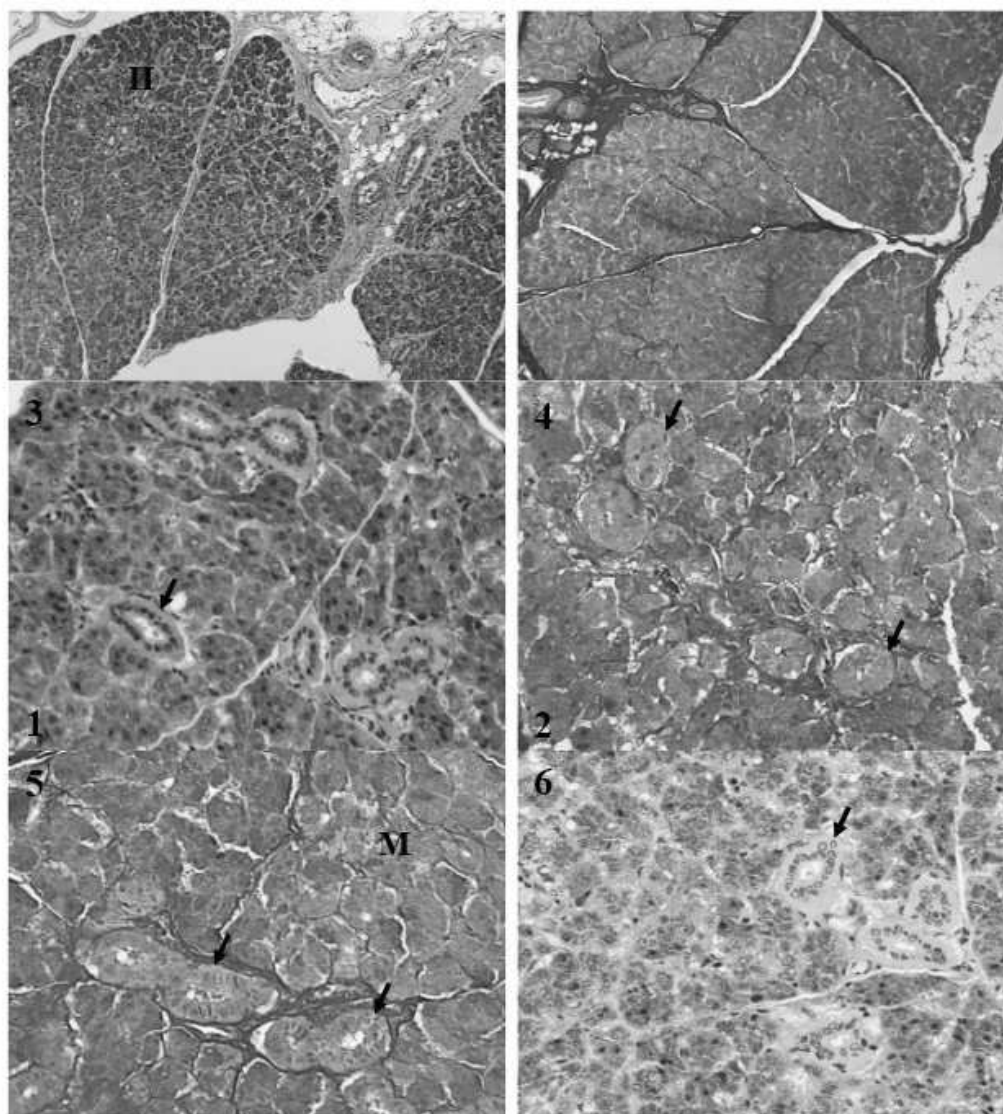


Рисунок 2 – Околоушная слюнная железа. В ацинусах определяются сероциты (↑). Вставочные протоки также отмечены стрелками (↑). Определяются исчерченные (П) и междольковые выводные протоки (М). Окр. гематоксилин-эозином (1, 3), пикрофуксином по Ван-Гизону (2, 5), трихромом по Массону (4), альциановым синим (6). Ув. 100 (1, 2) и 400 (3-6).

среднем $212,5 \pm 32,8$ мкм.

Паренхима железы представлена серозными ацинусами, состоящая из сероцитов конической формы с округлыми и овальными ядрами, богатыми эухроматином. Снаружи ацинусы окружены миоэпителиальными клетками. Площадь ацинуса в среднем составляет $1300,5 \pm 129,6$ мкм², площадь сероцита – $116,4 \pm 12,1$

мкм², ядра сероцитов – $26,8 \pm 2,4$ мкм².

В соединительнотканых перегородках стромы органа обнаруживаются множественные адипоциты, кровеносные сосуды, нервные стволы, а также вставочные, исчерченные и междольковые выводные протоки, объединяющиеся в общий выводной проток

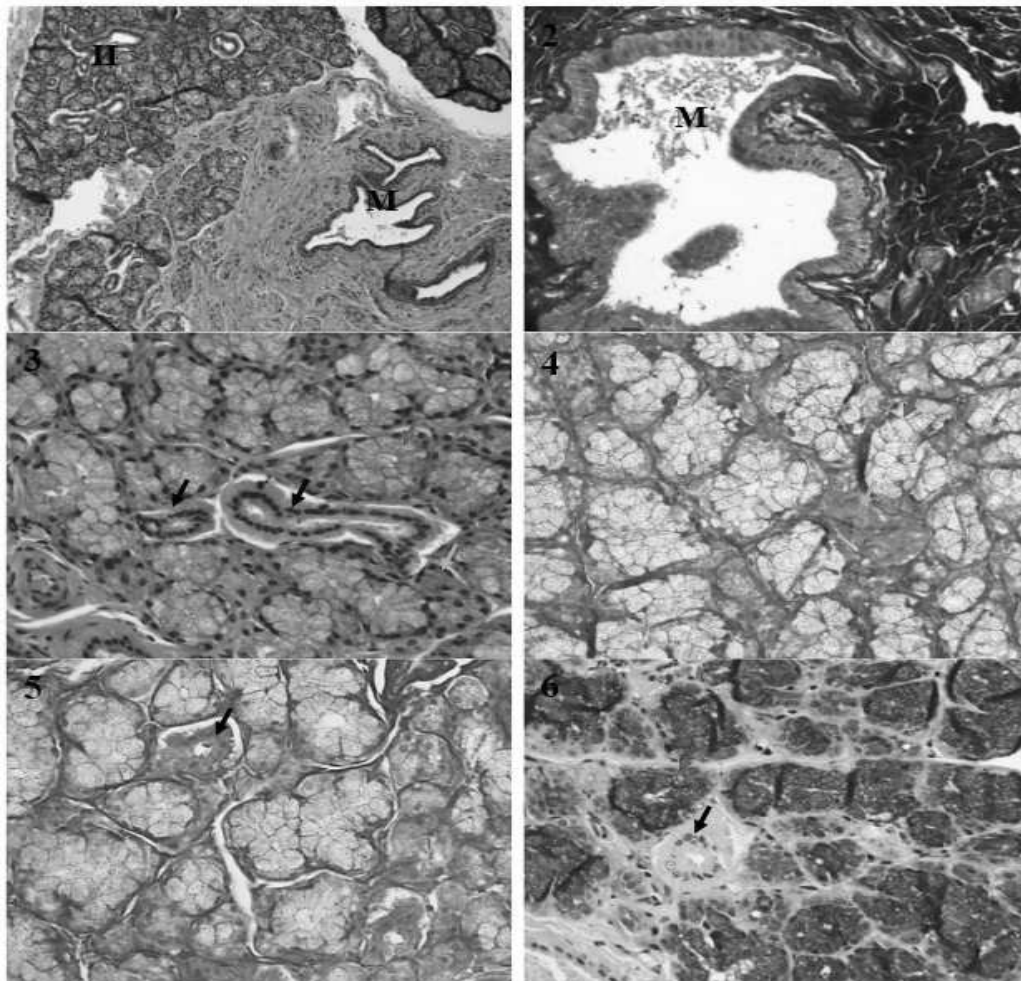


Рисунок 3 – Подъязычная слюнная железа. Определяются мукоциты (↑) и немногочисленные сероциты (↑). Цитоплазма мукоцитов содержит секрет, интенсивно окрашенный альциановым синим. Вставочные протоки также отмечены стрелками (↑). Определяются исчерченные (И) и междольковые выводные протоки (М). Окр. гематоксилин-эозином (1, 3), трихромом по Массону (2, 4), пикрофуксином по Ван-Гизону (5), альциановым синим (6). Ув. 100 (1) и 400 (2-6).

Диаметр вставочных и внутридольковых протоков варьировал в пределах 45-80 мкм и составил в среднем $64,1 \pm 13,2$ мкм. Диаметр междольковых выводных протоков был значительно больше и составил $862,3 \pm 97,5$ мкм. Система выводных протоков на всех уровнях окружена хорошо оформленной богатой коллагеновыми волокнами соединительной тканью, толщина которой варьирует в пределах 10-80 мкм.

Эпителиальные клетки протоков кубической формы с округлыми светлыми богатыми эухроматином ядрами. В эпителии, выстилающем междольковые и общий выводной протоки, выявлялись многочисленные бокаловидные клетки. Высота эпителия от вставочных до междольковых протоков равномерно возрастает, варьирует в широких пределах (от 15 до 45 мкм).

Подъязычная слюнная железа соболя черной пушкинской породы альвеоларно-трубчатого строения, смешанного типа с выраженным преобладанием слизистого компонента, снаружи окружена тонкой соединительнотканной капсулой, от которой вглубь органа отходят трабекулы, делящие железу на крупные доли, с хорошо развитой внутридольковой жировой тканью.

Капсула железы малоклеточна, содержит немногочисленные тонкостенные кровеносные сосуды, снаружи покрыта жировой тканью. Толщина капсулы составляет в среднем $264,3 \pm 35,1$ мкм.

Паренхима железы представлена многочисленными серозными, смешанными и преимущественно слизистыми, занимающими основной объем железы. Смешанные ацинусы крупнее серозных, состоят из сероцитов, мукоцитов и лежащих на базальной мембране миоэпителиальных клеток. Сероциты формируют полулуния в составе смешанных ацинусов или отдельные ацинусы, а также присутствуют во вставочных протоках.

Слизистые клетки имеют кубическую или цилиндрическую форму и организованы в трубочки с отчетливым просветом, ядра клеток уплощенной формы, смеще-

ны к периферии.

В апикальной части серозных и слизистых клеток выявляются секреторные гранулы, имеющие в мукоцитах характерное окрашивание при применении ализина-анового синего. Снаружи ацинусы окружены миоэпителиальными клетками. Площадь слизистых ацинусов в среднем составляет $2884,3 \pm 306,7$ мкм², серозных – $1406,2 \pm 111,6$ мкм², смешанных серозно-слизистых – $3041,2 \pm 281,9$ мкм². Площадь сероцита в среднем составила – $116,5 \pm 12,8$ мкм², мукоцита – $262,1 \pm 23,2$ мкм². Площадь ядра сероцитов составила в среднем $24,3 \pm 1,4$ мкм², площадь ядра мукоцита – $15,9 \pm 2,2$ мкм². В соединительнотканых перегородках стромы органа обнаруживаются множественные адипоциты, кровеносные сосуды, нервные стволы, а также вставочные, исчерченные и междольковые выводные протоки, объединяющиеся в общий выводной проток. Диаметр вставочных и внутридольковых протоков варьирует в пределах 50-90 мкм и составил в среднем $62,6 \pm 16,2$ мкм. Диаметр междольковых выводных протоков значительно больше и составляет $723,4 \pm 107,6$ мкм.

Система выводных протоков на всех уровнях окружена хорошо оформленной богатой коллагеновыми волокнами соединительной тканью, толщина которой варьирует в пределах 10-90 мкм. Эпителиальные клетки протоков кубической формы с округлыми светлыми богатыми эухроматином ядрами. Высота эпителия от вставочных до междольковых протоков равномерно возрастает, составляет $16,5 \pm 4,9$ мкм.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование позволило детально изучить и описать видовые гистологические особенности слюнных желез соболя черной пушкинской породы, а также установить их основные морфометрические характеристики, что существенно дополняет существующие данные сравнительной морфологии пушных зверей. Полученные результаты формируют необходимую теоретическую базу для

морфологов и ветеринарных специалистов, расширяя понимание гистологического строения и топографии данных структур у представителей кунных. Практическая значимость работы заключается в возможности применения установленных закономерностей для оптимизации рационов кормления с учетом функциональной специфики слюнных желез, а также в создании основы для совершенствования диагностики и лечебных подходов при травматических повреждениях и патологиях ротовой полости у соболя.

HISTOLOGICAL FEATURES OF THE SALIVARY GLANDS IN SABLES OF THE BLACK PUSHKIN BREED

Kayumova E. I. – Postgraduate student of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0009-0006-2971-7007); **Zelenevskiy N. V.** – Doctor of Veterinary Sciences, Professor (ORCID 0000-0001-6679-6978)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* elina_31_99@mail.ru

ABSTRACT

The study of the anatomical features of the oral apparatus of fur-bearing animals, as one of the promising branches of agriculture, contributes to improving the conditions of their captivity and improving the quality of furs. 10 preparations of salivary glands of physiologically mature black Pushkin sable were studied. The aim of the work is to study the features of the histological structure of the salivary glands of the black Pushkin sable and to determine the morphometric parameters of these organs. Samples of the mandibular, parotid, and sublingual salivary glands were subjected to histological examination. The material was fixed in a 10% solution of neutral formalin for 24 hours, after which it was poured into paraffin according to the generally accepted method. Then sections 5-7 microns thick were made, which were stained with hematoxylin and eosin, picrofuxin according to Van Gieson and trichrome according to Masson in order to identify collagen fibers. Some of the sections

were stained with Alcian blue (pH 2.5), followed by additional staining with Mayer's hematoxylin. Histological preparations were analyzed using a Carl Zeiss AxioSkop 2 plus light-optical microscope (Germany) at magnifications of 40, 100, 200 and 400. Microphotography was performed using an Axio-Cam ERc5s digital camera and AxioVision Rel software. 4.8 (Germany). Morphometric measurements were performed manually using the AxioVision Rel software. 4.8. All anatomical terms correspond to the "International Veterinary Anatomical Nomenclature", fifth edition, translation and Russian terminology by Professor Zelenevsky N. V. (2013). As a result of the study, the features of the histological structure of the salivary glands of sable were revealed, as well as their morphometric parameters were determined.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смоленцева, Е.В./Современное состояние и особенности отрасли пушного звероводства в Российской Федерации // Проблемы современной науки и образования - 2015. - С.15-20.
2. Lari'viere S., Jennings A.P./Family Mustelidae (wea sels and relatives) // Handbook of the mammals of the world. V. 1. Carnivores (D.E. Wilson, K.A. Mittermeier, eds.). Barcelona: Lynx Edicions. - 2009 P. 532–563.
3. Морфология артериального русла больших слюнных желез рыси евразийской / Д. В. Васильев, М. В. Щипакин, А. В. Прусаков [и др.] // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2016. – № 4. – С. 244-245.
4. Чекарова, И. А. Сравнительная морфология нижнечелюстной слюнной железы некоторых плотоядных / И. А. Чекарова, К. А. Васильев// 147 Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник статей. В 3 кн. Международная научно-практическая конференция. - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. - Кн. 2. - С. 466-468.
5. Monakhov, V.G./Martes zibellina (Carnivora: Mustelidae)/Mammalian Species - 2011. V. 43. № 1. P. 75–86.
6. Ступин, А. В. Топография, морфомет-

рия и кровоснабжение скуловой железы у пушных зверей клеточного содержания и собак / А. В. Ступин // Проблемы ветеринарного образования и научных исследований в агропромышленном комплексе: сб. науч. тр. / ИВМ ОмГАУ. - Омск, 2004. - С. 258-261.

7. Васильев, Д. В. Анатомия органов головы рыси евразийской / Д. В. Васильев // Иппология и ветеринария. - 2015. - № 1 (15). - С. 78-81.

8. Особенности гистологической обработки органов и тканей лабораторных животных / Мужикян А.А., Макарова М.Н., Гущин Я.А. // Международный вестник ветеринарии. 2014. - № 2. - С. 103-109.

9. Сравнительная морфология больших слюнных желез у человека и лабораторных животных / Мужикян А.А., Шедько В.В., Заикин К.О., Гущин Я.А., Макарова М.Н., Макаров В.Г. // Морфология. 2020. - Т. 157. - № 1. - С. 79-92.

10. Чекарова, И. А. Ультраструктура околоушной слюнной железы свиньи / И. А. Чекарова, Chae Woong Lim, P. H. Цыбикова // Мат-лы междунар. науч. -практич. конференции «Актуальные вопросы экологической, сравнительной, возрастной и экспериментальной морфологии», посвящ. 100-летию проф. И. А. Спирихова, 2007. - С. 12 - 14.

11. Фролов, Е. В. Морфология нижнечелюстной слюнной железы пятнистого оленя / Вестник ветеринарии. - Ставрополь: -2012. -№ 2(61). -С. 62-65.

12. Требухова, Е. Е. Топография и закономерности роста весовых и линейных показателей подъязычных слюнных желез маралов / Известия алтайского государственного университета. -Барнаул: - 2010. -№ 3-1(67). -С. 55-59.

13. Щипакин, М. В. анатомо-топографические особенности васкуляризации околоушной железы животных-компаньонов / М. В. Щипакин, С. И. Мельников // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. - 2024. - № 4. - С. 151-153. - DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.4.155.

REFERENCES

1. Smolentseva, E.V./The current state and features of the fur farming industry in the Russian Federation // Problems of modern science and education - 2015. - pp.15-20.

2. Lariviere S., Jennings A.P./Family Mustelidae (weeds and relatives) // Handbook of the mammals of the world. V. 1. Carnivores (D.E. Wilson, K.A. Mittermeier, eds.). Barcelona: Lynx Edicions. - 2009 P. 532-563.

3. Morphology of the arterial bed of the large salivary glands of the Eurasian lynx / D. V. Vasiliev, M. V. Shchipakin, A.V. Prusakov [et al.] // Issues of regulatory regulation in veterinary medicine. 2016. No. 4. pp. 244-245.

4. Chekarova, I. A. Comparative morphology of the mandibular salivary gland of some carnivores / I. A. Chekarova, K. A. Vasiliev // 147 Agrarian Science - Agriculture: Collection of articles. In 3 books. International Scientific and Practical Conference. Barnaul: AGAU Publishing House, 2006. Book 2. pp. 466-468.

5. Monakhov, V.G./Martes zibellina (Carnivora: Mustelidae)//Mammalian Species - 2011. V. 43. No. 1. pp. 75-86.

6. Stupin, A. B. Topography, morphometry and blood supply of the zygomatic gland in caged fur-bearing animals and dogs / A. B. Stupin // Problems of veterinary education and scientific research in the agro-industrial complex: collection of scientific papers / IVM OmGAU. Omsk, 2004. pp. 258-261.

7. Vasiliev, D. V. Anatomy of the head organs of the Eurasian lynx / D. V. Vasiliev // Hippology and veterinary medicine. - 2015. - № 1(15). - Pp. 78-81.

8. Features of histological treatment of organs and tissues of laboratory animals / Muzhikyan A.A., Makarova M.N., Gushchin Ya.A. // International Bulletin of Veterinary Medicine. 2014. No. 2. pp. 103-109.

9. Comparative morphology of large salivary glands in humans and laboratory animals / Muzhikyan A.A., Shedko V.V., Zaikin K.O., Gushchin Ya.A., Makarova M.N., Makarov V.G. // Morphology. 2020. - Vol. 157. - No. 1. - pp. 79-92.

10. Chekarova, I. A. Ultrastructure of the parotid salivary gland of a pig / I. A. Che-

karova, Chae Woong Lim, R.N. Tsybikova // Materials of the International Scientific - practical conference "Topical issues of ecological, comparative, age and experimental morphology", dedicated to I. A. Spiryukhov, 2007. pp. 12-14.

11. Frolov, E. V. Morphology of the mandibular salivary gland of spotted deer / Bulletin of Veterinary Medicine. -Stavropol: - 2012. -№ 2(61). - Pp. 62-65.

12. Trebukhova, E. E. Topography and pat-

terns of growth of weight and linear indicators of sublingual salivary glands of marals / Proceedings of the Altai State University. - Barnaul: - 2010. -№ 3-1(67). - Pp. 55-59.

13. Shchipakin, M. V. Anatomical and topographic features of vascularization of the parotid gland of companion animals / M. V. Shchipakin, S. I. Melnikov // Regulatory and legal regulation in veterinary medicine. – 2024. – No. 4. – pp. 151-153. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.4.155.

УДК: 591.111.1: 636.5.034

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.194

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ УТЯТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЦИПРОФЛОКСАЦИНА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СТАФИЛОКОК- КОВОЙ ИНФЕКЦИИ

Присный А.А.* – д-р биол. наук, глав. науч. сотр. Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0001-5229-8337); Скворцов В.Н. д-р ветеринар. наук, руководитель Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0002-9629-0000); Кравцова А.Р. – мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0009-9768-953X); Попова А.Б. – лаборант (ORCID 0009-0006-1325-2751)

ФГБНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский
научно - исследовательский институт экспериментальной ветеринарии
имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН»

*andreyprisny@gmail.com

Ключевые слова: *кровь, эритроциты, лейкоциты, ципрофлоксацин, стафи-
лококк*

Key words: *blood, red blood cells, white blood cells, ciprofloxacin, staphylococcus*

Поступила: 05.02.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Целью данной работы является изучение гематологических показателей крови утят в условиях экспериментального стафилококкоза, при использовании химиотерапевтического препарата ципрофлоксацин, обладающего широким спектром действия. Более активное воздействие ципрофлоксацин оказывает на аэробные грамотрицательные бактерии, а также на стафилококки. Для проведения исследования, сформировано три группы утят (I – контрольная, II и III – опытные). Осуществлено экспериментальное заражение утят II и III групп культурой *Staphylococcus aureus*. За сутки до и в течение четырех суток после заражения утят III группы получали вместе с водой ципрофлоксацин в дозе 200 мг/л. Отбор крови у всех подопытных птиц проводили на первые, третьи, шестые, девятые и тринадцатые сутки после заражения. Исследованы показатели системы эритронов, а также количество лейкоцитов и лейкоцитарная формула, осуществлен расчет лейкоцитарных индексов. Результаты исследований свидетельствуют о положительном влиянии ципрофлоксацина на организм утят в условиях экспериментальной стафилококковой инфекции. Зафиксированные изменения в показателях красной крови были обратимыми, кратковременными и не оказывали негативного воздействия на физиологическое состояние утят. В результате анализа полученных данных, были отмечены статистически значимые изменения показателей белой крови во II и III группах относительно контрольной. Экспериментальное

заражение вызвало кратковременный лейкоцитоз, проявившийся во всех группах опыта. Установлено наличие воспалительной реакции, характеризующейся достоверным увеличением абсолютного количества псевдоэозинофилов и моноцитов в группе II и III в сравнении с контролем. Тем не менее, гематологические показатели крови в III группе были относительно ближе к аналогичным значениям контрольной группы. Динамические сдвиги индексов неспецифической реактивности и эндогенной интоксикации наиболее информативны и продолжительны у экспериментально зараженных утят, не получавших ципрофлоксацин.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Использование антимикробных препаратов в птицеводстве – важный компонент процесса выращивания поголовья, поскольку необходимо нивелировать негативное воздействие комплекса технологических факторов. В частности, для повышения уровня экономической эффективности производства, применяют высокую плотность посадки птицепоголовья, что, зачастую, приводит к возникновению и последующему быстрому распространению инфекционных заболеваний [1, 2, 3].

Серьезной проблемой является стафилококкоз, который оказывает негативное влияние и на взрослую птицу, и на птенцов еще в течение инкубационного периода. В последующем это обуславливает рост падежа в первые несколько суток после вылупления. Кроме того, что стафилококки известны, как основные патогенные микроорганизмы для птиц, около 50% атипичных и типичных видов этих бактерий вырабатывают энтеротоксины, являющиеся причиной пищевых отравлений у людей [4].

Для профилактики развития патологического процесса бактериальной этиологии традиционно используют множество противомикробных средств, в том числе препараты группы фторхинолонов, характеризующихся эффективным механизмом действия на грамотрицательные и грамположительные бактерии [5,6]. Важным свойством фторхинолонов является высокая эффективность при лечении инфекционных заболеваний, вызванных возбудителями, обладающими доказанной антибиотикорезистентностью [7,8]. Ципрофлоксацин – противомикробный препарат из группы фторхинолонов второго поколения, обладает широким спектром антимикробного воздействия, однако его влия-

ние на состояние системы крови птиц изучено недостаточно [9].

Цель данного исследования – изучить гематологические показатели крови утят при применении ципрофлоксацина в условиях экспериментального стафилококкоза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования осуществлены на базе вивария и лаборатории Белгородского филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук». По принципу аналогов, были сформированы три группы утят (по 60 голов) башкирской породы в возрасте 21 суток. Птицы получали, сбалансированный по всем компонентам, основной рацион. Утятам группы III дополнительно на протяжении пяти суток выпаивали ципрофлоксацин в дозе 200 мг/л. Через сутки после начала выпаивания антимикробного препарата осуществлено внутрибрюшинное заражение утят второй и третьей групп культурой *Staphylococcus aureus* в концентрации 5 по McF/

Отбор крови осуществлен на первые, третьи, шестые, девятые и тринадцатые сутки после заражения у 12 утят из каждой группы.

При исследовании гематологических показателей определяли количество эритроцитов и лейкоцитов, гематокрит, цветной показатель, содержание гемоглобина, лейкоцитарную формулу, а также проводили расчет эритроцитарных и лейкоцитарных индексов. Количество эритроцитов и лейкоцитов подсчитывали с использованием камеры Горяева. Содержание гемоглобина – колориметрически гемати-

новым методом. Гематокрит определен расчетным методом по С.А. Акулову с соавт. Расчет лейкоформулы осуществлен в абсолютных значениях, после чего определены лейкоцитарные индексы: лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс, индекс Кребса (индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов), лейкоцитарный индекс, лейкоцитарный индекс интоксикации, индекс сдвига лейкоцитов крови, индекс иммунореактивности [5, 6].

Статистическая обработка полученного цифрового материала осуществлена с использованием программы SPSS Statistic 17.0. В связи с небольшим объемом выборки статистическую значимость полученных результатов оценивали при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Гематологические показатели являются важными и очень лабильными характеристиками физиологического состояния организма в целом и различных функциональных систем в частности, которые с высокой скоростью реагируют на попадание в организм фармакологических агентов [10].

Статистически значимое снижение концентрации гемоглобина, количества эритроцитов и показателя гематокрита в группе II выявлено на третьи сутки эксперимента (таблица 1). На шестые, девятые и тринадцатые сутки показатели системы эритронов утят не претерпевали существенных негативных изменений. Следует отметить, что применение ципрофлоксацина позволило нивелировать возможные отрицательные эффекты стафилококкоза на дыхательную функцию крови.

В результате исследования показателей белой крови было установлено увеличение количества лейкоцитов в группе II в первые, третьи, шестые и девятые сутки эксперимента на 38%, 51%, 18% и 11% соответственно. К тринадцатым суткам число лейкоцитов вернулось к контрольным значениям. Использование ципрофлоксацина в группе III привело к меньшей выраженности инфекционного лейкоцитоза. Рост количества лейкоцитов

зафиксирован на первые, третьи и шестые сутки и составил 36%, 24% и 17% соответственно. На девятые и тринадцатые сутки проявления лейкоцитоза исчезли (таблица 2).

В течение всего эксперимента не удалось установить регулярных статистически значимых изменений в абсолютной численности базофилов. Исключением является кратковременный рост количества этих клеток в крови утят группы III. Однако последующие отборы крови не выявили какой-либо динамики количества базофильных клеток (таблица 2).

Отмечено повышение абсолютного содержания псевдоэозинофилов в период с первых по тринадцатые сутки эксперимента в группах II и III. Следует отметить, что в группе, получавшей ципрофлоксацин, уровень псевдоэозинофилов снижался к концу эксперимента более существенно, по сравнению с аналогичными показателями в группе II. Кроме того, зарегистрировано существенное уменьшение абсолютного числа эозинофилов в опытных группах на шестые, девятые и тринадцатые сутки в группе II и на шестые и девятые сутки в группе III. При этом, в разные дни в группах опыта наблюдали падение уровня эозинофилов в 3-4 раза (таблица 2).

Длительные нерегулярные изменения произошли в абсолютном содержании лимфоцитов (таблица 2). Установлено, что в крови инфицированных утят, получавших ципрофлоксацин, снижение уровня лимфоцитов было продолжительнее и устойчивее, по сравнению с таковыми показателями в группе III. Показательно, что признаки лимфопении так и не исчезли до конца эксперимента.

Абсолютный моноцитоз достоверно выявлен на первые, третьи и шестые сутки в группе II, а также на первые и третьи сутки в группе III. Дальнейшие исследования показали, что к тринадцатым суткам количество моноцитов в крови утят опытных групп возвращалось к контрольным значениям.

Таблица 1 – Показатели системы эритрона утят под влиянием ципрофлоксацина в условиях экспериментальной стафилококковой инфекции (n=12)

Показатели	Сутки	Группа I	Группа II	Группа III
Гемоглобин, г·л ⁻¹	1	107,0±8,47	91,7±6,88	99,3±5,46
	3	113,7±6,97	92,3±6,84*	107,0±6,17
	6	119,3±10,1	112,3±5,47	98,0±8,33
	9	117,7±3,71	119,7±5,55	108,3±11,1
	13	127,3±6,25	120,7±3,64	120,3±4,18
Эритроциты, 10 ¹² ·л ⁻¹	1	1,80±0,04	1,61±0,18	2,13±0,09**
	3	1,87±0,08	1,27±0,09**	1,37±0,09**
	6	1,65±0,13	1,49±0,15	1,73±0,16
	9	1,46±0,09	1,45±0,14	1,49±0,13
	13	1,60±0,07	1,51±0,08	1,54±0,09
Цветной показатель, у.е.	1	1,79±0,16	1,80±0,24	1,40±0,05
	3	1,85±0,16	2,28±0,28	2,38±0,16
	6	2,26±0,29	2,39±0,29	1,79±0,23
	9	2,49±0,22	2,56±0,21	2,23±0,27
	13	2,41±0,17	2,43±0,16	2,37±0,13
Гематокрит, %	1	32,2±2,55	27,6±2,07	29,9±1,64
	3	34,2±2,11	27,8±2,06*	32,2±1,86
	6	35,9±3,05	33,8±1,65	29,5±2,51
	9	35,4±1,12	36,0±1,67	32,6±3,35
	13	38,3±1,88	36,3±1,09	36,2±1,26
МСН, пг	1	59,7±5,23	60,0±7,89	46,7±1,72
	3	61,7±5,31	75,9±9,51	79,4±5,36
	6	75,2±9,95	79,7±9,71	59,7±7,82
	9	82,9±7,36	85,4±7,09	74,3±9,01
	13	80,4±5,66	81,1±5,19	79,0±4,23
MCV, мкм ³	1	179,9±15,7	180,8±23,8	140,7±5,17
	3	185,7±15,9	228,7±28,6	239,1±16,2
	6	226,6±29,9	239,9±29,2	179,9±23,6
	9	249,8±22,2	257,4±21,4	223,6±27,1
	13	242,1±17,1	244,3±15,6	238,0±12,7

Примечание: ** – статистически достоверные различия между значениями параметров в контрольной группе и группах опыта по U-критерию Манна-Уитни при $p < 0,01$.

Таблица 2 – Динамика показателей белой крови утят под влиянием ципрофлосакина в условиях экспериментальной стафилококковой инфекции, $10^9 \cdot \text{л}^{-1}$ (n=12)

Показатели	Сутки	Группа I	Группа II	Группа III
Лейкоциты	1	23,7±1,21	32,7±1,33**	32,3±1,49**
	3	28,0±0,52	42,3±2,33**	34,7±1,12**
	6	25,0±0,86	29,7±1,08*	29,3±1,23*
	9	26,0±0,73	29,0±0,86*	28,0±1,26
	13	26,0±0,73	27,3±1,12	26,7±1,12
Базофилы	1	0,53±0,09	0,46±0,13	0,75±0,18
	3	0,54±0,13	1,24±0,48	1,22±0,35
	6	0,54±0,13	0,73±0,16	1,12±0,15*
	9	0,46±0,08	0,83±0,15	0,82±0,23
	13	0,46±0,09	0,36±0,05	0,48±0,11
Эозинофилы	1	1,22±0,23	0,64±0,13	0,32±0,01**
	3	1,09±0,21	1,64±0,41	2,72±0,58*
	6	2,09±0,53	0,68±0,18*	0,44±0,11**
	9	3,32±0,55	1,17±0,27**	0,89±0,23**
	13	2,67±0,26	0,73±0,18**	2,74±0,93
Псевдо-эозинофилы	1	11,3±0,95	25,5±1,46**	27,9±1,66**
	3	18,6±0,57	32,9±1,84**	24,7±1,45**
	6	14,8±0,99	20,4±0,94**	21,7±1,09**
	9	13,3±0,84	19,1±0,95**	21,7±0,95**
	13	15,5±0,61	20,4±0,89**	18,1±0,73*
Лимфоциты	1	10,4±1,21	5,53±0,55**	2,77±0,44**
	3	7,36±0,48	5,06±0,82*	3,84±0,36**
	6	7,28±0,41	7,25±0,42	5,59±1,04*
	9	8,62±0,93	7,56±0,32	4,27±0,75**
	13	7,11±0,52	5,49±0,49*	5,02±0,26**
Моноциты	1	0,25±0,01	0,57±0,09**	0,56±0,19**
	3	0,41±0,14	1,46±0,21**	2,22±0,35**
	6	0,29±0,03	0,64±0,24*	0,45±0,12
	9	0,30±0,05	0,34±0,04	0,32±0,03
	13	0,26±0,01	0,32±0,06	0,36±0,07

Примечание: ** – статистически достоверные различия между значениями параметров в контрольной группе и группах опыта по U-критерию Манна-Уитни при $p < 0,01$; * – статистически достоверные различия между значениями параметров в контрольной группе и группах опыта по U-критерию Манна-Уитни при $p < 0,05$.

Таблица 3 – Лейкоцитарные индексы крови утят под влиянием ципрофлоксацина в условиях экспериментальной стафилококковой инфекции, у.е. (n=12)

Показатели	Сутки	Группа I	Группа II	Группа III
Лейкоцитарный индекс интоксикации	1	0,96±0,13	3,75±0,45**	6,71±0,93**
	3	1,99±0,12	3,59±0,29**	2,55±0,26
	6	1,51±0,18	2,22±0,17*	3,18±0,45**
	9	1,07±0,12	1,94±0,13**	3,89±0,64**
	13	1,48±0,08	3,03±0,21**	2,23±0,27**
Индекс сдвига лейкоцитов крови	1	1,32±0,19	4,58±0,49**	9,29±1,32**
	3	2,65±0,19	5,78±0,68**	4,83±0,41**
	6	2,33±0,11	2,77±0,11**	4,45±0,71*
	9	2,07±0,31	2,70±0,19	5,74±0,87**
	13	2,60±0,24	3,83±0,31*	3,98±0,26**
Лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс	1	0,85±0,16	0,21±0,03**	0,09±0,02**
	3	0,37±0,03	0,14±0,02**	0,13±0,01**
	6	0,42±0,02	0,33±0,02*	0,25±0,06*
	9	0,52±0,07	0,36±0,02	0,18±0,03**
	13	0,38±0,03	0,26±0,02*	0,24±0,02**
Индекс Кребса	1	1,17±0,17	4,90±0,62**	12,8±3,73**
	3	2,60±0,24	7,73±1,76**	6,59±0,44**
	6	2,06±0,14	2,84±0,19*	4,54±0,74*
	9	1,65±0,22	2,55±0,19**	5,99±1,15**
	13	2,24±0,19	3,85±0,31**	3,65±0,27**
Лейкоцитарный индекс	1	0,98±0,19	0,22±0,03**	0,10±0,02**
	3	0,40±0,03	0,15±0,02**	0,15±0,01**
	6	0,49±0,03	0,36±0,02*	0,27±0,06*
	9	0,67±0,09	0,40±0,03**	0,19±0,04**
	13	0,46±0,04	0,27±0,02**	0,28±0,02**
Индекс иммунореактивности	1	49,0±3,88	13,9±2,97**	8,42±2,01**
	3	27,2±4,37	5,66±1,67**	3,91±1,34**
	6	33,8±3,27	19,0±4,01**	16,6±4,14**
	9	41,8±4,22	27,7±2,96*	17,4±3,39**
	13	37,7±1,45	20,9±2,45**	23,9±3,43**

Примечание: ** – статистически достоверные различия между значениями параметров в контрольной группе и группах опыта по U-критерию Манна-Уитни при $p < 0,01$; * – статистически достоверные различия между значениями параметров в контрольной группе и группах опыта по U-критерию Манна-Уитни при $p < 0,05$.

Существенными и продолжительными были выявленные отличия лейкоцитарных индексов (таблица 3). Так, лейкоцитарный индекс интоксикации повышен относительно контрольных значений в группах II и III в первые (в 4-5 раз), третьи (на 80% и 28%), шестые (на 47% и

110%), девятые (на 81% и 263%), а также тринадцатые сутки (на 104 % и 51 %).

Зафиксировано достоверное увеличение индекса сдвига лейкоцитов крови во II и III группах, начиная с первых суток, что продолжалось на третьи, шестые, девятые и тринадцатые сутки. С первых

суток и до завершения опыта выявлено снижение лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса ИЛГ во II и III группах (таблица 3).

Установлено также длительное повышение индекса Кребса, регистрируемое на протяжении всего исследования. Снижение лейкоцитарного индекса происходило в обеих опытных группах относительно контроля в период с первых по тринадцатые сутки. Необходимо отметить высокую чувствительность индекса иммунореактивности, достоверное изменение которого было самым существенным.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результаты исследований свидетельствуют, в целом, о положительном влиянии ципрофлоксацина на организм утят в условиях экспериментальной стафилококковой инфекции. Экспериментальное заражение вызвало кратковременный лейкоцитоз, аналогично проявившийся во всех группах опыта, что, безусловно, связано с влиянием бактериальных агентов.

Наиболее важные изменения выявлены в лейкоцитарной формуле. Продолжительная эозинопения, являющаяся важным диагностическим явлением, зарегистрирована в группах экспериментально зараженных утят. Известно, что некоторые инфекционные заболевания в начальной стадии развития, характеризуются резким снижением количества эозинофилов. Возвращение численности этих клеток к нормальным значениям соотносят с ослаблением болезни и началом фазы выздоровления. В некоторых случаях эозинопению может сопровождать псевдозозинофилия, а также лимфопения [11], что прослеживается и в наших исследованиях. Продолжительная псевдозозинофилия обнаружена во всех инфицированных группах, так как известно, что псевдозозинофилы первыми взаимодействуют с проникнувшими в организм микробами, активируя тем самым ряд ответных иммунных реакций [12]. Применение ципрофлоксацина позволяет быстрее возвращать измененные показатели к нормальным значениям. Моноцитоз наиболее ярко проявился в инфицированной группе, не

получавшей ципрофлоксацин, что может свидетельствовать о раздражающем влиянии экспериментальной инфекции на ретикуло-эндотелиальную систему.

Зарегистрированы динамические сдвиги индексов неспецифической реактивности и эндогенной интоксикации, при этом обнаруженные изменения наиболее информативны и продолжительны у экспериментально зараженных утят, не получавших ципрофлоксацин.

HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF DUCKLINGS' BLOOD WHEN USING CIPROFLOXACIN IN CONDITIONS OF EXPERIMENTAL STAPHYLOCOCCAL INFECTION

Prisnyi A.A.* – Dr. Biol. Sci., Principal Researcher FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000-0001-9380-4136); **Skvortsov V.N.** – Dr. Vet. sci., Head of Belgorod Department of FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000-0002-9629-0000); **Kravtsova A.R.** – Junior Researcher (ORCID 0000-0003-1340-8024); **Popova A.B.** – laboratory assistant (ORCID 0009-0006-1325-2751)

FGBNU "Federal Scientific Centre — All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Ya.R. Kovalenko of Russian Academy of Sciences"

*andreyprisny@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this work is to study the hematological parameters of ducklings' blood in conditions of experimental Staphylococcosis, using the chemotherapeutic drug ciprofloxacin, which has a wide spectrum of action. Ciprofloxacin has a more active effect on aerobic gram-negative bacteria, as well as on staphylococci. To conduct the study, three groups of ducklings were formed (I – control, II and III – experimental). Experimental infection of ducklings of groups II and III with *Staphylococcus aureus* culture was carried out. The day before and for four days after infection, ducklings of group III received ciprofloxacin at a dose of 200 mg/l together with water. Blood

sampling from all experimental birds was carried out on the first, third, sixth, ninth and thirteenth days after infection. The parameters of the erythron system, as well as the number of leukocytes and the leukocyte formula, were studied, and the leukocyte indices were calculated. The research results indicate a positive effect of ciprofloxacin on ducklings in experimental staphylococcal infection. The recorded changes in red blood counts were reversible, short-term, and did not adversely affect the ducklings' physiological condition. As a result of the analysis of the data obtained, statistically significant changes in white blood parameters in groups II and III were noted relative to the control group. Experimental infection caused short-term leukocytosis, which manifested itself in all experimental groups. The presence of an inflammatory reaction was found, characterized by a significant increase in the absolute number of pseudoeosinophils and monocytes in groups II and III in comparison with the control. Nevertheless, the hematological parameters of blood in group III were relatively closer to those of the control group. Dynamic shifts in the indices of nonspecific reactivity and endogenous intoxication are most informative and prolonged in experimentally infected ducklings that did not receive ciprofloxacin.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Донник, И.М. Клетки крови как индикатор активности стресс-реакций в организме цыплят / И.М. Донник, А.А. Дерхо, С.Ю. Харлап // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 5. – С. 68-71.
2. Катарашвили, А.Ш. Физиология и продуктивность птицы при стрессе / А.Ш. Катарашвили, Т.Н. Колокольникова // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – № 4. – С. 24-37.
3. Сайфутдинова, Л.В. Лейкоциты и их информативность в оценке напряженности стресс - реакции у кур - несушек / Л.В. Сайфутдинова, М.А. Дерхо // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1 (75). – С. 136-139.
4. Evans, J.B. Enterotoxin production by

atypical *Staphylococcus aureus* from poultry / J.B. Evans, G.A. Ananaba, C.A. Pate, M.S. Bergdoll // The Journal of Applied Bacteriology. – 1983. – Vol. 54. – P. 257-261.

5. Моисеева, А.А. Влияние энрофлоксацина на показатели красной крови цыплят при экспериментальном сальмонеллезе / А.А. Моисеева, А.А. Присный // Ученые записки Казанской государственной ветеринарной академии им. Н.Э. Баумана. – 2020. – № 3. – С. 171-175.

6. Присный, А.А. Сравнительный анализ влияния фторхинолонов на лейкограмму фторхинолонов крови цыплят / А.А. Присный, А.А. Моисеева, В.Н. Скворцов // Siberian journal of life science and agriculture. – 2020. – № 2. – Т. 12. – С. 11-24.

7. Gibson, J.S. Fluoroquinolone resistance mechanisms in multidrug-resistant *Escherichia coli* isolated from extraintestinal infections in dogs / J.S. Gibson, R.N. Cobbold, M.T. Kyaw-Tanner, P. Heisig // Veterinary Microbiology. – 2010 – Vol. 146. – P. 161-166.

8. Prisnyi, A.A. The effect of enrofloxacin on blood values of chickens in experimental salmonellosis / A.A. Prisnyi A.A., A.A. Moiseeva, V.N. Skvortsov, V.V. Nevzorova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020 – Vol. 548 – 42037.

9. Журавлева, А.З. Иммунотоксические свойства препарата ципровет 10% орального / А.З. Журавлева // Ветеринарная патология. – 2010. – №2 (33). – С. 53-55.

10. Tamaoki, J. The effect of macrolides on inflammatory cells / J. Tamaoki // Chest. – 2004. – Vol. 125. – P. 415-512.

11. Харлап, С.Ю. Стресс-реакция как индикатор адаптационного потенциала гибридных цыплят кросса Ломан-белый: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.03.01 / Харлап Светлана Юрьевна. – Казань, 2017. – 24 с.

12. Игнатов, П.Е. Иммуитет и инфекция. Возможность управления / П.Е. Игнатов. – М: Время, 2002. – 352 с.

REFERENCES

1. Donnik, I.M. Blood cells as an indicator of the activity of stress reactions in the body

- of chickens / I.M. Donnik, A.A. Derkho, S.Y. Kharlap // *Agrarian Bulletin of the Urals*. – 2015. – № 5. – P. 68-71. (In Russ.)
2. Katarashvili, A.S. Physiology and productivity of poultry under stress / A.S. Katarashvili, T.N. Kolokolnikova // *Agricultural biology*. – 2010. – № 4. – P. 24-37. (In Russ.)
3. Sayfutdinova, L.V. Leukocytes and their informativeness in assessing stress response intensity in laying hens / L.V. Sayfutdinova, M.A. Derkho // *Proceedings of the Orenburg State Agricultural University*. – 2019. – № 1 (75). – P. 136-139. (In Russ.)
4. Evans, J.B. Enterotoxin production by atypical *Staphylococcus aureus* from poultry / J.B. Evans, G.A. Ananaba, C.A. Pate, M.S. Bergdoll // *The Journal of Applied Bacteriology*. – 1983. – Vol. 54. – P. 257-261.
5. Moiseeva, A.A. The effect of enrofloxacin on the red blood parameters of chickens with experimental salmonellosis / A.A. Moiseeva, A.A. Prisnyi // *Scientific notes of the Kazan State Veterinary Academy named after N.E. Bauman*. – 2020. – № 3. – P. 171-175. (In Russ.)
6. Prisnyi, A.A. Comparative analysis of the effect of fluoroquinolones on the leukogram of fluoroquinolones in chicken blood / A.A. Prisnyi, A.A. Moiseeva, V.N. Skvortsov // *Siberian journal of life science and agriculture*. – 2020. – № 2. Vol. 12. – P. 11-24. (In Russ.)
7. Gibson, J.S. Fluoroquinolone resistance mechanisms in multidrug-resistant *Escherichia coli* isolated from extraintestinal infections in dogs / J.S. Gibson, R.N. Cobbold, M.T. Kyaw-Tanner, P. Heisiq // *Veterinary Microbiology*. – 2010 – Vol. 146. – P. 161-166.
8. Prisnyi, A.A. The effect of enrofloxacin on blood values of chickens in experimental salmonellosis / A.A. Prisnyi A.A., A.A. Moiseeva, V.N. Skvortsov, V.V. Nevzorova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020 – Vol. 548 – 42037.
9. Zhuravleva, A.Z. Immunotoxic properties of ciprovet 10% oral / A.Z. Zhuravleva // *Veterinary pathology*. – 2010. – № 2 (33). – P. 53-55. (In Russ.)
10. Tamaoki, J. The effect of macrolides on inflammatory cells / J. Tamaoki // *Chest*. – 2004. – Vol. 125. – P. 415-512.
11. Kharlap, S.Y. Stress response as an indicator of the adaptive potential of hybrid chickens of the Loman-white cross: Abstract of the dissertation. ... kand. Biology: 03.03.01 / Kharlap Svetlana Yurievna. – Kazan, 2017. – 24 p. (In Russ.)
12. Ignatov, P.E. Immunity and infection. The possibility of management / P.E. Ignatov. – Moscow: Time, 2002. – 352 p. (In Russ.)

УДК: 577.112.083:616-006

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.203

РОЛЬ БЕЛКА БРОМОДОМЕНА-4 (BRD4) В РЕГУЛЯЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ И ПРОЛИФЕРАЦИИ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК: МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Смирнова Е.А. – канд. биол. наук, доц. каф. иммунологии и биотехнологии (ORCID 0000-0001-8805-617X); Иванникова Р.Ф.* – канд. биол. наук, доц. каф. физиологии, фармакологии и токсикологии (ORCID 0000-0002-3522-0447); Бузмакова Н.А. – асс. каф. иммунологии и биотехнологии (ORCID: 0009-0009-1565-2814).

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина»
(ФГБОУ ВО МГАВМиБ - МВА имени К.И. Скрябина)

* regiotf@yandex.ru

Ключевые слова: стволовые клетки, эпигенетическая регуляция, бромодомен-4 (BRD4), дифференцировка, пролиферация, суперэнхансеры, ингибиторы BET, онкогенез.

Key words: stem cells, epigenetic regulation, bromodomain-4 (BRD4), differentiation, proliferation, superenhancers, BET inhibitors, oncogenesis.

Поступила: 11.08.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Целью данного обзора явилось понимание, в каких ситуациях блокада белка BRD4 даёт противоопухолевый или антифибротический эффект, а когда она может мешать естественной регенерации тканей. Выполнен целевой обзор публикаций в PubMed, Scopus и Web of Science оригинальных исследовательских работ и клинических испытаний. В анализ включены исследования о роли BRD4 в «суперэнхансерах» участках ДНК, которые усиливают работу генов, данные по регенерации и фиброзу, а также результаты применения ингибиторов семейства BET и деградёров BRD4. BRD4 — ключевой узел, поддерживающий активность генов, определяющих «поведение» клетки; из-за этого многие опухоли, зависящие от суперэнхансеров, становятся уязвимыми к вмешательству в BRD4. Наиболее убедительный клинический эффект показан при миелофиброзе: добавление BET-ингибитора к руксолитинибу превосходит стандартную монотерапию по основным исходам. При раке предстательной железы комбинации с BET-ингибиторами дают воспроизводимый сигнал эффективности в отобранных подгруппах, тогда как монотерапия часто ограничено активна. Одновременно умтановлено, что длительная или «тотальная» блокада BRD4 может ухудшать

функции тканей, где он нужен для поддержания гомеостаза (например, сердца и формирующейся костной ткани), тогда как при кожном фиброзе BET-ингибция уменьшает активность миофибробластов и выраженность фиброза. Существенен и выбор подхода: пан-BET/BD1-ориентированные режимы более уместны в онкологии; BD2-селективные — при воспалениях и фиброзе; PROTAC-подходы перспективны, но требуют адресной доставки и тщательного контроля безопасности. Блокада BRD4 оправдана там, где доминирует патологическая суперэнхансер-зависимая транскрипция, и эффективнее работает в составе продуманных комбинаций и при биомаркерном отборе пациентов. Длительную системную экспозицию следует избегать в фазах активного восстановления тканей, отдавая предпочтение кратким, локальным или доменно-селективным схемам.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Бромодомен-содержащий белок 4 (BRD4) — ключевой «ридер» ацетилированных гистонов семейства BET, который организует активность суперэнхансеров (СЭ), снимает паузу РНК-полимеразы II и тем самым поддерживает экспрессию генов клеточной идентичности и онкогенных драйверов (например, *MYC*) [1–3].

Эта двойная роль, т.е. поддержка нормальных регенеративных программ и подпитка патологических СЭ-сетей в опухолях — делает BRD4 привлекательной, но терапевтической мишенью с узким окном безопасности. В современных исследованиях установлено, что селективная блокада BRD4 (в т.ч. по доменам BD1/BD2) может избирательно подавлять онкогенные транскрипционные узлы при более щадящем влиянии на нормальные ткани, если учитывать дозу, длительность и тканевый контекст [4]. Одновременно системное подавление BRD4 несёт риски для регенерации и гомеостаза. В сердце кардиомиоцит-специфическая утрата BRD4 у взрослых животных ведёт к быстрой потере сократимости и митохондриальной дисфункции, тогда как фармакологическая BET-ингибция способна ослаблять патологическое ремоделирование [5]. В коже ингибирование BET предотвращает фиброз в bleomycin-модели, а в костной ткани BRD4, напротив, поддерживает остеогенную дифференцировку hBMSC [6,7].

При проведении исследований с анализом клинической картины установлено, что наибольший эффект достигается в комбинированных режимах. Наиболее поздние данные — при миелофиброзе:

добавление ингибитора BET к руксолитинибу превосходило стандарт JAK-ингибирования по клиническим исходам и признакам модификации заболевания (MANIFEST-2; *Nature Medicine*, 2025) [8].

Цель обзора: критический разбор, когда и как блокада BRD4 обеспечивает противоопухолевый/антифибротический эффект и в каких ситуациях она может препятствовать регенерации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для подготовки данного аналитического обзора был проведен систематический поиск и анализ научной литературы. Поиск публикаций осуществлялся в электронных базах данных Scopus и PubMed. Критериями включения публикаций являлись оригинальные исследовательские статьи и обзоры, опубликованные в рецензируемых журналах преимущественно за период 2000-2023 гг., содержащие экспериментальные данные *in vitro* и *in vivo* о роли BRD4 в стволовых клетках. Были проанализированы механистические исследования, данные по экспрессии генов, результаты нокдауна/нокаута BRD4, применения ингибиторов BET (например, JQ1, iBET), а также исследования, связывающие функции BRD4 с онкогенезом и регенеративной медициной. Отбор, оценка качества, синтез информации и обобщение результатов проводились авторами обзора.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Высокочувствительное профилирование транскрипции (HiS-NET-seq) показало, что активность энхансеров и целевых генов во многом зависит от BRD4, причём вмешательство в BRD4 ведёт к широкому подавлению транскрипции именно

на суперэнхансерных узлах — тех самых, которые поддерживают гены клеточной идентичности и онкогенные драйверы [9].

В онкотерапии при миелофиброзе в рандомизированном исследовании III фазы MANIFEST-2 комбинация *pelabresib* + *руксолитиниб* превзошла монотерапию *ЯК*-ингибитором по клинической пользе. В терапии рака предстательной железы (мКРППЖ) в фазе Ib/IIa добавление пан-*ВЕТ*-ингибитора ZEN-3694 к энзалутамиду у предлеченных пациентов показало приемлемую переносимость и эффективность (особенно в подгруппах с низкой активностью *АР*-сигнатуры), что поддерживает стратегию биомаркерного отбора и комбинирования для преодоления резистентности к антиандрогенной терапии [16].

Генетическая утрата *BRD4* в зрелых кардиомиоцитах нарушает митохондриальный гомеостаз и ведёт к быстрой декомпенсации функции сердца [10]. Фармакологическая *ВЕТ*-ингибция (*JQ1*) в модели *bleomycin* предотвращает дермальный фиброз и уменьшает α -*SMA*-позитивные миофибробласты и воспалительную инфильтрацию — блокада *BRD4* даёт антифибротический эффект [11]. В *hBMSC* *BRD4* способствует остеогенезу (через ось *WNT4* и торможение *NF- κ B*); следовательно, тотальная продолжительная блокада в фазе активного костеобразования нежелательна [12].

Селективность по доменам и глубина воздействия определяют баланс «эффективность/безопасность». *BD1*-ингибиторы чаще фенотипируют пан-*ВЕТ*-эффекты в онкомоделях, тогда как *BD2*-ингибиторы проявляют преимущественно противовоспалительные/антифибротические эффекты — щадя регенерацию [13]. *PROTAC*-деградёры (например, *ARV-771*) обеспечивают более глубокое и устойчивое подавление *BRD4*-зависимых сетей с регрессией опухолей в предклинических моделях резистентного РПЖ, но требуют особого внимания к токсичности и адресной доставке [14].

Суммарная картина, вытекающая из

представленных данных, заключается в том, что *BRD4* выступает не просто «усилителем» транскрипции, а центральным узлом, который поддерживает работу суперэнхансеров, от которых зависят как устойчивость онкогенных программ, так и стабильность регенеративных сетей тканей; поэтому любая терапевтическая интервенция в *BRD4* неизбежно балансирует между желательной супрессией патологических узлов и риском подрыва физиологического гомеостаза, особенно в условиях активного восстановления тканей [9–12,13]. Об этом свидетельствуют результаты высокочувствительного профилирования транскрипции, где вмешательство *BRD4* диспропорционально «глушит» суперэнхансерные модули, а также доменная селективность *ВЕТ*-белков: *BD1* в большей степени «держит» конститутивные узлы и онкогенную экспрессию, тогда как *BD2* критичен для индуцируемых воспалительных ответов, что логично смещает терапевтические приоритеты — *BD1*/пан-*ВЕТ* для опухолей с выраженной зависимостью от *СЭ* и *BD2*-ориентированные режимы для процессов с преобладанием воспалительно-фибротической патологии [9, 13].

В связи с этим становится понятной разница между «сигналом» и «реальной пользой» в клинике: при миелофиброзе комбинация с *руксолитинибом* обеспечивает не только улучшение стандартных показателей (уменьшение размеров селезёнки, снижение симптоматики), но и признаков модификации основной причины болезни, что указывает на адресное подавление патологического транскрипционного драйва на фоне *ЯК*-ингибирования; при этом профиль токсичности остаётся ожидаемым и проявляется анемией, тромбоцитопенией, что косвенно подтверждает достижимость терапевтического окна при комбинированных экспозициях [15]. В опухолях (на примере мКРППЖ) наблюдается воспроизводимый «сигнал» эффективности при добавлении ZEN-3694 к антиандрогенной терапии, причём наибольший эффект наблюдается в подгруппах с низкой *АР*-

активностью — то есть там, где опухоль меньше «держится» на классическом AR-транскрипционном контуре и больше уязвима к супрессии СЭ-узлов, что вновь подводит к необходимости биомаркерного отбора и рациональных комбинаций [16]. Так выстраивается практический принцип: чем выраженнее зависимость опухоли от суперэнхансерных сетей (и чем более разобщены доминирующие драйверы сигнально-транскрипционной оси), тем выше шансы получить клиническую пользу от вмешательства в BRD4 — но скорее в составе комбинированных режимов, чем в виде монотерапии [9, 13, 15–16].

С другой стороны, накопленные данные по регенерации наглядно демонстрируют узость терапевтического окна для системной и глубокой (тотальной) блокады BRD4: кардиомиоцитарный гомеостаз чувствителен к полной утрате BRD4 (на уровне митохондриального метаболизма и сократительной функции), что диктует осторожность применения при длительных экспозициях у пациентов с кардиальными рисками, в то время как в дермально-соединительной ткани фармакологическая ингибция BET способна эффективно разрывать фибротические петли (уменьшение толщины дермы, α -SMA-позитивных миофибробластов и воспалительной инфильтрации в bleomycin-модели) [10,11]. Ещё более тонкий баланс прослеживается в костной ткани: BRD4 способствует остеогенной дифференцировке hBMSC через ось WNT4/NF- κ B, и, следовательно, полная и продолжительная блокада в фазе активного остеогенеза нежелательна, тогда как кратковременные режимы теоретически могут сохранить регенеративный потенциал, одновременно подавляя патологическое воспаление или фиброз [12]. В сумме это означает, что не только «сила удара», но и «точка приложения» (доменная селективность, длительность, локальность) определяют клинический исход [10–12].

Выбор терапевтической модальности также должен подчиняться принципу «достаточно, но не чрезмерно»: BD1-

селективные ингибиторы фенокопируют пан-BET-эффекты на онкогенные сети и поэтому перспективны там, где критичны конститутивные СЭ-узлы, тогда как BD2-селективность, по всей видимости, позволяет добиваться противовоспалительных и антифибротических эффектов с меньшим давлением на регенерацию; напротив, PROTAC-деградёры BRD4 (типа ARV-771), обеспечивая глубокое и устойчивое «выключение» BET-сети и регрессию опухолевых моделей. В связи с этим необходимо обеспечивать адресную доставку при мониторинге токсичности [13–14]. С практической стороны это трансформируется в проектирование режимов «пульс-ингибирования» или локальной экспозиции, где глубина эффекта достаточна для подавления онкопрограмм, но время экспозиции и тканевая селективность ограничивают воздействие на процессы регенерации; клинически это сочетается с биомаркерным отбором (сигнатуры СЭ-зависимости, транскрипционные профили драйверов) и сочетанием с таргетами, устраняющими «резервные пути» (например, JAK в миелофиброзе, AR-ось в РПЖ) [13, 15,16].

Кроме того, гетерогенность моделей и конечных точек не позволяет переносить результаты доклинических испытаний, проведенных *in vitro* и *in vivo* с участием лабораторных животных, на целевых животных, а суррогатные маркеры «попадания в цель» (например, транскриптомные сигнатуры СЭ-активности) пока недостаточно стандартизованы; тем не менее согласованность направленности эффектов — от подавления транскрипции на суперэнхансерах до клинических улучшений с подтверждённым патогенетическим драйвом — указывает, что дальнейший прогресс зависит не от «ещё одного» пан-BET-ингибитора, а от точной стратификации пациентов, подбора доменной/модальной селективности и разумного комбинирования с учётом тканевой физиологии и фазы заболевания [9,16].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, совокупность данных подтверждает, что BRD4 является центральным эпигенетическим интегратором суперэнхансерных сетей, от которых зависят как онкогенные драйверы, так и регенеративные программы нормальных тканей. Селективная блокада способна избирательно подавлять СЭ-зависимые онкоконтурсы, но требует точного дозовременного и тканевого контроля, чтобы не подорвать физиологический гомеостаз [9,13]. Наибольшая клиническая ценность продемонстрирована с подтверждённым транскрипционным драйвом и рациональными комбинациями: при миелофиброзе добавление *pelabresib* к *руксолитинибу* превосходит стандарт *ЯК-ингибирования* по ключевым исходам, тогда как в *мКРРПЖ* пан-BET-ингибитор *ZEN-3694* в сочетании с антиандрогенной терапией обеспечивает воспроизводимый сигнал эффективности в биомаркерно определяемых подгруппах; вместе это указывает, что комбинации, подобранные по биомаркерам предпочтительнее монотерапии [15,16]. В то же время тканеспецифические данные предупреждают о узком терапевтическом окне: полная блокада BRD4 неблагоприятна для кардиомиоцитарного гомеостаза и активного остеогенеза, тогда как при фиброзе кожи BET-ингибция даёт выраженный антифибротический эффект, — что диктует выбор щадящих экспозиций, локальной доставки и доменной селективности при воспалительно-фибротических показателях [10–12].

Практически это означает следующее:

1) для опухолей с выраженной СЭ-зависимостью целесообразны пан-BET/BD1-ориентированные стратегии в составе комбинаций, нацеленных на «резервные пути» (ЯК-ось в МФ, AR-ось в РПЖ);

2) для состояний, где важен противовоспалительный/антифибротический эффект при сохранении регенерации, приоритетны BD2-селективные режимы;

3) PROTAC-деградёры уместны при наличии адресной доставки и строгого

мониторинга токсичности, учитывая их глубину подавления BRD4-сетей [13,14,15,16].

Ключевые ограничения на сегодняшний день — гетерогенность моделей и недостаточная стандартизация биомаркеров «попадания в цель» — задают повестку дальнейших исследований: стандартизировать сигнатуры СЭ-зависимости, валидировать режимы «пульс-ингибирования» и локальной доставки и проводить проспективные биомаркер-стратифицированные испытания. В целом ответ на поставленную цель формулируется так: блокировать BRD4 рационально там, где доминирует патологическая СЭ-зависимая транскрипция (рак/фиброз) и где комбинации позволяют расширить терапевтическое окно, избегая длительной системной экспозиции в фазах активной регенерации тканей [9–16].

THE ROLE OF BROMODOMAIN PROTEIN-4 (BRD4) IN THE REGULATION OF STEM CELL DIFFERENTIATION AND PROLIFERATION: MOLECULAR MECHANISMS AND THERAPEUTIC PERSPECTIVES

Smirnova E.A. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Immunology and Biotechnology (ORCID 0000-0001-8805-617X), **Ivannikova R.F.*** – Associate Professor of the Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology, Candidate of Biological Sciences (ORCID 0000-0002-3522-0447), **Buzmakova N.A.** – Assistant Professor of the Department of Immunology and Biotechnology (ORCID 0009-0009-1565-2814).

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin»

*regiotf@yandex.ru

ABSTRACT

The aim was to identify clinical and biological situations in which BRD4 inhibition provides anti-tumor and/or anti-fibrotic benefit, and when it may interfere with physio-

logical tissue regeneration. A targeted search of PubMed, Scopus, and Web of Science identified original research and clinical trials. We included studies on BRD4 function at super-enhancers (genomic regions that strongly amplify gene transcription), data on regeneration and fibrosis, and reports on BET inhibitors and BRD4 degraders. BRD4 is a key node sustaining the activity of genes that determine cellular “behavior”; consequently, tumors dependent on super-enhancers are vulnerable to BRD4-directed interventions. The most convincing clinical effect has been shown in myelofibrosis: adding a BET inhibitor to ruxolitinib outperforms standard monotherapy on major endpoints. In prostate cancer, combinations with BET inhibitors show a reproducible signal of efficacy in selected subgroups, whereas BET monotherapy in solid tumors is often only modestly active. At the same time, prolonged or “total” BRD4 blockade can impair functions of tissues that require BRD4 for homeostasis (e.g., the heart and actively forming bone), while BET inhibition reduces myofibroblast activity and dermal fibrosis in preclinical models. Modality matters: pan-BET/BD1-oriented regimens are more appropriate in oncology; BD2-selective strategies fit inflammatory/fibrotic contexts; PROTAC-based approaches are promising but require targeted delivery and careful safety monitoring. BRD4 inhibition is justified where pathological super-enhancer-dependent transcription predominates and is more effective as part of well-designed combination regimens with biomarker-guided patient selection. Prolonged systemic exposure should be avoided during active tissue repair, favoring short, local, and/or domain-selective regimens.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hnisz D. et al. Super-enhancers in the control of cell identity and disease. *Cell*. 2013;155(4):934–947. DOI: 10.1016/j.cell.2013.09.053.
2. Lovén J. et al. Selective inhibition of tumor oncogenes by disruption of super-enhancers. *Cell*. 2013;153(2):320–334. DOI: 10.1016/j.cell.2013.03.036.
3. Bressin A. et al. High-sensitive nascent transcript sequencing reveals BRD4-specific control of widespread enhancer and target gene transcription. *Nat Commun*. 2023;14:5289.
4. Gilan O. et al. Selective targeting of BD1 and BD2 of the BET proteins in cancer and immunoinflammation. *Science*. 2020;368(6489):387–394. DOI: 10.1126
5. Padmanabhan A. et al. BRD4 interacts with GATA4 to govern mitochondrial homeostasis in adult cardiomyocytes. *Circulation*. 2020;142(24):2338–2355.
6. Vichaikul S. et al. Inhibition of bromo-domain extraterminal histone readers reprograms fibroblast activation and ameliorates fibrosis. *JCI Insight*. 2022;7(7):e150871.
7. Ning T. et al. BRD4 facilitates osteogenic differentiation of human bone marrow mesenchymal stem cells via WNT4/NF- κ B. *J Orthop Surg Res*. 2023;18:814.
8. Rampal R.K. et al. Pelabresib plus ruxolitinib for JAK inhibitor-naïve myelofibrosis: a randomized phase 3 trial (MANIFEST-2). *Nature Medicine*. 2025.
9. Bressin A. et al. High-sensitive nascent transcript sequencing reveals BRD4-specific control of widespread enhancer and target gene transcription. *Nature Communications*. 2023;14:5289.
10. Padmanabhan A. et al. BRD4 interacts with GATA4 to govern mitochondrial homeostasis in adult cardiomyocytes. *Circulation*. 2020;142(24):2338–2355.
11. Vichaikul S. et al. Inhibition of BET readers prevents bleomycin-induced skin fibrosis and reprograms fibroblast activation. *JCI Insight*. 2022;7(7):e150871.
12. Ning T. et al. BRD4 facilitates osteogenic differentiation of human bone marrow MSCs via WNT4/NF- κ B pathway. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2023;18:814.
13. Gilan O. et al. Selective targeting of BD1 and BD2 of BET proteins in cancer and immunoinflammation. *Science*. 2020;368(6489):387–394.
14. Raina K. et al. PROTAC-induced BET protein degradation as a therapy for castration-resistant prostate cancer. *PNAS*. 2016;113(26):7124–7129.

15. Rampal R.K. et al. Pelabresib + ruxolitinib for JAK inhibitor-naïve myelofibrosis: randomized phase 3 (MANIFEST-2). *Nature Medicine*. 2025; published online 10 March 2025.

16. Aggarwal R. et al. A Phase Ib/IIa Study of the pan-BET inhibitor ZEN-3694 + enzalutamide in mCRPC: safety and efficacy signals. *Clinical Cancer Research*. 2020;26(20):5338–5347.

REFERENCES

1. Hnisz D, et al. Super-enhancers in the control of cell identity and disease. *Cell*. 2013;155(4):934–947. doi:10.1016/j.cell.2013.09.053.

2. Lovén J, et al. Selective inhibition of tumor oncogenes by disruption of super-enhancers. *Cell*. 2013;153(2):320–334. doi:10.1016/j.cell.2013.03.036.

3. Bressin A, et al. High-sensitive nascent transcript sequencing reveals BRD4-specific control of widespread enhancer and target gene transcription. *Nat Commun*. 2023;14:5289.

4. Gilan O, et al. Selective targeting of BD1 and BD2 of the BET proteins in cancer and immunoinflammation. *Science*. 2020;368(6489):387–394. doi:10.1126/science.aaz8455.

5. Padmanabhan A, et al. BRD4 interacts with GATA4 to govern mitochondrial homeostasis in adult cardiomyocytes. *Circulation*. 2020;142(24):2338–2355.

6. Vichaikul S, et al. Inhibition of bromo-domain extraterminal histone readers reprograms fibroblast activation and ameliorates fibrosis. *JCI Insight*. 2022;7(7):e150871.

7. Ning T, et al. BRD4 facilitates osteogenic differentiation of human bone marrow mesenchymal stem cells via WNT4/NF-κB. *J Orthop Surg Res*. 2023;18:814.

8. Rampal RK, et al. Pelabresib plus ruxolitinib for JAK inhibitor-naïve myelofibrosis: a randomized phase 3 trial (MANIFEST-2). *Nature Medicine*. 2025.

9. Bressin A, et al. High-sensitive nascent transcript sequencing reveals BRD4-specific control of widespread enhancer and target gene transcription. *Nature Communications*. 2023;14:5289.

10. Padmanabhan A, et al. BRD4 interacts with GATA4 to govern mitochondrial homeostasis in adult cardiomyocytes. *Circulation*. 2020;142(24):2338–2355.

11. Vichaikul S, et al. Inhibition of BET readers prevents bleomycin-induced skin fibrosis and reprograms fibroblast activation. *JCI Insight*. 2022;7(7):e150871.

12. Ning T, et al. BRD4 facilitates osteogenic differentiation of human bone marrow MSCs via WNT4/NF-κB pathway. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2023;18:814.

13. Gilan O, et al. Selective targeting of BD1 and BD2 of BET proteins in cancer and immunoinflammation. *Science*. 2020;368(6489):387–394. doi:10.1126/science.aaz8455.

14. Raina K, et al. PROTAC-induced BET protein degradation as a therapy for castration-resistant prostate cancer. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016;113(26):7124–7129. doi:10.1073/pnas.1521738113.

15. Rampal RK, et al. Pelabresib + ruxolitinib for JAK inhibitor-naïve myelofibrosis: randomized phase 3 (MANIFEST-2). *Nature Medicine*. 2025; published online March 10, 2025.

16. Aggarwal RR, et al. A Phase Ib/IIa study of the pan-BET inhibitor ZEN-3694 plus enzalutamide in metastatic castration-resistant prostate cancer: safety and efficacy signals. *Clin Cancer Res*. 2020;26(20):5338–5347. doi:10.1158/1078-0432.CCR-20-1707.

УДК: 619+616.314-008.8:636.7

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.210

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАЗУБНОГО КАМНЯ У СОБАК

Фролов В.В.¹ – д-р биол. наук, проф. каф. болезни животных и ветеринарно-санитарной экспертизы; **Егунова А.В.**¹ – канд. биол. наук, доц. каф. болезни животных и ветеринарно-санитарной экспертизы; **Иванцов В.А.**^{2*} – канд. биол. наук, доц. каф. анатомии и гистологии животных им. профессора А.Ф. Климова; **Фомина Ю.А.**³ – канд. хим. наук, доцент, зав. каф. общей, биоорганической и фармацевтической химии, начальник лаборатории по исследованию и контролю качества лекарственных средств; **Пузанов Д.А.**³ – химик эксперт лаборатории по исследованию и контролю качества лекарственных средств, мл. науч. сотр. лаборатории нанобиотехнологии института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН.

¹ ФГБОУ ВО Вавиловский университет

² ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина

³ ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского Минздрава России

* ivancov@mgavm.ru

Ключевые слова: ветеринарная стоматология, назубный камень, одонтогенные образования, химический состав минерализованных образований на зубах, собаки.

Keywords: veterinary dentistry, odontolith, odontogenic formations, chemical composition of mineralized formations on teeth, dogs.

Поступила: 20.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В статье представлен химический состав нативного назубного камня у собак. Исследования выполнены на базе кафедры болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО Вавиловского университета, на базе лаборатории по исследованию и контролю качества лекарственных средств ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского Минздрава России и кафедре анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина. Объектом для исследования служили собаки (n=300) Материалом для исследования являлся нативный назубный камень, который получали при проведения санации зубочелюстной системы у собак в ветеринарной клинике «Центральная на Московской» (г. Саратов). Применяли лабораторный метод, включающий в себя качественный и количественный химический анализ, который установил разнообразное количество минеральных аккумулятивных образований. Так, максимальных показателей достигал кальций - $384,67 \pm 6,51$ мг/г и углекислый газ - $154,84 \pm 2,56$ мг/г, а минимальных – фосфор - $1,15 \pm 0,02$ мг/г и фторид-ионы - $0,23 \pm 0,04$ мг/г. По нашему мнению, на минеральный состав назубного камня способно влиять множество факторов, такие как особенности кормления и содержания, время нахождения данного образования на поверхности зубов, степень его минерализации, возраст животного, порода и морфологический тип головы. Представленные нами данные могут служить экстраполяционными результатами, благодаря которым можно со-

здать более полную картину химического состава назубного камня у собак, что важно учитывать при санации ротовой полости.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Изучение биогенных взаимосвязей минеральных элементов с микрофлорой ротовой полости, являются одной из фундаментальных задач современной ветеринарной стоматологии [8, 10-15]. К объектам таких исследований относятся биоминералы, образование которых связано с жизнедеятельностью организма [1]. В настоящее время у человека насчитывают порядка 200 биоминералов, содержащихся в назубном камне [2, 3]. Однако таких данных по составу назубного камня у мелких домашних животных в доступной нам литературе не обнаружено [8, 10-15].

В доступных литературных источниках указано, что назубный камень это затвердевший и минерализованный назубный налет [1, 2, 6, 11-13], процесс минерализации которого возникает в результате осаждения неорганических веществ в назубном налете, которые поступают из ротовой жидкости [2, 7, 10, 13]. Многие авторы рассматривают назубный камень, как разновидность защитной антибактериальной реакции внутренней среды полости рта, так как процесс минерализации назубного налета способен создавать неблагоприятные условия для развития патогенной микрофлоры [3, 6, 13].

В ветеринарной стоматологии назубный камень у собак относят к приобретённым одонтогенным образованиям, который формируется в течение всей жизни животных [8, 10-15], и является одним из этапов патоморфогенеза всех адгезивно-кумулятивных конгломератов, возникающих с момента начала процесса минерализации назубного налета [7, 10, 15].

Из доступных литературных источников известно, что процесс патологического развития назубного камня у собак зависит от множества факторов [12, 13, 15]. В первую очередь выделяют породную предрасположенность собак к его формированию [6, 7]. Это карликовые и мелкие породы собак, у которых данная патоло-

гия может регистрироваться в 100 % случаев. Ряд авторов указывают на то, что распространение назубного камня, как и устойчивость к нему, среди карликовых и мелких пород имеет породную зависимость [11-13].

Большую роль отводят особенностям кормления и содержания домашних животных [5, 10-15]. Среди собак, получающих мягкие корма в рационе, с преобладанием каш или хлеба, все назубные образования ускоренно развиваются, а их процесс минерализации усиленно протекает [10]. У животных, не способных к полной механической обработке корма, отмечается на 30-40 % выше распространенность назубного камня.

Породный морфотип головы собак играет определенную роль в развитии многих одонтогенных образований. Так, по мнению Слесаренко Н.А., Иванцова В.А. (2024) у собак с мезоцефалическим типом головы назубный камень встречается значительно чаще, по сравнению с собаками имеющие долихо- или брахицефалический тип головы [8, 15].

Известно, что для формирования назубного камня у человека требуется наличие зубного налета и появление на нем центров кристаллизации. Около 90% массы зубного камня составляют различные минеральные вещества [1, 3, 6]. Среди них наиболее распространены кальций, магний и фосфаты. Около 50% всех кристаллических веществ зубного камня приходится на долю фосфата кальция [2, 7]. Его накопление приводит к образованию слабоминерализованного и плохо адгезивного назубного камня, который можно легко удалить с поверхности коронки зуба. В составе такого камня встречаются также соединения фтора в виде фторапатита и органические фтор содержащие образования. Из органических веществ в зубном камне присутствуют белки, свободные аминокислоты и углеводы [1, 3, 6].

Различают наддесневой и поддесневой назубный камень. Они отличаются по

локализации, химическому составу и по процессу образования. От количества минеральных веществ в назубном камне зависит его цвет. Значительное количество минеральных веществ придает такому камню темный цвет, малое количество – светлый. Чем больше минерализован камень, тем больше в нем магния, селена, свинца и т.д. [2, 10, 12, 14].

В литературе, посвященной медицинской стоматологии, химический состав назубного камня хорошо освещен [1-3, 6-8, 16], в то время как в стоматологии животных не получил должного описания [8, 10-15].

Исходя из вышеизложенного - цель настоящего исследования: представить химический состав нативного назубного камня у собак.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования выполнены на базе кафедры болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО Вавиловского университета, на базе лаборатории по исследованию и контролю качества лекарственных средств ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского Минздрава России и кафедре анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина. Объектом для исследования являлись собаки ($n=300$) Материалом для исследования служил нативный назубный камень (рисунок 1), который был получен при проведении санации зубочелюстной системы у собак в ветеринарной клинике «Центральная на Московской» (г. Саратов). Применяли лабораторный метод, включающий в себя качественный и количественный химический анализ.

Образцы зубного подвергались заморозке при -18°C [16] и перед анализом измельчались в ступке до порошкообразного состояния.

Определение массовой доли влаги проводили с помощью инфракрасного термогравиметрического анализатора влажности SartoriusMA-35 (Германия) (рисунок 2), для этого порошок назубного

камня высушивали при 130°C в течение 15 минут.

Оценку содержания биоорганических веществ проводили по разности масс до и после озоления высушенных образцов назубного камня (грубое определение содержания CO_2), при 900°C в муфельной печи ПМ-12МЗ-1250Т-В (Электроприбор, Россия) [16].

Полученный остаток после озоления применяли для дальнейшего определения фосфора, фтора, кальция и магния. Золу растворяли в соответствии с модифицированной нами методикой [16]: помещали в мерные колбы вместимостью 10 мл, добавляли 2 мл концентрированной соляной кислоты и выдерживали на ультразвуковой ванне 1,5 часа при 55°C . Полученный раствор в колбе доводили дистиллированной водой до метки, с последующим центрифугированием при 4000 оборотов в течении 10 минут (раствор А).

Определение общего содержания кальция и магния (в виде катионов кальция и магния) проводили титрометрическим методом [9]: 10 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводили до метки дистиллированной водой (раствор Б). К 10 мл раствора Б добавляли 2 мл 1 М раствора NaOH до достижения $\text{pH} \approx 7,0$, добавляли 3 мл аммиачного буферного раствора ($\text{pH} 10,0$) и титровали 0,05 М раствором трилона Б до изменения окраски раствора с фиолетовой на голубую (индикатор - кислотный хром чёрный).

Для определения содержания кальция к 10 мл раствора Б прибавляли 10 мл 1 М раствора NaOH до $\text{pH} \approx 12,0$ и титровали 0,05 М раствором трилона Б до изменения окраски раствора с ярко-фиолетовой на розовую (индикатор – мурексид).

Определение фторид-ионов проводили методом прямой потенциометрии с помощью ионселективного электрода ЭЛИС-131F. Опорный потенциал создавался с применением хлорсеребряного электрода сравнения – Эср-10101-3,5 на лабораторном анализаторе АНИОН-4100 (Инфраспек-Аналит, Россия). 10 мл раствора А помещали в стакан вместимо-

стью 100 мл, добавляли 10% раствор NaOH до $\text{pH} \approx 5,0$, 10 мл буферного раствора БРОИС, и разбавляли до 60 мл дистиллированной водой [4].

Приготовление буферного раствора БРОИС: 51,00 г трёхводного ацетата, 29,25 г хлорида и 0,13 г цитрата натрия помещали в мерную колбу вместимостью 500 мл, добавляли 350 мл дистиллированной воды, 7,15 мл ледяной уксусной кислоты, перемешивали и доводили раствор до метки дистиллированной водой.

Определение содержания фторид-ионов проводили по градуировочной прямой, для построения которой использовали серию растворов с концентрацией фторид-ионов в диапазоне 10^{-2} – 10^{-5} моль/л, полученных путем последовательного разведения 0,1 М раствора фторида натрия с добавлением БРОИС (20% по объему).

Определение общего содержания фосфора (в виде ортофосфат-иона) проводили методом спектрофотометрии по общепринятым методикам [5]: 1 мл раствора А помещали в колбу вместимостью 50 мл, добавляли по каплям 30 % раствор NaOH (до $\text{pH}=7,0$), 4 мл дистиллированной воды, 2 мл 0,5 М раствора H_2SO_4 , 0,1 г персульфата аммония. Колбу присоединяли к обратному холодильнику и

нагревали на кипящей водяной бане в течение 30 минут. После охлаждения к полученному раствору добавляли 2 мл 1 М раствора NaOH, 0,5 мл смешанного молибденово-кислого реактива (растворы молибдата аммония, хлорида сурьмы, серной концентрированной, винной и сульфаминовой кислот). Выдерживали не менее трех минут, затем прибавляли 0,5 мл раствора аскорбиновой кислоты и перемешивали. В мерную колбу вместимостью 10 мл помещали 2,5 мл полученного раствора и доводили до метки дистиллированной водой, далее его спектрофотометрировали при 890 нм. Раствор сравнения – холостой образец без добавления испытуемого раствора.

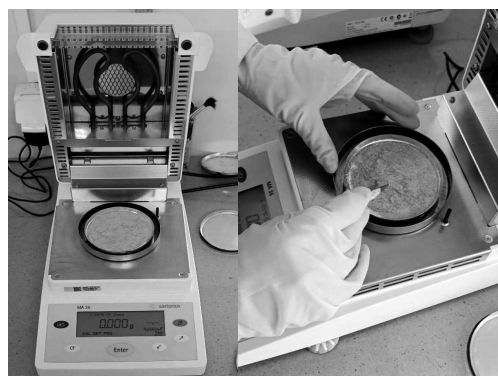


Рисунок 2 – Термогравиметрический анализатор влажности Sartorius MA-35.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Наши результаты химических исследований назубного камня у собак представлены в таблице 1.

Как показывают литературные данные у человека [1-3, 6-8, 16] в назубном камне содержится до 10% воды, 13–25 % органических и 72–82 % неорганических веществ. Перечисленные компоненты постоянно находятся в растворенном состоянии в ротовой жидкости и на поверхности всех органов ротовой полости. Однако, они имеют высокую степень вариабельности, т.к. зависят от локализации на зубах, возраста человека, особенностей питания и т.д. Не исключено, что и у со-



Рисунок 1 – Образцы нативного назубного камня собак

бак имеется схожая картина по химическому составу назубного камня.

Назубный камень у собак имеет постоянный контакт со слюнной жидкостью, что ведет к увеличению влажности. Как показали наши исследования, во взятых пробах назубного камня у различных пород собак, массовая доля влаги составляла $78,15 \pm 2,05$ мг/г.

Известно, что углекислый газ образуется в организме как продукт многих метаболических реакций, а также при дыхании, расщеплении жиров и белков. Назубный налет является местом сосредоточения огромного количества чужеродной микрофлоры. По мере минерализации назубного налета и превращение его в камень, количество микрофлоры снижается, а все продукты их жизнедеятельности аккумулируются в его составе [1-3, 6-8, 16]. По этой причине наличие углекислого газа всегда будет иметь место в нем. Как показали наши исследования уровень углекислого газа в пробах назубного камня собак составлял $154,84 \pm 2,56$ мг/г.

В источниках медицинской литературы указывается о высоком содержании кальция и различных его солей в приобретенных минерализованных образованиях на зубах у человека. Связано это с тем, что сам кальций в больших количествах имеется в ротовой жидкости, пище и крови. Он с легкостью проникает в назубный камень из различных источников, где хорошо аккумулируется. По этой причине содержание кальция составляет 50 и более % от всех минеральных отложений в назубном камне у человека [1-3, 6-8, 16]. По результатам наших исследований, содержания кальция в полученных образцах назубного камня собак составило

$384,67 \pm 6,51$ мг/г, что составляло 38,9%. По нашему мнению, в процентном выражении показатель кальция в изучаемом одонтогенном отложении был ниже по сравнению с таковым показателем у человека.

Известно, что уровень содержания минеральных веществ в назубном камне зависит от степени его минерализации. Так, у человека уровень фосфора в значительно минерализованном назубном камне может составлять до 1/3 от всего химического состава данного образования [1-3, 6-8, 16]. Опираясь на наши полученные данные по химическому составу назубного камня, можно утверждать о его весьма низком содержанию, показатель которого был на уровне $1,15 \pm 0,02$ мг/г, что сильно уступает кальцию.

Помимо уровня кальция и фосфатов в назубном камне мы определяли его и у магния. Из медицинских литературных источников известно, что уровень магния в назубном камне человека имеет зависимость от степени его минерализации, чем более минерализован назубный камень, тем меньше в нем определяется магний [1-3, 6-8, 16]. Содержание магния в полученных нами образцах был на уровне $59,57 \pm 2,62$ мг/г.

Содержание фторид-ионов во всех приобретенных образованиях на зубах у человека имеет значительные колебания. По мнению ряда авторов, это зависит от того что часть фтора связана с другими минеральными веществами, и лишь небольшое его количество находится в ионной форме [1-3, 6-8, 16]. Как показали наши исследования, у собак уровень фторид-ионов в пробах назубного камня составлял $0,23 \pm 0,04$ мг/г.

Таблица 1 – Химический состав назубного камня у собак

Определяемые параметры	Результат мг/г (на 1 г зубного камня)
Массовая доля влаги	$78,15 \pm 2,05$
Углекислый газ (CO_2)	$154,84 \pm 2,56$
Кальций (Ca^{2+})	$384,67 \pm 6,51$
Фосфор (F^{2+})	$1,15 \pm 0,02$
Магний (Mg^{2+})	$59,57 \pm 2,62$
Фторид-ионы	$0,23 \pm 0,04$

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В имеющихся пробах назубного камня собак содержится разнообразное количество минеральных аккумулятивных образований. Из всех изученных показателей максимальных значений достигали: кальций - $384,67 \pm 6,51$ мг/г и углекислый газ - $154,84 \pm 2,56$ мг/г, а минимальных – фосфор - $1,15 \pm 0,02$ мг/г и фторид-ионы - $0,23 \pm 0,04$ мг/г. Мы считаем, что на минеральный состав назубного камня способно влиять множество факторов, такие как особенности кормления и содержания, время нахождения данного образования на поверхности зубов, степень минерализации, возраст животного, порода и морфологический тип головы. Представленные нами данные могут служить экстраполяционными результатами, благодаря которым можно создать более полную картину химического состава назубного камня у собак, что важно учитывать при санации ротовой полости.

CHEMICAL COMPOSITION OF ODONTOLITH IN DOGS

Frolov V.V.¹ – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Animal Disease and Veterinary Sanitary Expertise; **Egunova A.V.**¹ – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Disease and Veterinary Sanitary Expertise; **Ivantsov V.A.**^{2*} – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy and Histology of Animals named after Prof. A.F. Klimov; **Fomina Yu.A.**³ – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of General, Bioorganic and Pharmaceutical Chemistry, Head of the Laboratory for Research and Quality Control of Medicines; **Puzanov D.A.**³ – Chemist, Expert of the Laboratory for Research and Quality Control of Medicines, Junior Researcher of the Laboratory of Nanobiotechnology of the Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms of the Russian Academy of Sciences.

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering by N.I. Vav-

ilov

²Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin

³Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky

* ivancov@mgavm.ru

ABSTRACT

The article presents the chemical composition of native dental calculus in dogs. The study was carried out on the basis of the Department of Animal Diseases and Veterinary and Sanitary Examination of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Vavilov University and Quality Control of Medicines of the Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation and the Department of Anatomy and Histology of Animals named after Prof. A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin. The object of the study was dogs ($n=300$). The material for the study was a native dental stone, which was obtained during the rehabilitation of the maxillary system in dogs at the Tsentralnaya na Moskovskaya veterinary clinic (Saratov). A laboratory method was used, which includes qualitative and quantitative chemical analysis, which established a diverse number of mineral accumulative formations. Thus, the maximum values were reached by calcium - 384.67 ± 6.51 mg/g and carbon dioxide - 154.84 ± 2.56 mg/g, and the minimum values were phosphorus – 1.15 ± 0.02 mg/g and fluoride ions - 0.23 ± 0.04 mg/g. In our opinion, the mineral composition of the dental calculus can be influenced by many factors, such as the characteristics of feeding and maintenance, the time of residence of this formation on the surface of the teeth, the degree of its mineralization, the age of the animal, the breed and morphological type of the head. The data presented by us can serve as extrapolation results, thanks to which it is possible to create a more complete picture of the chemical composition of dental calculus in

dogs, which is important to take into account when rehabilitating the oral cavity.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Биохимия полости рта: Учебное пособие/ О.В. Островский, В.А. Храмов, Т.А. Попова; под ред. проф. О. В. Островского. – Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2010. – 184 с.
2. Брещенко Е.Е. Биохимия полости рта, ротовой и десневой жидкостей: учебно-методическое пособие / Е.Е. Брещенко, И.М. Быков // – Краснодар, 2018. – 63 с.
3. Голованова О.А. Минеральный и элементный состав зубного камня жителей Омского региона/ О.А. Голованова, Л.В. Бельская, Р.В. Казанцева// Вестник СПбГУ. – 2006. – №1. – С. 90–93.
4. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли водорастворимых форм фторидов в пробах почв методом потенциометрии ФР.1.31.2017.27474. – 2017. – 19 с.
5. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом, ПНД Ф 14.1:2.4.248-07. – 2007. – 18 с.
6. Микаелян Н.П. Биохимия твердых тканей полости рта в норме и при патологии. Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов по специальности «Стоматология» / Н.П. Микаелян, О.С. Комаров// ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И.Пирогова Минздрава России. – М.: Издательство – 2019. – 71 с.
7. Пальчик Н.А. Сравнительный кристаллохимический анализ некоторых биогенных минералов и их природных аналогов / Н.А. Пальчик и др.// Сыктывкар. – Минералогия и жизнь. – 2000. – № 3. – С. 112–114.
8. Слесаренко Н.А. Клиническая анатомия зубного органа собаки, учебное пособие / Н.А. Слесаренко, В.А. Иванцов// 2-ое издание, дополненное. М: ООО «Академия Принт». – 2024 – 122 с.
9. Суханкина Н.В. Аналитическая химия. Количественный химический анализ:

практикум / Н.В. Суханкина, А.Л. Козлова-Козыревская // Минск БГПУ. – 2017. – 96 с.

10. Фролов В.В. Снижение сжатия челюстей у собак как один из факторов образования одонтогенных отложений/ В.В. Фролов // Актуальные проблемы ветеринарии в современных условиях. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию ГНУ краснодарского НИВИ 2006г. – Краснодар: Изд-во Символика, 2006. – С. 318–319.

11. Фролов В.В. Мониторинг возрастных особенностей развития оральных заболеваний у собак в Саратове/ В.В. Фролов // Ветеринарная медицина домашних животных: Сб. ст. Вып. 3. Казань, 2006. – С. 130–131.

12. Фролов В.В. Породная предрасположенность собак к одонтогенным образованиям/ В.В. Фролов // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 1 (2). – С. 81–83.

13. Фролов В.В. Морфологические изменения тканей зубочелюстного аппарата собак при хронических одонтогенных болезнях/ В.В. Фролов // Ветеринарная медицина. Современные проблемы и перспективы развития. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. Саратов: «Научная книга». – 2008. – С. 424–427.

14. Фролов В.В. Минерализующая функция ротовой жидкости у собак /В.В. Фролов, А.В. Егунова// Российский ветеринарный журнал – 2019. – № 4. – С. 9–12.

15. Фролов В.В. Клинико-морфологическая характеристика зубного органа собак при одонтогенных образованиях / В.В. Фролов, А.В. Егунова, В.А. Иванцов // Международный вестник ветеринарии. - 2025. - № 3. - С. 331-339.

16. Little M.F. Dental Calculus Composition. Supragingival Calculus: Ash, Calcium, Phosphorus, Sodium, and Density / M.F. Little, C.A. Casciani, J. Rowley // Journal of Dental Research. – 1963 – 42(1). – P. 78–86.

REFERENCES

1. Biochemistry of the Oral Cavity: A Text-

- book / O. V. Ostrovsky, V. A. Khramov, T. A. Popova; edited by prof. O. V. Ostrovsky. - Volgograd: VolGMU Publishing House, 2010. - 184 p.
2. Breshchenko E. E. Biochemistry of the Oral Cavity, Oral and Gingival Fluids: A Textbook / E. E. Breshchenko, I. M. Bykov // - Krasnodar, 2018. - 63 p.
3. Golovanova O. A. Mineral and Elemental Composition of Dental Calculus in Residents of the Omsk Region / O. A. Golovanova, L. V. Belskaya, R. V. Kazantseva // Bulletin of St. Petersburg State University. - 2006. - No. 1. - P. 90-93.
4. Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring the mass fraction of water-soluble fluoride forms in soil samples using the potentiometry method, FR.1.31.2017.27474. - 2017. - 19 p.
5. Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measuring the mass concentrations of orthophosphates, polyphosphates, and total phosphorus in drinking, natural, and wastewater using the photometric method, PND F 14.1:2:4.248-07. - 2007. - 18 p.
6. Mikaelyan, N.P. Biochemistry of hard tissues of the oral cavity in health and disease. The textbook is intended for independent work of students majoring in Dentistry / N.P. Mikaelyan, O.S. Komarov // FSBEI HE Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. - M.: Izdatelstvo - 2019. - 71 p.
7. Palchik N.A. Comparative crystallochemical analysis of some biogenic minerals and their natural analogues / N.A. Palchik et al. // Syktyvkar. - Mineralogy and Life. - 2000. - No. 3. - Pp. 112-114.
8. Slesarenko N.A. Clinical anatomy of the dental organ of the dog, a study guide / N.A. Slesarenko, V.A. Ivantsov // 2nd edition, supplemented. M: OOO "Akademiya Print". - 2024 - 122 p.
9. Sukhankina N.V. Analytical chemistry. Quantitative chemical analysis: workshop / N.V. Sukhankina, A.L. Kozlova-Kozyrevskaya // Minsk BSPU. - 2017. - 96 p.
10. Frolov V.V. Decreased jaw compression in dogs as one of the factors in the formation of odontogenic deposits / V.V. Frolov // Actual problems of veterinary medicine in modern conditions. Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 60th anniversary of the State Scientific Institution Krasnodar Research Institute of Veterinary Medicine, 2006. - Krasnodar: Symbolika Publishing House, 2006. - Pp. 318-319.
11. Frolov V.V. Monitoring age-related features of the development of oral diseases in dogs in Saratov / V.V. Frolov // Veterinary medicine of domestic animals: Coll. articles. Issue 3. Kazan, 2006. - Pp. 130-131.
12. Frolov V.V. Breed predisposition of dogs to odontogenic formations / V.V. Frolov // Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. - 2007. - No. 1 (2). - P. 81-83.
13. Frolov V.V. Morphological changes in the tissues of the dental apparatus of dogs with chronic odontogenic diseases / V.V. Frolov // Veterinary medicine. Modern problems and development prospects. Proceedings of the VIII All-Russian scientific and practical conference. Saratov: "Scientific book". - 2008. - P. 424-427.
14. Frolov V.V. Mineralizing function of oral fluid in dogs / V.V. Frolov, A.V. Egunova // Russian Veterinary Journal - 2019. - No. 4. - P. 9-12.
15. Frolov V.V. Clinical and morphological characteristics of the dental organ of dogs with odontogenic formations / V.V. Frolov, A.V. Egunova, V.A. Ivantsov // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2025. - No. 3. - P. 331-339.
16. Little M.F. Dental Calculus Composition. Supragingival Calculus: Ash, Calcium, Phosphorus, Sodium, and Density / M.F. Little, C.A. Casciani, J. Rowley // Journal of Dental Research. - 1963 - 42(1). - P. 78-86.

УДК: 619:616:579.831:616.24-002.828:569.537

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.218

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ НОКАРДИОЗА ЛЁГКИХ У ДЕЛЬФИНА (ТИХООКЕАНСКАЯ АФАЛИНА TURSIOPS ADUNCUS)

Любченко Е.Н.¹ – канд. ветеринар. наук, доц., доц. каф. незаразных болезней хирургии и акушерства (ORCID 0000-0002-9441-8250); Волков С.В.^{*2} – канд. ветеринар. наук, доц. каф. инфекционных болезней (ORCID 0000-0002-7139-927X)

¹ ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет»

² ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова»

* volkov_sw@mail.ru

Ключевые слова: дельфин, нокардиоз, легкие, гистохимия, иммунодефицит.
Key words: dolphin, nocardiosis, lungs, histochemistry, immunodeficiency.

Поступила: 15.08.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты патологоанатомического вскрытия трупа теленка дельфина тихоокеанской афалины (*Tursiops aduncus*) и результаты гистологического и гистохимического исследования отобранных образцов органов. Нами был установлен диагноз нокардиоз легких. Нокардиоз — это инфекционное заболевание, вызываемое различными аэробными почвенными сапрофитами — грамположительными палочками рода *Nocardia*. Заболевание может проявляться в виде острой, подострой или хронической инфекции, часто в кожной, лёгочной или диссеминированной форме. *Nocardia* spp. вызывают у млекопитающих пиогранулематозные поражения различных органов, чаще всего лёгких. Макроскопически различают узелковую, абсцедирующую, эрозивную, язвенную, фунгозную (грибовидную) и диффузную формы актиномикозов. К актиномикозу и нокардиозу восприимчивы крупный рогатый скот, реже — свиньи, овцы, козы и лошади и морские млекопитающие. Заражение происходит при вдыхании пыли, содержащей бактерии, или при прямом попадании бактерий в организм через порезы или царапины, когда в них попадает загрязнённая почва или вода. Исследования морской воды и морского дна выявили наличие актинобактерий разных родов и видов. Как у ластоногих, так и у китообразных чаще заболевают молодые животные, чем взрослые. При гистологическом исследовании с гематоксилином и эозином, а также по методу кислотоустойчивого окрашивания, невозможно достоверно определить бактерии класса Actinobacteria. Однако модифицированное кислотоустойчивое окрашивание и метод Грокотта с использованием метенамина серебра не только выявляет характерные признаки актинобактерий, но и позволяет дифференцировать Нокардии от Актиномицетов. В литературе имеется единственное сообщение о легочном нокардиозе у тихоокеанской афалины (*Tursiops aduncus*), в связи с чем считаем, что наш клинический случай заслуживает внимания.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Нокардиоз является относительно редким, но широко распространенным и хорошо охарактеризованным заболеванием человека и животных. Оно вызывается повсеместными, сапрофитными, грамположительными, кислотоустойчивыми, нитевидными, аэробными, неподвижными, неспорообразующими бактериями, принадлежащими к роду *Nocardia*. *Nocardia* sp. может выступать в качестве основного патогена, более распространены оппортунистические инфекции, которые могут развиваться различными путями инфицирования: вдыханием, проглатыванием или загрязнением раны с последующим риском потенциальной сосудистой инвазии и, как следствие развитие генерализованной инфекции. [5, 6] У млекопитающих описаны пять основных проявлений, а именно: легочные; кожные, которые подразделяются на поверхностные, подкожные и мицетомы; нервные (без вовлечения легких); системные (охватывающие два или более органов); маститы (в первую очередь у молочного скота) [9].

К нокардиозу восприимчивы крупный рогатый скот, реже — свиньи, овцы, козы и лошади, зарегистрированы случаи нокардиоза и у морских млекопитающих, живущих как на свободе, так и в неволе повсеместно. Исследования морской воды и морского дна выявили наличие актинобактерий разных родов и видов. Как у ластоногих, так и у китообразных чаще заболевают молодые животные, чем взрослые. Среди китообразных нокардиоз протекает чаще в виде системной формы, вовлекающей два и более органов [1, 3]. Легочный нокардиоз является распространенным явлением особенно у полосатых дельфинов (*Stenella coeruleoalba*), короткоплавниковых гринд (*Globicephala macrorhynchus*), тихоокеанских афалин (*Tursiops gilli*), атлантических афалин (*Tursiops truncatus*), косаток (*Orcinus orca*) и белух (*Delphinapterus leucas*), живущих на свободе. [1, 5]. В литературе имеются единичные сообщения о легочном нокардиозе у тихоокеанской афалины (*Tursiops*

aduncus), живущей в неволе [6]. При этом многие авторы склоняются к тому, что причиной развития нокардиоза и прочих грибковых инфекций является иммунодефицит, возникший на фоне морбилливирусной инфекции. [4, 7]. Иммунодефицитное состояние было определено при гистологическом исследовании лимфоидной ткани лимфатических узлов и селезенки. Отмечалась потеря архитектуры лимфатических узлов с атрофией лимфоидной ткани, в то время как в селезенке отмечали гиперплазию белой пульпы. [2, 7]

Nocardia spp. вызывает у млекопитающих пиогранулематозные поражения различных органов, чаще всего легких. Макроскопически различают узелковую, абсцедирующую, эрозивную, язвенную, фунгозную (грибовидную) и диффузную формы актиномикозов. Для узелковой формы характерны округлые или множественные (величиной до горошины) серо-желтые или бело-желтые плотные гранулемы. При микроскопическом исследовании обнаруживаются так называемые друзы (колонии в виде лучистой розетки), размеры которых в зависимости от возраста колоний составляют 20 — 250 мкм; средний размер друз 60 — 80 мкм. Часто, колонии окружены нейтрофильным экссудатом. Как правило инфекция развивается в организме с определенной стадией подавления иммунитета. Отмечено, что у животных или человека с низким количеством Т-клеток или другими осложнениями, связанными с Т-клетками, могут быть более высокие шансы заразиться [1, 5].

При гистологическом исследовании с гематоксилином и эозином, а также по методу кислотоустойчивого окрашивания, невозможно достоверно определить бактерии класса Actinobacteria. Однако модифицированное кислотоустойчивое окрашивание и метод Грокотта с использованием метенамина серебра не только выявляет характерные признаки актинобактерий, но и позволяет дифференцировать Нокардии от Актиномицетов [1, 5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В нашем исследовании проведено вскрытие теленка дельфина (тихоокеанская афалина *Tursiops aduncus*), жившего и погибшего в неволе.

Вскрытие проводилось по стандартному протоколу. Органы с наиболее выраженными патологическими изменениями – легкие, селезенка, лимфатические узлы были отобраны для дальнейшего гистологического исследования. Патологический материал (кусочки отобранных органов) были зафиксированы в 10% формалине для дальнейшего приготовления гистологических микропрепаратов. Для общей оценки и микроскопического анализа использовали стандартное окрашивание гематоксилином и эозином. Для дифференциальной диагностики использовали специальные гистохимические методы окрашивания по Грокотту, Циллю-Нильсену и PAS.

Гистологические препараты были переведены в цифровые при помощи автоматической сканирующей системы Vision A1© от компании Медика Продакт, Россия (West Medica) и далее просмотрены с помощью программного обеспечения для просмотра цифровых препаратов Vision© от компании Медика Продакт, Россия.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

На патологоанатомическое вскрытие для выяснения причин смерти поступил теленок тихоокеанской афалины (*Tursiops aduncus*) с единственными анамнестическими данными: апатия, анорексия. Летальный исход наступил в течение 2 суток после проявления данных симптомов. Наружный осмотр позволил установить пенистую жидкость светло-коричневого цвета, выделяющуюся из дыхала.

Макрокартина органов с выраженными патологическими изменениями:

- Лимфатические узлы средостения красно-серого цвета, гиперплазированные, их консистенция плотная, на разрезе блестящие;

- В легких при патологоанатомическом исследовании обнаружили признаки гнойно - фибринозной лобарной пневмо-

нии. В грудной полости между легочной и костальной плеврой слева имелся обширный участок серозно-фибринозного слипчивого воспаления, а справа фибринозное воспаление легочной плевры - она была матовой, серо-красного цвета, с наложениями фибрина. Легкие имели плотную консистенцию, на поверхности и разрезе легочная ткань была красного цвета. Левая и правая средняя и диафрагмальная доли легкого на разрезе темно-красного цвета (Рис. 1.). В данных долях легкого с наружной и внутренней стороны имелись множественные инкапсулированные очаги округлой формы размером от 2 до 10 см с гнойно-фибринозным содержимым (Рис. 2.).

- Селезенка темно-красного цвета, округлой формы, с переполненными кровью сосудами и сухой поверхностью паренхимы на разрезе.

Результаты гистологического исследования отобранных для анализа органов:

Селезенка: капсула утолщенная, красная пульпа умеренная, состоит более чем на 90% из эритроцитов. Белая пульпа представлена множественными, крупными лимфоидными фолликулами с четкой стратификацией слоев. Герминативные центры крупные, состоят из крупных и мелких лимфоцитов, далее четкая мантийная зона, состоящая преимущественно из мелких лимфоцитов и широкая маргинальная зона. (Рис. 3.)

Лимфатические узлы: структура нарушена, стратификация стерта, выраженная атрофия маргинального и мантийного слоев лимфоидных фолликулов, тотальный синусовый гистиоцитоз. (Рис. 4.)

Легкие: структура органа нарушена, легочная ткань безвоздушная: на фоне распространенного альвеолярного отека, просветы альвеол заполнены серозно-фибринозным экссудатом с примесью клеточного детрита. Многоочаговый выраженный периваскулярный отек. В просветах крупных бронхов плотный нейтрофильный инфильтрат. Плевра разрыхлена, отечна, со слабо-умеренной лейкоцитарной инфильтрацией. В каждом образце легких выявлены крупные инкапсулиро-

ванные абсцессы с большим количеством макрофагов с образованием макрофагальных гранулём и множеством структур с базофильным центром и эозинофильной, игольчатой периферией, что характерно для микроорганизмов, относящихся к типу *Astinobacteria*. (Рис. 5).

Для дифференциальной диагностики актиномикоза и нокардиоза было прове-

дено гистохимическое окрашивание по Грокотту, Цилю-Нильсену и PAS. Результаты показали, что структуры имели положительную окраску PAS и по Цилю-Нильсену, но отрицательную реакцию по Грокотту, что характерно для нокардий и не характерно для актиномицетов (Рис. 6.).



Рисунок 1 – Грудная полость. Обширный участок серозно-фибринозного слипчивого воспаления плевры.



Рисунок 2 – Множественные инкапсулированные очаги округлой формы с гнойно-фиброзным содержимым.

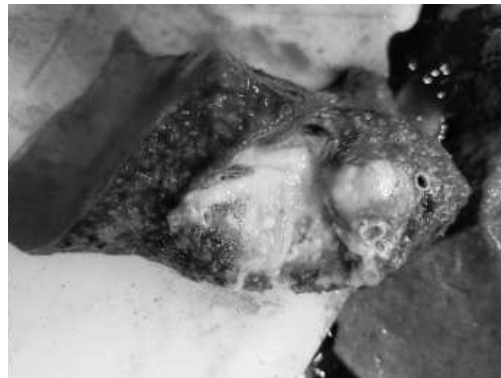
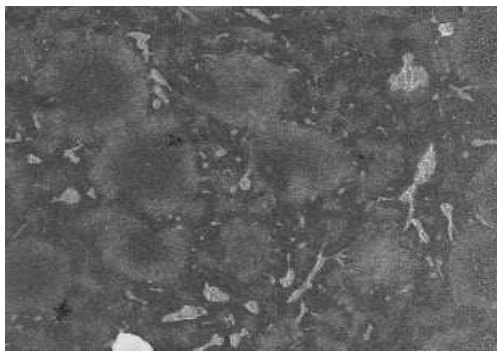


Рисунок 3 – Белая пульпа селезенки. Множественные крупные лимфоидные фолликулы. Окраска гематоксилин эозин, увеличение x100.



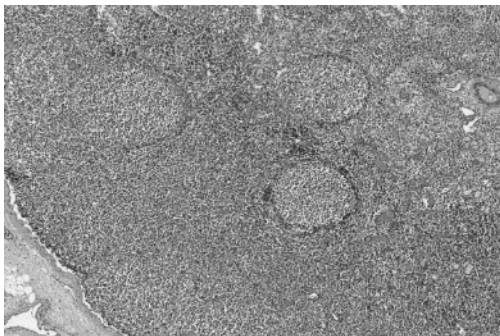


Рисунок 4 – Лимфатический узел. Выраженная атрофия маргинального и мантийного слоя лимфоидных фолликулов. Окраска гематоксидин эозин, увеличение $\times 100$.

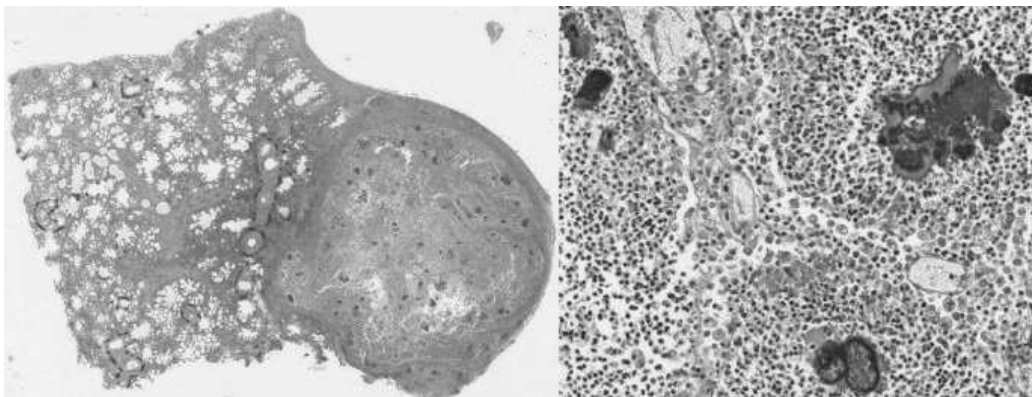


Рисунок 5 – Слева, крупный инкапсулированный абсцесс в легком. Окраска гематоксидин эозин, увеличение $\times 40$. Справа содержимое абсцесса легкого с множеством структур с базофильным центром и эозинофильной, игольчатой периферией. Окраска гематоксидин эозин, увеличение $\times 400$.

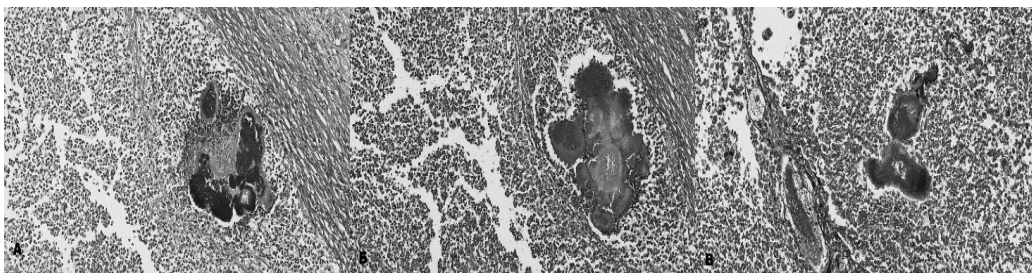


Рисунок 6 – Результат гистохимического окрашивания. А) Положительная окраска по Цilio-Нильсену; Б) Положительная окраска PAS; В) Отрицательная окраска по Грокотту. Увеличение $\times 400$.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В совокупности данных патологоанатомического вскрытия и результатов морфологического и гистохимического исследования, было заключено, что смерть дельфина наступила от дыхательной не-

достаточности, наступившей в следствии гнойной бронхопневмонии, возникшей в результате нокардиоза легких на фоне иммунодефицита, что согласно литературным данными, характерного для вирусной инфекции *Dolphin Morbillivirus*.

A CLINICAL CASE OF PULMONARY NOCARDIOSIS IN A DOLPHIN (PACIFIC BOTTLENOSE DOLPHIN TURSIOPS ADUNCUS)

Lyubchenko E.N.¹ – Candidate Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Non-Communicable Diseases of Surgery and Obstetrics (ORCID 0000-0002-9441-8250); **Volkov S.V.**² – Candidate Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Infectious Diseases (ORCID 0000-0002-7139-927X)

¹ Primorsky State Agrarian and Technological University

² Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov

** volkov_sw@mail.ru

ABSTRACT

The article presents the results of a pathoanatomical autopsy of a calf of a Pacific bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*) and the results of histological and histochemical examination of selected organ samples. We have been diagnosed with pulmonary nocardiosis. Nocardiosis is an infectious disease caused by various aerobic soil saprophytes, gram-positive rods of the genus *Nocardia*. The disease can manifest itself as an acute, subacute, or chronic infection, often in a cutaneous, pulmonary, or disseminated form. *Nocardia* spp. They cause pyogranulomatous lesions of various organs in mammals, most often the lungs. Macroscopically, nodular, abscessing, erosive, ulcerative, fungous (fungal) and diffuse forms of actinomycosis are distinguished. Cattle are susceptible to actinomycosis and nocardiosis, less often pigs, sheep, goats and horses, and marine mammals. Infection occurs when dust containing bacteria is inhaled, or when bacteria enter the body directly through cuts or scratches, when contaminated soil or water enters them. Studies of seawater and the seabed have revealed the presence of actinobacteria of different genera and species. In both pinnipeds and cetaceans, young animals are more likely to become ill than adults. During histological examination with hema-

toxylin and eosin, as well as by the method of acid-resistant staining, it is impossible to reliably identify bacteria of the Actinobacteria class. However, modified acid-resistant staining and the Grocott method using silver methenamine not only reveals the characteristic features of actinobacteria, but also makes it possible to differentiate *Nocardia* from Actinomycetes. There is only one report in the literature about pulmonary nocardiosis in the Pacific bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*), and therefore we believe that our clinical case deserves attention.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Di Francesco G. et al. Coinfection by *Ureaplasma* spp., *Photobacterium damsela* and an Actinomyces-like microorganism in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) with pleuropneumonia stranded along the Adriatic coast of Italy // *Research in Veterinary Science*. – 2016. – T. 105. – C. 111-114.
2. Di Guardo G. et al. Comparative immunology of marine mammals // *Frontiers in Immunology*. – 2019. – T. 10. – C. 2300.
3. El-sersy N. A., Abou-Elela G. M. Antagonistic effect of marine *Nocardia brasiliensis* against the fish pathogen *Vibrio damsela*: Application of Plackett // *IJO*. – 2006. – T. 1. – №. 1. – C. 141-150.
4. Jo W. K., Osterhaus A. D. M. E., Ludlow M. Transmission of morbilliviruses within and among marine mammal species // *Current Opinion in Virology*. – 2018. – T. 28. – C. 133-141.
5. Leger J. A. S. et al. Comparative pathology of nocardiosis in marine mammals // *Veterinary pathology*. – 2009. – T. 46. – №. 2. – C. 299-308.
6. Pier A. C., Takayama A. K., Miyahara A. Y. Cetacean nocardiosis // *Journal of Wildlife Diseases*. – 1970. – T. 6. – №. 2. – C. 112-118.
7. Ward J. M. et al. Pathology of immunodeficient mice with naturally occurring murine norovirus infection // *Toxicologic pathology*. – 2006. – T. 34. – №. 6. – C. 708-715.

REFERENCES

1. Di Francesco G. et al. Coinfection by

- Ureaplasma spp., Photobacterium damsela and an Actinomyces-like microorganism in a bottlenose dolphin (Tursiops truncatus) with pleuropneumonia stranded along the Adriatic coast of Italy //Research in Veterinary Science. – 2016. – T. 105. – P. 111-114.
2. Di Guardo G. et al. Comparative immunology of marine mammals //Frontiers in Immunology. – 2019. – T. 10. – P. 2300.
3. El-sersy N. A., Abou-Elela G. M. Antagonistic effect of marine Nocardia brasiliensis against the fish pathogen Vibrio damsela: Application of Plackett //IJOO. – 2006. – T. 1. – No. 1. – pp. 141-150.
4. Jo W. K., Osterhaus A. D. M. E., Ludlow M. Transmission of morbilliviruses within and among marine mammal species // Current Opinion in Virology. – 2018. – T. 28. – P. 133-141.
5. Leger J. A. S. et al. Comparative pathology of nocardiosis in marine mammals // Veterinary pathology. – 2009. – T. 46. – No. 2. – pp. 299-308.
6. Pier A. C., Takayama A. K., Miyahara A. Y. Cetacean nocardiosis // Journal of Wildlife Diseases. – 1970. – T. 6. – No. 2. – pp. 112-118.
7. Ward J. M. et al. Pathology of immunodeficient mice with naturally occurring murine norovirus infection //Toxicologic pathology. – 2006. – T. 34. – No. 6. – pp. 708-715.

УДК: 637.072

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.225

МОРФО-БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПИГМЕНТИРОВАННОЙ СКОРЛУПЫ ЯИЦ КУР КРОССА ХАЙСЕКС БРАУН

Васильева Л.Т.* – канд. с.-х. наук, доц., доц. каф. птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко (ORCID 0000-0002-7941-7786); **Сафронов С.Л.** – д-р с.-х. наук, доц., доц. каф. кормления и разведения животных (ORCID 0000-0002-5478-9698)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

* ludamila51@mail.ru

Ключевые слова: птицеводство, пигментация скорлупы, морфо-биофизические качества скорлупы, кросс Хайсекс браун.

Key words: poultry breeding, shell pigmentation, morpho-biophysical qualities of the shell, Hisex brown cross.

Поступила: 10.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В промышленном производстве продукции птицеводства сельскохозяйственная птица должна соответствовать определенным требованиям – уровню продуктивности и технологическим свойствам. Товарное птицеводство в настоящее время имеет в своем арсенале высокопродуктивные кроссы кур, от которых получают яйца с белой или коричневой скорлупой. Разнообразие в окраске скорлупы яиц обусловлено спросом на потребительском рынке и продуктивными качествами самих кроссов. Многие считают, что одним из преимуществ яиц с коричневой скорлупой является их толстая и прочная скорлупа. Однако удельный вес доли всех поврежденных яиц в птицеводческих хозяйствах свидетельствует о высокой повреждаемости скорлупы их как белой, так и с коричневой окраской. В связи с этим были изучены морфо-биофизические качества скорлупы яиц кур кросса Хайсекс браун в зависимости от интенсивности (слабой, средней и сильной) пигментации их скорлупы с использованием специальных методик и приборов. Все куры кросса Хайсекс браун находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Исследованиями установлено, что лучшая скорлупа оказалась у яиц со светло коричневой и коричневой скорлупой. Скорлупа этих яиц была толще более чем на 2-2,5 % и тяжелее на 5,1% и 1,15% по сравнению с яйцами, имеющими слабую и сильную пигментацию соответственно. Это определило снижение показателя упругой деформации более чем на 4% ниже, а прочность скорлупы – выше на 12,83% ($P \leq 0,1$) и 1,57%, чем в группах со слабой и сильной пигментацией.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Товарное птицеводство в настоящее время имеет в своем арсенале высокопродуктивные кроссы с различной пигментацией скорлупы: белой, коричневой и кремовой. «Кремовые» кроссы практически уже исчезли, поглощенные коричневоскорлупными, что было обусловлено более высокой востребованностью потребителей на яичном рынке яиц с белой или коричневой скорлупой, а производителей – экономикой [1, 2, 3, 4]. Так, в Германии, большая часть яиц реализуется с белой скорлупой, а во Франции, наоборот, с коричневой. В России выбор потребителей разделен примерно поровну между яйцами с коричневой и белой скорлупой. Среди любителей яиц с коричневой скорлупой бытует мнение, что качество таких яиц более высокое и чем интенсивнее окрашена скорлупа в коричневый цвет, тем лучше не только внутреннее содержимое их, но и толще и прочнее скорлупа [1, 3, 5, 6, 7, 8]. Безусловно внутреннее содержимое яиц во многом зависит от качества скорлупы. Однако доля поврежденных яиц на птицефабриках, работающих с коричневоскорлупными кроссами, порой бывает выше, чем при производстве яиц с белой скорлупой достигая порой 15-20% [2, 4, 6, 8, 9, 10].

У современных яичных кроссов процесс образования скорлупы, происходящий в матке яйцевода (скорлуповой части), продолжается в среднем около 17-18 часов вместо 19-20 у кроссов, созданных в прежние годы и 22-23 часов и более у породной птицы. Он напрямую связан с большим количеством факторов: генетикой птицы, ее продуктивностью (интенсивностью кладки), возрастом, здоровьем и т.д. [2, 3, 4, 7, 8, 9]. Естественно, общая продолжительность образования яйца и в том числе время пребывания его в матке, влияет на накопление пигмента, а в целом на пигментацию скорлупы [4, 5, 6]. Коричневая скорлупа – результат отложения пигмента протопорфирина, выделяемого железами, расположенными в слизистой оболочке матки, причем насыщение белковой матрицы яйца каль-

цием и ее пигментация происходят одновременно [1, 6, 9]. Это дает возможность по интенсивности пигментации скорлупы судить и об уровне продуктивности, правильности кормления, состоянии здоровья птицы, возрасте кур и, вероятно, о качестве скорлупы получаемых яиц.

Поэтому оценка качественных (морфо-биофизических) показателей пигментированной скорлупы яиц является актуальной для птицеводческих предприятий и имеет важное практическое значение в селекционной работе с яичными коричневоскорлупными кроссами.

Цель исследования – сравнить морфо-биофизические показатели качества скорлупы яиц разной пигментации от кур кросса Хайсекс браун.

В соответствие с этим были поставлены следующие задачи:

1. Изучить морфо-биофизические качества скорлупы яиц исследуемого кросса со слабой, средней и сильной ее пигментацией.

2. Проанализировать полученные результаты, характеризующие качество скорлупы яиц с разной пигментацией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены в учебно-производственной лаборатории оценки качества яиц института животноводства и аквакультуры им. В.И. Наумова ФГБОУ ВО СПбГАУ. Объектом исследования явились яйца кур кросса Хайсекс браун с разной интенсивностью (слабой, средней и сильной) проявления коричневого пигмента скорлупы, полученные от кур одинакового возраста, условий содержания и кормления. Материал и методика представлены в таблице 1.

При работе использовались методики, разработанные на кафедре птицеводства и мелкого животноводства им. П.П. Царенко института животноводства и аквакультуры им. В.И. Наумова ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Полученные в результате исследований данные были обработаны с помощью вариационной статистики на ПК с программным обеспечением MS Excel.

Таблица 1 – Материал и методика исследования

Интенсивность пигментации скорлупы	Окраска скорлупы	Количество яиц, шт.	Исследуемые показатели	Используемые приборы и методики
Слабая	Светло бежевая, бежевая	60	Масса яйца и скорлупы (г, %), упругая деформация скорлупы (мкм), мраморность скорлупы (балл), толщина скорлупы (мкм.), прочность скорлупы (усл. ед.)	Весы ВК 600; прибор для определения упругой деформации скорлупы ПУД-500; овоскоп EGG TEST-ER для определения мраморности скорлупы; прибор для определения толщины скорлупы ТС-1; прибор для определения прочности скорлупы на удар ПСУ-1.
Средняя	Светло коричневая, коричневая	60		
Сильная	Темно коричневая	60		

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Для объективной оценки морфо-биофизических качеств скорлупы, исследования были начаты с определения качественных показателей скорлупы всего массива яиц (180 шт.). Установлено, что масса яиц соответствовала 60,31 г, упругая деформация скорлупы – 23,06 мкм мраморность скорлупы – 2,84 балла, а ее прочность – 3,70 усл. ед. при средней толщине скорлупы всех яиц 375,2 мкм и абсолютной ее массе 6,87 г.

При реализации яиц исследуемого кросса яйца со слабой пигментацией встречаются крайне редко, хотя производится их в хозяйствах не так мало (17,0%). Причины осветления скорлупы яиц могут быть разными, но это чаще всего ослабление работы желез, вырабатывающих пигмент либо кратковременного присутствия яиц в скорлуповом отделе яйцевода. В связи с этим была произведена оценка морфо-биофизических качеств яиц со слабой пигментацией (таблица 2).

Исследования показали, что масса яиц на 1,35 г (2,24%), а масса скорлупы на 0,22 г (2,92%) оказались ниже средних показателей по всему исследуемому массиву яиц. Упругая деформация скорлупы незначительно на 1,39%, или на 0,32 мкм

превышала среднюю, что вероятно оказалось следствием более низких ее массы и толщины (- 4,04 мкм). Все это оказало влияние на низкую прочность скорлупы яиц, которая на 7,3% была ниже средней (3,70) по всем исследуемым яйцам.

Анализ морфо-биофизических качеств скорлупы яиц кросса Хайсекс браун со средней ее пигментацией представлен в таблице 3.

Анализ полученных данных свидетельствовал о наличии в группе яиц с более толстой 380,83 мкм, достигающей у некоторых яиц 415,0 мкм скорлупой. Следует сказать, что яиц с толщиной скорлупы 400 мкм и выше в группе оказалось 13,3%, что повлияло не только на толщину скорлупы, но и на абсолютную, относительную ее массу и в целом на массу яиц, которая немного превышала массу всех исследуемых яиц. Несомненно, что утолщение скорлупы яиц этой группы улучшило и другие ее качества. Так упругая деформация снизилась на 0,66 мкм, то есть почти на 3%, а прочность скорлупы увеличилась на 4,6% по сравнению со средними данными всей партии.

Результаты оценки морфо-биофизических качеств с сильно пигментированной скорлупой, представлены в таблице 4.

Таблица 2 – Оценка морфо-биофизических качеств скорлупы яиц со слабой пигментацией

Показатель	Ед. изм.	M±m	Cv %	Lim	
				min	max
Масса яйца	г	58,96±0,37	4,90	54,80	63,46
Упругая деформация скорлупы	мкм	23,38±0,62	20,78	16	35
Прочность скорлупы	усл. ед	3,43±0,16	36,27	1	6
Мраморность скорлупы	балл	2,7±0,15	43,28	1	5
Толщина скорлупы	мкм	371,16±4,18	8,73	310	425
Масса скорлупы	г	6,67±0,09	10,69	5,05	8,33
	%	11,31±0,12	8,53	9,01	12,76

Таблица 3 – Характеристика морфо-биофизических качеств скорлупы яиц со средней пигментацией

Показатель	Ед. изм.	M±m	Cv %	Lim	
				min	max
Масса яйца	г	60,75±0,39	5,01	56,72	65,42
Упругая деформация скорлупы	мкм	22,4±0,46	16,08	17	34
Прочность скорлупы	усл.ед.	3,87±0,16	38,17	1	5
Мраморность скорлупы	балл	2,76±0,13	32,27	1	5
Толщина скорлупы	мкм	380,83±2,41	4,91	345	415
Масса скорлупы	г	7,01±0,04	4,63	6,6	7,68
	%	11,53±0,07	5,14	10,74	12,96

Таблица 4 – Сравнительный анализ морфо-биофизических показателей скорлупы у яиц с сильной пигментацией

Показатель	Ед. изм.	M±m	Cv %	Lim	
				min	max
Масса яйца	г	61,20±0,33	4,23	55,76	64,37
Упругая деформация скорлупы	мкм	23,4±0,47	15,74	16	32
Прочность скорлупы	усл. ед.	3,81±0,17	39,90	1	6
Мраморность скорлупы	балл	3,06±0,08	20,68	1	4
Толщина скорлупы	мкм	373,5±2,84	5,90	330	420
Масса скорлупы	г	6,93±0,05	6,15	5,98	7,86
	%	11,33±0,09	6,28	10,49	12,37

В процессе исследования было установлено, что при высокой массе яиц в этой группе, которая превышала среднее значение всего массива по этому показателю на 1,5%, некоторые качественные показатели скорлупы уступали средним значениям, например, по упругой деформации на 0,34 мкм как следствие более тонкой скорлупы – на 0,54%. Снижение последних показателей можно объяснить укрупнением яиц в этой группе. Следует отметить, что яйца с сильной пигментацией скорлупы обладали более крепкой и прочной скорлупой, которая составляла в этой группе 3,81 усл. ед. и превосходила средние показатели всех исследуемых яиц на 3,0%, что даст потенциальную возможность сохранить целостность скорлупы яиц в технологии промышленного производства – при их сборе, сортировке и транспортировке. О более высоком качестве скорлупы свидетельствует ее мраморность. В группе яиц с сильной пигментацией мраморность скорлупы (показатель ее однородной структуры) снизилась на 7,75%, т.е. однородность видимой структуры скорлупы повысилась по сравнению с данным показателем при оценке всего массива яиц, что также может влиять на прочность скорлупы. Это было подтверждено наличием положи-

тельной и достоверной связи между этими показателями ($r=0,35$; $P\leq 0,01$), что согласуется с данными, полученным другими исследователями, изучающими качество скорлупы [4, 7].

Полученные в ходе исследования коэффициенты изменчивости у показателей массы яиц, скорлупы, а также ее толщины были невысокими во всех исследуемых группах. В процессе исследования было замечено, что коэффициент вариации упругой деформации был высоким во всех группах, однако по мере нарастания пигмента в скорлупе происходило некоторое его снижение. Полученные в процессе исследования высокие коэффициенты изменчивости показателей прочности и мраморности скорлупы можно объяснить высоким удельным весом каждого полученного показателя при измерении признаков.

Итогом исследования морфо-биофизических качества скорлупы яиц кросса Хайсекс браун явился сравнительный анализ качества скорлупы у яиц со слабой, средней и сильной ее пигментацией. Результаты сравнительной характеристики морфо-биофизических показателей скорлупы яиц с разной интенсивностью их пигментации представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние пигментации скорлупы на ее морфо-биофизические показатели

Показатель	Ед. изм.	Пигментации скорлупы		
		слабая	средняя	сильная
Масса яйца	г	58,96±0,37	60,75±0,39	61,20±0,33
Упругая деформация скорлупы	мкм	23,4±0,62	22,4±0,46	23,4±0,47
Прочность скорлупы	усл. ед.	3,43±0,16	3,87±0,16	3,81±0,17
Мраморность скорлупы	балл	2,7±0,15	2,76±0,13	3,06±0,08
Толщина скорлупы	мкм	371,16±4,18	380,83±2,41	373,5±2,84
Масса скорлупы	г	6,67±0,09	7,01±0,04	6,93±0,05

Анализ полученных результатов, которые представлены в таблице 5, позволил выявить тенденцию уменьшения массы яиц и скорлупы при низкой величине прочности и мраморности у яиц со светлой пигментацией скорлупы. В этой группе яйца имели самую тонкую скорлупу ($371,16 \pm 4,18$ мкм) с высоким показателем упругой деформации и изменчивостью этого признака внутри группы ($23,4 \pm 0,62$ мкм) по сравнению с двумя другими исследуемыми группами. Следует отметить, что наличие скорлупы такого качества способствует возникновению угрозы высокой повреждаемости скорлупы яиц на любом технологическом этапе их производства. Самыми высокими показателями качества скорлупы обладали яйца кур кросса Хайсекс браун, имеющие среднюю интенсивность пигментации. Скорлупа этих яиц была толще на 2,61% и 1,96% и большей массы на 5,1% и 1,15% по сравнению с яйцами, имеющими слабую и сильную пигментацию соответственно. Увеличение толщины скорлупы оказало положительное влияние на величину ее упругой деформации, которая была меньше на 4%, а прочность скорлупы – выше на 12,83% ($P \leq 0,1$) и 1,57%, чем в 1 и 3 группах.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что наиболее качественной скорлупой обладали яйца со средней пигментацией (светло коричневого и коричневого цвета) полученные от кур кросса Хайсекс браун в возрасте 40 недель. Использование таких яиц позволит снизить повреждаемость скорлупы при снесении и на всех участках технологической линии их получения. Яйца со слабо окрашенной скорлупой, учитывая ее морфо-биофизические качества лучше перерабатывать в птицеводческом предприятии, при условии их получения от здоровой птицы.

MORPHO-BIOPHYSICAL PARAMETERS OF PIGMENTED SHELLS OF EGGS OF CROSS HISEX BROWN CHICKS

Vasilyeva L.T.^{1*} – Candidate of Agri-

cultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Poultry and Small Animal Husbandry named after P.P. Tsarenko (ORCID 0000-0002-7941-7786); Safronov S.L.² – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department Feeding and Breeding of Animals (ORCID 0000-0002-5478-9698).

¹ St. Petersburg State Agrarian University

² St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* ludamila51@mail.ru

ABSTRACT

In the industrial production of poultry products, agricultural poultry must meet certain requirements – the level of productivity and technological properties. Commercial poultry farming currently has highly productive chicken crosses in its arsenal, from which eggs with white or brown shells are obtained. The variety in eggshell coloring is due to the demand in the consumer market and the productive qualities of the crosses themselves. Many people believe that one of the advantages of brown-shelled eggs is their thick and durable shells. However, the proportion of all damaged eggs in poultry farms indicates a high degree of damage to their shells, both white and brown. In this regard, the morpho-biophysical qualities of the egg shells of Hisex Brown cross chickens were studied depending on the intensity (weak, medium and strong) pigmentation of their shells using special techniques and devices. All the hens of the Hisex Brown cross were in the same feeding and maintenance conditions. Studies have shown that eggs with light brown and brown shells have the best shells. The shells of these eggs were thicker by more than 2-2.5% and heavier by 5.1% and 1.15% compared to eggs with weak and strong pigmentation, respectively. This determined a decrease in the elastic deformation index by more than 4% lower, and the shell strength was higher by 12.83% ($P \leq 0.1$) and 1.57% than in the groups with weak and strong pigmentation.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шабанова, С. А. Пигментация скорлупы яиц / С. А. Шабанова / Генетика и разведение животных. – 2015.–№1.– С. 35–38.
2. Окоделова, Т. М. Факторы, влияющие на качество скорлупы яиц / Т. М. Окоделова, С. В. Егнашев // Птицеводство. – 2020. – №11. – С. 57–65.
3. Drabik, K. The variability of quality traits of table eggs and eggshell mineral composition depending on hens' breed and eggshell color / K. Drabik, M. Karwowska, K. Wengerska et al. // *Animals*, 2021 – V. 11. – P. 1204.
4. Царенко, П. П. Методы оценки и повышения качества яиц сельскохозяйственной птицы / П. П. Царенко, Л. Т. Васильева / Учебное пособие. – Санкт-Петербург. – 2024. – 280 с.
5. Wang, H. The pigments in eggshell with different color and the pigment regulatory gene expression in corresponding chicken's shell gland / H. Wang, Y. Ge, L. Zhang, Y. Wei et al. // *Animal*. – 2023. – T. 17. – №. 5. – С. 100776.
6. Родионова, С. А. Количественная оценка пигментации скорлупы яиц у птиц: определение концентрации протопорфирина / С. А. Родионова, П.Д. Венгеров // Научные ведомости. Серия: Естественные науки. – 2010. – №3 (74). – С. 56–60.
7. Вайковски, М. Д. Возрастные изменения качественных показателей скорлупы яиц кур кросса Hy-Line Brown / М. Д. Вайковски / Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. – СПб.– Пушкин. – 2023.–С. 190-192.
8. Семенченко, С. В. Качественные показатели куриных яиц / С. В. Семенченко, А. С. Дегтярь // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2022. – №1(43). – С. 125-129.
9. Lu, M. Y. Mechanisms associated with the depigmentation of brown eggshells: a review / M. Y. Lu, L. Xu, G. H. Qi, H. J. Zhang et al. // *Poultry Science*. – 2021. – T. 100. – №. 8. – С. 101273. – DOI 10.1016/

j.psj.2021.101273.

10. Кныш, И. В. Сравнительный анализ товарных свойств и качества куриных яиц разных птицефабрик, реализуемых в торговой сети Санкт-Петербурга / И. В. Кныш, Ю. Р. Сафиулова, С. Л. Сафонов // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 1. – С. 91-95. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.1.91.

REFERENCES

1. Shabanova, S. A. Eggshell pigmentation / S. A. Shabanova / *Genetics and animal breeding*. – 2015.–No. 1.– P. 35-38.
2. Okolelova, T. M. Factors affecting the quality of eggshells / T. M. Okolelova, S. V. Egnashev // *Poultry farming*. – 2020. – No. 11. – P. 57-65.
3. Drabik, K. The variability of quality traits of table eggs and eggshell mineral composition depending on hens' breed and eggshell color / K. Drabik, M. Karwowska, K. Wengerska, et al. // *Animals*. – 2021. – V. 11. – P. 1204.
4. Tsarenko, P. P. Methods for assessing and improving the quality of poultry eggs / P. P. Tsarenko, L. T. Vasilyeva / *The training manual*. – Saint Petersburg. – 2024. – 280 p.
5. Wang, H. The pigments in eggshell with different colour and the pigment regulatory gene expression in corresponding chicken's shell gland / H. Wang, Y. Ge, L. Zhang, Y. Wei et al. // *Animal*. – 2023. – T. 17. – No 5. – P. 100776.
6. Rodionova, S. A. Quantitative assessment of eggshell pigmentation in birds: determination of protoporphyrin concentration / S. A. Rodionova, P.D. Vengerov // *Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*. – 2010. – No (74).– P. 56-60.
7. Vaikowski, M. D. Age-related changes in the quality indicators of eggshells of Hy-Line Brown chickens / M. D. Vaikowski / Intellectual potential of young scientists as a driver of agricultural development. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students. – St. Petersburg.–Pushkin. – 2023. – P. 190-192.
8. Semenchenko, S. V. Qualitative indicators

- of chicken eggs / S. V. Semenchenko, A. S. Degtyar // Bulletin of the Don State Agrarian University. – 2022. – №1(43). – P. 125-129.
9. Lu, M. Y. Mechanisms associated with the depigmentation of brown eggshells: a review / M. Y. Lu, L. Xu, G. H. Qi, H. J. Zhang et al. // Poultry Science. – 2021. – T. 100. – No 8. – P. 101273. – DOI 10.1016/j.psj.2021.101273.
10. Knysh, I. V. Comparative analysis of commodity properties and quality of chicken eggs from different poultry farms sold in the St. Petersburg retail chain / I. V. Knysh, Yu. R. Safiulova, S. L. Safronov // Regulatory and legal regulation in veterinary medicine. – 2024. – No. 1. – P. 91-95. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.1.91.

УДК: 612.112:636.12.087.8

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.233

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕЙКОГРАММЫ СПОРТИВНЫХ ЛОШАДЕЙ ПОДВЛИЯНИЕМ ПРОБИОТИКА

Великодная Е.К.* – асп., асс. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0009-0002-4088-9927).

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

*evilli2000@rambler.ru

Ключевые слова: лошади, конный спорт, лейкограмма, пробиотик, анализ крови.

Key words: horses, equestrian sports, leukogram, probiotic, blood test.

Поступила: 15.01.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Пробиотики обладают преимуществом в конном спорте по сравнению с другими адаптогенами, поскольку не требуют нарушения целостности кожных покровов при использовании, т.к. применяются перорально с кормом, и поддерживают баланс микрофлоры в кишечнике, профилактируя тем самым возникновение колик у лошадей. Также применение пробиотика исключает риск использования запрещенных в спорте препаратов, в отличие от растительных биологически активных добавок. Поиск средств для повышения адаптационных возможностей к физической нагрузке у лошадей остается актуальным на сегодняшний день. Цель нашего исследования – оценить влияние пробиотика на лейкограмму спортивных лошадей. Наша работа рассматривает применение пробиотика «Бонака-АПК» в качестве адаптогена для лошадей арабской породы, участвующих в дистанционных пробегах. Лейкограмму выводили с помощью подсчета форм лейкоцитов в мазках крови, окрашенных методом Май-Грюнвальда. Подсчет лейкоцитов осуществлялся в счетной камере с сеткой Горяева. В опытной группе под влиянием физической нагрузки мы наблюдали меньшее нарастание относительного количества сегментоядерных нейтрофилов в ответ на физическую нагрузку, а также более высокое относительное и абсолютное количество лимфоцитов. Нейтрофилы и лимфоциты являются наиболее реактивными клетками, наиболее быстро отвечающими на изменения, происходящие в организме при физической нагрузке. Исходя из наших исследований пробиотик «Бонака-АПК» позволил повысить адаптационные возможности организма лошадей, что привело к менее напряженной реакции клеточного звена. Таким образом, его можно рекомендовать к использованию для спортивных лошадей в качестве адаптогена к физическим нагрузкам, способствуя при этом поддержанию кишечной микрофлоры и снижая риск возникновения колик, что также важно в конном спорте.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Лошадь – это млекопитающее семейства лошадиных отряда непарнокопытных, используемое в сельском хозяйстве. Однако, в настоящее время лошадей чаще используют в спортивном направлении. Они выступают в различных дисциплинах конного спорта, таких как конкур, выездка, троеборье, дистанционные пробеги и др. Спортивная физическая нагрузка является стресс-фактором, к которому организм должен адаптироваться [1; 12].

Большинство дисциплин конного спорта подразумевает совершение лошадью активных действий по перемещению своего тела в пространстве. Для этого посредством тренировочного процесса достигается формирование условных рефлексов, направленных на активацию мышечных сокращений, позволяющих совершать необходимые движения. Раздражая механорецепторы соответствующих зон, всадник активирует рефлекторные дуги, приводящие лошадь в движение. В головном мозге лошади происходит обработка информации, получаемой от экстро-, интерорецепторов, осуществляется анализ нервных и гуморальных влияний. Сформировавшийся ответ передается органам-мишеням, которые обеспечивают развитие специфических для данного стрессора изменений в организме [6].

Решающую роль в формировании ответа на стресс будет играть гипоталамус, активация которого наступает в том числе под влиянием физической нагрузки. Он, получив информацию о появлении стрессора, запускает работу всей стресс-системы, координирует эндокринные, метаболические и поведенческие реакции организма на стрессоры. Активация передних и средних ядер гипоталамуса приводит к освобождению релизинг-факторов, которые направляют функцию переднего гипофиза, его секрецию тропных гормонов. В частности, при активации нейронов паравентрикулярного ядра гипоталамуса освобождается кортикотропин-релизинг-гормон, стимулирующий синтез и секрецию адренотропного

гормона. Последний в свою очередь, стимулирует повышенное выделение глюкокортикоидов из пучковой зоны коры надпочечников – кортизола и кортикостерона [8].

Активация задней части гипоталамуса приводит к повышению тонуса симпатико-адреналовой системы. При этом повышается тонус симпатической нервной системы, усиливается освобождение норадреналина из симпатических нервных окончаний, а из мозгового вещества надпочечников выделяется в кровь адреналин, что приводит к значительному повышению уровня катехоламинов в крови. Высвобождению адреналина способствует снижение глюкозы в крови, расходуемой на энергообеспечение двигательной деятельности скелетных мышц [8].

Это приводит к повышению частоты сердечных сокращений, частоты дыхательных движений, что улучшает доставку кислорода к тканям, а также к перераспределению крови в пользу скелетных мышц, выходу в кровь глюкозы и жирных кислот и к запуску гликогенолиза через активацию адреналином фосфорилазы. Сокращение мышц требует расхода АТФ, запасы которого быстро истощаются в самом начале работы. Затем расходуются запасы креатинфосфата и гликогена с целью получения АТФ. Далее активируются реакции анаэробного и аэробного гликолиза [3; 19; 21].

Клеточные реакции при физической нагрузке реализуются также через симпатoadреналовую и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую системы путем влияния на клетки гормонов адреналина и кортизола, а также недоокисленных продуктов обмена веществ. Катехоламины ответственны за гранулоцитоз и лимфоцитоз, а глюкокортикоиды – за лимфопению [14].

После длительной аэробной нагрузки повышается количество моноцитов и лейкоцитов, максимальное количество последних наблюдается через 3 часа после нагрузки. После бега на 30 км наблюдается нейтрофилия, лимфопения, снижение эозинофилов. Сразу после нагрузки коли-

чество лимфоцитов возрастает и снижается в период восстановления, в некоторых случаях опускается ниже состояния покоя [23].

Миогенный лейкоцитоз вызван, как освобождением нейтрофилов из органов депо, так и изменением маргинального пула циркулирующих лейкоцитов [4].

Экспериментально было доказано, что на любое стрессовое воздействие гипоксического характера в ранние сроки и по мере увеличения тканевой гипоксии идет активация мононуклеарных фагоцитов костного мозга, и поэтому моноцитоз является неспецифической реакцией организма на любое стрессовое воздействие [13].

Применение пробиотиков для повышения продуктивности сельскохозяйственных животных исследовалось многими российскими учеными. Повышение продуктивности лошадей выражается в повышении их работоспособности [15; 17; 18; 22].

Новые данные показали связь между составом кишечной микробиоты и физической активностью, предполагая, что изменения в составе микробиоты кишечника могут способствовать или ухудшать физическую работоспособность спортсмена. Состав и метаболическая активность кишечной микробиоты могут помогать в переваривании пищи, улучшать скорость и мощность двигательных действий во время тренировок, обеспечивая метаболические преимущества во время высокоинтенсивных упражнений и восстановления спортсмена [2].

Во время физических упражнений существует взаимная связь между автономной нервной системой и желудочно-кишечным трактом, которая участвует в реакции на стресс и, как предполагается, частично опосредована высвобождением гормонов кишечника и молекул, полученных из кишечной микробиоты [2].

Таким образом, открывается перспектива использования пробиотических препаратов для повышения адаптационных возможностей спортивных лошадей, что

делает нашу работу актуальной.

Пробиотики обладают преимуществом в конном спорте по сравнению с другими адаптогенами, поскольку не требуют нарушения целостности кожных покровов при использовании, т.к. применяются перорально с кормом, и поддерживают баланс микрофлоры в кишечнике, профилируя тем самым возникновение колик у лошадей. Также применение пробиотика исключает риск использования запрещенных в спорте препаратов, в отличие от растительных биологически активных добавок.

Цель нашего исследования – оценить влияние пробиотика на лейкограмму спортивных лошадей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось на базе конного завода Ленинградской области. Для научной работы было отобрано 15 мерин и 15 кобыл арабской породы в возрасте 6-12 лет, которые проходили заводской тренинг согласно возрасту и получали одинаковый рацион, состоящий из сена, комбикорма, корнеплодов, льняного масла и добавок, макро/микроэлементов и соли, а также ежедневно находились на выгуле в течение 5 часов.

Лошади по принципу пар-аналогов были разделены на 2 группы по 5 лошадей в каждой (опытную и контрольную). Опытная группа в течение месяца получала дополнительно к рациону 50,0 г пробиотика «БОНАКА-АПК» с вечерней порцией корма. Контрольная группа получала стандартный рацион.

Микробиологический комплекс «Бонака-АПК» в 1000 г содержит действующие вещества: комплекс живых штаммов лиофилизированных пробиотических бактерий в количестве: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* – не менее 5×10^8 КОЕ/г, молочнокислых бактерий (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*) – не менее 1×10^9 КОЕ/г, бифидобактерий (*Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium*

longum, Bifidobacterium adolescentis) – не менее 2×10^7 КОЕ/г, пропионовокислых бактерий (Propionibacterium shermanii, Propionibacterium freudenreichii) – не менее 5×10^8 КОЕ/г.

Также в его состав входят вспомогательные вещества (наполнители): сывортка молочная сухая 100,0 г, сорбент минеральный на основе цеолита (трепела) от 200 до 350 г, заменитель сухого обезжиренного молока – до 1000 г.

Пробиотик представляет собой порошок от белого до кремового цвета.

Входящие в состав «БОНАКА-АПК» молочнокислые, пропионовокислые и бифидобактерии обладают высокой антагонистической активностью по отношению к патогенной и условно-патогенной микрофлоре, подавляя ее рост.

Пробы крови в состоянии покоя и после стандартной физической нагрузки отбирали в вакуумные пробирки с трикалиевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты с соблюдением правил асептики и антисептики из яремной вены в покое и после стандартной физической нагрузки до изменения рациона, через 15 и через 30 дней после введения пробиоти-

ка в рацион. Транспортировка проб до лаборатории осуществлялась при температуре $+2 - +8^\circ\text{C}$ в течение не более часа [10]. В покое кровь отбиралась после дня отдыха в 6 часов утра до кормления. Стандартная физическая нагрузка предполагала час работы под всадником, включающий в себя 10 минут шага, 10 минут рыси, 10 минут шага, 10 минут рыси, 5 минут шага, 5 минут галопа, 10 минут шага.

Мазки крови для выведения лейкограммы окрашивали методом Май-Грюнвальда, подсчет лейкоцитов осуществлялся на гематологическом анализаторе HumanCount30^{TS}.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью приложения MicrosoftExcel 2013. Проводили расчет среднего арифметического (M), ошибки среднего арифметического ($\pm m$), а также с помощью t-критерия Стьюдента определяли достоверность влияния пробиотика изменения лейкограммы (уровень значимости $p \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение лейкограммы крови лошадей

Показатель	Референсные значения [7;11;16;20]	Нагрузка (до начала применения пробиотика)		Нагрузка (через 15 дней)		Нагрузка (через 30 дней)	
		Контроль (n=5) M $\pm$ m	Опыт (n=5) M $\pm$ m	Контроль (n=5) M $\pm$ m	Опыт (n=5) M $\pm$ m	Контроль (n=5) M $\pm$ m	Опыт (n=5) M $\pm$ m
Лейкоциты (Г/л)	7,00-12,00	7,13 $\pm$ 1,11	8,45 $\pm$ 1,35	9,92 $\pm$ 1,81	11,55 $\pm$ 0,43	8,82 $\pm$ 0,73	9,93 $\pm$ 0,33
Миелоциты (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Миелоциты (Г/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Юные нейтрофилы (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Юные нейтрофилы (Г/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Показатель	Референсные значения [7;11;16;20]	Нагрузка (до начала применения пробиотика)		Нагрузка (через 15 дней)		Нагрузка (через 30 дней)	
		Контроль (n=5) M±m	Опыт (n=5) M±m	Контроль (n=5) M±m	Опыт (n=5) M±m	Контроль (n=5) M±m	Опыт (n=5) M±m
Палочко-ядерные нейтрофилы (%)	1,00-6,00	2,75±0,25	2,67±0,88	3,33±0,88	2,33±0,88	1,67±0,33	2,00±0,58
Палочко-ядерные нейтрофилы (Г/л)	0,05-0,60	0,19±0,04	0,18±0,11	0,36±0,16	0,26±0,09	0,14±0,03	0,17±0,04
Сегментоядерные нейтрофилы (%)	45,00-70,00	49,00±5,69	48,33±10,41	65,00±2,65*	55,00±2,65	56,67±4,10	50,00±3,22
Сегментоядерные нейтрофилы (Г/л)	2,25-7,00	3,07±0,46	3,40±1,20	6,38±0,96	6,34±0,26	5,05±0,72	4,94±0,19
Эозинофилы (%)	1,00-8,00	2,00±0,57	2,50±0,50	3,33±0,88	2,33±0,88	2,33±1,33	2,33±0,33
Эозинофилы (Г/л)	0,05-0,80	0,12±0,02	0,21±0,01	0,36±0,16	0,26±0,09	0,22±0,13	0,23±0,02
Базофилы (%)	0-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Базофилы (Г/л)	0-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Моноциты (%)	0-10,00	4,00±1,53	3,67±0,33	6,00±1,15	4,33±0,88	5,00±0,58	4,67±0,88
Моноциты (Г/л)	0-1,00	0,28±0,15	0,34±0,05	0,63±0,23	0,51±0,12	0,44±0,07	0,46±0,08
Лимфоциты (%)	20,00-45,00	42,00±4,73	42,67±10,99	23,33±1,45	35,33±3,93**	34,33±4,33	41,33±3,18
Лимфоциты (Г/л)	1,00-4,50	2,80±0,86	4,32±0,01	2,31±0,42	3,99±0,49***	2,97±0,11	4,13±0,47***

Примечание: * – достоверно при $p \leq 0,05$ относительно группы опыта через 15 дней применения пробиотика; ** – достоверно при $p \leq 0,05$ относительно группы контроля через 15 дней применения пробиотика; *** – достоверно при $p \leq 0,05$ относительно группы контроля через 15 и 30 дней применения пробиотика.

Исходя из отображенных в ней данных в покое все показатели лейкограммы у животных контрольной и опытной групп находились в пределах референсных значений. Патологических форм лей-

коцитов в мазках крови не обнаружено.

В состоянии покоя абсолютное количество эозинофилов в крови лошадей опытной группы было достоверно выше на 49,9% по сравнению с контрольной.

Однако, в течение месяца применения пробиотика в опытной группе ни абсолютное, ни относительное количество эозинофилов не изменялось, но увеличилось в контрольной группе. Из чего можно сделать вывод, что влияние пробиотика при данной интенсивности физической нагрузки оценить невозможно.

Через 15 дней применения пробиотика относительное количество сегментоядерных нейтрофилов в контрольной группе стало достоверно выше, чем в опытной на 15,4%.

Через 15 дней применения пробиотика относительное количество лимфоцитов в опытной группе стало достоверно выше, чем в контрольной на 34%.

Через 15 и 30 дней применения пробиотика абсолютное количество лимфоцитов в опытной группе стало выше, чем в контрольной на 42,1% и 28,1% соответственно.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Известно, что высокоинтенсивные физические нагрузки могут вызвать развитие стрессовой лейкограммы, характеризующейся нейтрофилией, моноцитозом, эозинопенией и лимфоцитопенией. Среди клеток периферической крови первыми на физическую нагрузку реагируют нейтрофилы. Физические упражнения сопровождаются увеличением их количества. Также чувствительны к физической нагрузке лимфоциты [9].

В опытной группе под влиянием физической нагрузки мы наблюдаем меньшее нарастание относительного количества сегментоядерных нейтрофилов в ответ на физическую нагрузку, а также более высокое относительное и абсолютное количество лимфоцитов. Учитывая, что нейтрофилы и лимфоциты являются наиболее реактивными клетками, отвечающими на изменения, происходящие в организме при физической нагрузке, можно заключить, что пробиотик «Бонака-АПК» позволил повысить адаптационные возможности организма лошадей, что привело к менее напряженной реакции клеточного звена. Таким образом, его можно использовать в качестве адаптоге-

на к физическим нагрузкам, позволяющего их усиление без вреда для организма лошади и получение более высоких спортивных результатов.

DYNAMICS OF LEUKOGRAM INDICATORS IN SPORT HORSES UNDER THE INFLUENCE OF A PROBIOTIC

Velikodnaya E.K.* – postgraduate student, assistant of the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID 0009-0002-4088-9927).

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*evilli2000@rambler.ru

ABSTRACT

Probiotics offer advantages over other adaptogens in equestrian sports, as they are administered orally with feed without requiring skin penetration. They also maintain intestinal microflora balance, thereby preventing colic in horses. Furthermore, probiotic use eliminates the risk of using prohibited drugs in sports, unlike herbal dietary supplements. The search for ways to enhance horses' adaptability to physical exercise remains relevant today. The aim of our study was to evaluate the effect of a probiotic on the leukogram of sport horses. Our study examines the use of the probiotic "Bonaca-APC" as an adaptogen for Arabian horses participating in endurance racing. The leukogram was calculated by counting the leukocyte forms in blood smears stained with the May-Grünwald method. Leukocyte counting was performed in a counting chamber with a Goryaev grid. In the experimental group, we observed a smaller increase in the relative number of segmented neutrophils in response to physical exercise, as well as a higher relative and absolute number of lymphocytes. Neutrophils and lymphocytes are the most reactive cells, responding most quickly to changes occurring in the body during physical exercise. Based on our research, the probiotic "Bonaca-APK" increased the adaptive capacity of horses, resulting in a less stressful cellular response.

Therefore, it can be recommended for use in sport horses as an adaptogen to physical exercise, while also helping to maintain intestinal microflora and reducing the risk of colic, which is also important in equestrian sports.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Великодная, Е. К. Влияние физических нагрузок на иммунно-биохимический статус спортивных лошадей (обзор литературы) / Е. К. Великодная, Л. Ю. Карпенко // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2025. – № 2(66). – С. 3-12. – DOI 10.24412/2074-5036-2025-266-3-12. – EDN SQKRQF.
2. Влияние состояния микробиома кишечника на работоспособность спортсменов циклических видов спорта по показателям эргометрического тестирования / Ю. И. Корюкалов, М. С. Лапшин, М. В. Кондашевская [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 34-44. – DOI 10.47529/2223-2524.2024.2.8. – EDN BPVWTP.
3. Ермакова, И. В. Современные представления о механизмах регуляции функции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы / И.В. Ермакова // Новые исследования. – 2014. – Т. 41, №4. – С. 77-86.
4. Ермолаева, Е. Н. Реакция нейтрофилов на хроническую физическую нагрузку различной интенсивности / Е. Н. Ермолаева, С. А. Кантюков, В. П. Яковлева // Российский иммунологический журнал. – 2018. – Т. 12, № 3(21). – С. 286-289. – DOI 10.31857/S102872210002396-0. – EDN VVCGXX.
5. Зиновьева, С. А. Реакция организма лошадей рысистых и тяжеловозных пород на скоростно-силовую нагрузку / С. А. Зиновьева, С. А. Козлов, С. С. Маркин // Коневодство и конный спорт. – 2022. – № 2. – С. 17-20. – DOI 10.25727/HS.2022.2.60369. – EDN PYKZQV.
6. Изменение гематологических показателей крови у лошадей, участвующих в конных дистанционных пробегах / Б. С. Семенов, В. А. Гусева, Т. Ш. Кузнецова, А. В. Назарова // Международный вестник ветеринарии. – 2022. – № 3. – С. 193-199. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.3.193. – EDN ZYKYDY.
7. Иммунологические показатели крови старых лошадей / М. В. Щипакин, И. Б. Дугучиев, Н. В. Зеленевский [и др.] // Медицинская иммунология. – 2017. – Т. 19, № 5. – С. 428. – EDN ZBFHYR.
8. Инфекционный процесс / Н.П. Чеснокова, В.В. Моррисон, Г.Е. Брилли [и др.]. – М.: Изд-во Академии естествознания, 2006. – 484 с.
9. Козлов, В. А. Иммунная система и физические нагрузки / В. А. Козлов, О. Т. Кудаева // Медицинская иммунология. – 2002. – Т. 4, № 3. – С. 427-438. – EDN JTOJGR.
10. Клиническая гематология: Учебник / А. А. Алиев, С. А. Рукавишникова, Т. А. Ахмедов [и др.]. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2021. – 120 с. – ISBN 978-5-8114-7974-0. – EDN VVWSOW.
11. Клиническая диагностика внутренних незаразных болезней животных / А.М. Смирнов, П.Я. Конопелько, Р.П. Пушкарёв [и др.]; ред. М.Н. Курзина. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 511 с.
12. Маркин, С. С. Роль лошади в сохранении крестьянства, традиционного уклада и человеческих ценностей современного российского общества / С. С. Маркин, С. А. Зиновьева, С. А. Козлов // Актуальные проблемы социально-гуманитарных наук : сборник статей, Москва, 01 июня 2020 года. Том Выпуск II. – Москва: Издательский дом "Научная библиотека", 2020. – С. 180-189. – EDN NQJLGX.
13. Морфология лейкоцитов как показатель адаптированности спортсменов Якутии к интенсивным физическим нагрузкам / Е. И. Семенова, Л. Д. Олесова, З. Н. Кривошапкина [и др.] // Якутский медицинский журнал. – 2014. – № 2(46). – С. 80-83. – EDN SQWDIH.
14. Мусин, З. Х. Иммунная система человека и физическая нагрузка / З. Х. Мусин, С. В. Латухов // Медицинская иммунология. – 2007. – Т. 9, № 1. – С. 35-38.
15. Оценка гематологических показателей радужной форели при введении в рацион пробиотических препаратов / Л. Ю. Карпенко, Н. А. Сидорова, А. А. Бахта [и др.]

др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 1. – С. 271-277. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.1.271. – EDN DRUBHG.

16. Петрикеева, Л. В. Показатели гомеостаза лошадей чистокровной арабской породы в период ипподромных испытаний: специальность 03.03.01 "Физиология": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Петрикеева Лидия Владимировна. – Москва, 2017. – 22 с. – EDN ZQEGSZ.

17. Применение пробиотика "Бифлор" и иммуностимулятора "Апистимулин-А" для повышения продуктивности цыплят-бройлеров / А. А. Гласкович, Л. Ю. Карпенко, А. Б. Балыкина, А. А. Бахта // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2017. – № 4. – С. 90-92. – EDN ZXWEVJ.

18. Применение пробиотической добавки у супоросных свиноматок в условиях промышленного свиноводства / А. А. Стекольников, Л. Ю. Карпенко, Н. А. Шинкаревич [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 4. – С. 160-165. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2021.4.160. – EDN KDYBXI.

19. Самсонова, А.В. Гормоны и гипертрофия скелетных мышц человека: учеб. пособие / А.В. Самсонова. – СПб: Кинетика, 2019. – 204 с.

20. Сравнительный анализ лейкограмм, полученных разными способами / Е. В. Крапивина, Д. В. Иванов, В. А. Сорокина, Д. А. Терентьева // Инновационное развитие продуктивного и непродуктивного животноводства: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Брянск, 26–27 мая 2022 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2022. – С. 84-88. – EDN GSUCGD.

21. Уилмор, Дж.Х. Физиология спорта и двигательной активности: пер. с англ. / Дж.Х. Уилмор, Д.Л. Костилл. – К.: Олимпийская литература, 1997. – 504 с.

22. Шинкаревич, Н. А. Анализ использования пробиотической кормовой добавки свиньям в период супоросности на про-

дуктивные показатели молодняка / Н. А. Шинкаревич, Л. Ю. Карпенко, А. А. Бахта // Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: Материалы Международной научно-практической конференции, Витебск, 02–04 ноября 2022 года / Редколлегия: Н.И. Гавриченко (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: Учреждение образования "Витебская орден "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины", 2022. – С. 14-16. – EDN MIMMMI.

23. Morgado, J.P. Comparison of immunohematological profile between endurance and power-oriented elite athletes / J.P. Morgado, C.N. Matias, C.P. Monteiro // App. Physiol. Nutr. Metab. – 2017. – 42 (3). – P. 257-262.

REFERENCES

1. Velikodnaya, E. K. The influence of physical activity on the immune-biochemical status of sport horses (literature review) / E. K. Velikodnaya, L. Yu. Karpenko // Current issues in veterinary biology. - 2025. - No. 2 (66). - P. 3-12. - DOI 10.24412/2074-5036-2025-266-3-12. - EDN SQKRQF.

2. The influence of the intestinal microbiome on the performance of athletes in cyclic sports according to ergometric testing indicators / Yu. I. Koryukalov, M. S. Lapshin, M. V. Kondashevskaya [et al.] // Sports medicine: science and practice. - 2024. - Vol. 14, No. 2. - P. 34-44. - DOI 10.47529/2223-2524.2024.2.8. - EDN BPVWTP.

3. Ermakova, I. V. Modern concepts of the mechanisms regulating the function of the hypothalamic-pituitary-adrenal system / I. V. Ermakova // New studies. – 2014. – Vol. 41, No. 4. – P. 77-86.

4. Ermolaeva, E. N. The response of neutrophils to chronic physical activity of varying intensity / E. N. Ermolaeva, S. A. Kantuykov, V. P. Yakovleva // Russian Immunological Journal. – 2018. – Vol. 12, No. 3(21). – P. 286-289. – DOI 10.31857/S102872210002396-0. – EDN VVCGXX.

5. Zinovieva, S. A. Reaction of the body of trotter and heavy draft horses to speed-strength load / S. A. Zinovieva, S. A. Ko-

- zlov, S. S. Markin // Horse breeding and equestrian sport. – 2022. – No. 2. – Pp. 17-20. – DOI 10.25727/HS.2022.2.60369. – EDN PYKZQV.
6. Changes in hematological blood parameters in horses participating in endurance riding / B. S. Semenov, V. A. Guseva, T. Sh. Kuznetsova, A. V. Nazarova // International Veterinary Bulletin. – 2022. – No. 3. – P. 193-199. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.3.193. – EDN ZYKYYD.
7. Immunological parameters of the blood of old horses / M. V. Shchipakin, I. B. Duguchiev, N. V. Zelenevsky [et al.] // Medical Immunology. – 2017. – Vol. 19, No. S. – P. 428. – EDN ZBFHYR.
8. Infectious process / N. P. Chesnokova, V. V. Morrison, G. E. Brill [et al.]. – M.: Publishing house of the Academy of Natural Sciences, 2006. – 484 p.
9. Kozlov, V. A. The Immune System and Physical Activity / V. A. Kozlov, O. T. Kudayeva // Medical Immunology. – 2002. – Vol. 4, No. 3. – Pp. 427-438. – EDN JTOJGR.
10. Clinical Hematology: Textbook / A. A. Aliyev, S. A. Rukavishnikova, T. A. Akhmedov [et al.]. – St. Petersburg: Lan Publishing House, 2021. – 120 p. – ISBN 978-5-8114-7974-0. – EDN VVWSOW.
11. Clinical Diagnostics of Internal Non-Communicable Diseases of Animals / A. M. Smirnov, P. Ya. Konopelko, R. P. Pushkarev [et al.]; ed. M. N. Kurzina. – Moscow: Agropromizdat, 1988. – 511 p.
12. Markin, S. S. The Role of the Horse in Preserving the Peasantry, Traditional Way of Life, and Human Values of Modern Russian Society / S. S. Markin, S. A. Zinovieva, S. A. Kozlov // Actual Problems of Social and Humanitarian Sciences: A Collection of Articles, Moscow, June 1, 2020. Volume Issue II. – Moscow: Publishing House "Scientific Library", 2020. – Pp. 180-189. – EDN NQJLGX.
13. Leukocyte Morphology as an Indicator of Adaptation of Yakutia Athletes to Intense Physical Activity / E. I. Semenova, L. D. Olesova, Z. N. Krivoshapkina [et al.] // Yakut Medical Journal. – 2014. – No. 2 (46). – P. 80-83. – EDN SQWDIH.
14. Musin, Z. Kh. The human immune system and physical activity / Z. Kh. Musin, S. V. Latukhov // Medical Immunology. – 2007. – Vol. 9, No. 1. – P. 35-38.
15. Evaluation of hematological parameters of rainbow trout when introducing probiotic preparations into the diet / L. Yu. Karpenko, N. A. Sidorova, A. A. Bakhta [et al.] // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2025. – No. 1. – P. 271-277. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.1.271. – EDN DPUBHG.
16. Petrikeeva, L. V. Homeostasis indicators of purebred Arabian horses during hippodrome trials: specialty 03.03.01 "Physiology": abstract of a dissertation for the degree of candidate of biological sciences / Petrikeeva Lidiya Vladimirovna. – Moscow, 2017. – 22 p. – EDN ZQEGSZ.
17. Use of the probiotic "Biflor" and the immunostimulant "Apistimulin-A" to improve the productivity of broiler chickens / A. A. Glaskovich, L. Yu. Karpenko, A. B. Balykina, A. A. Bakhta // Issues of legal regulation in veterinary medicine. – 2017. – No. 4. – P. 90-92. – EDN ZXWEVJ.
18. Use of a probiotic supplement in pregnant sows under industrial pig farming conditions / A. A. Stekolnikov, L. Yu. Karpenko, N. A. Shinkarevich [et al.] // International Veterinary Bulletin. – 2021. – No. 4. – P. 160-165. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2021.4.160. – EDN KDYBXI.
19. Samsonova, A.V. Hormones and hypertrophy of human skeletal muscles: a tutorial / A.V. Samsonova. – St. Petersburg: Kinetika, 2019. – 204 p.
20. Comparative analysis of leukograms obtained by different methods / E. V. Krapivina, D. V. Ivanov, V. A. Sorokina, D. A. Terentyeva // Innovative development of productive and unproductive animal husbandry: Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference, Bryansk, May 26-27, 2022. – Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2022. – P. 84-88. – EDN GSUCGD.
21. Shinkarevich, N. A. Analysis of the use of a probiotic feed additive for sows during gestation on the productive indicators of young animals / N. A. Shinkarevich, L. Yu. Karpenko, A. A.

Bakhta // Actual problems of treatment and prevention of diseases of young animals: Proceedings of the International scientific and practical conference, Vitebsk, November 2–4, 2022 / Editorial board: N. I. Gavrichenko (editor-in-chief) [et al.]. – Vitebsk: Educational Institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine", 2022. – pp. 14–16. – EDN MIMMMI.

21. Wilmore, J.H. Physiology of Sport and Physical Activity: trans. from English / J.H. Wilmore, D.L. Costill. - K.: Olympic Literature, 1997. - 504 p.

22. Shinkarevich, N. A. Analysis of the use of a probiotic feed additive to sows during gestation on the productive indicators of

young animals / N. A. Shinkarevich, L. Yu. Karpenko, A. A. Bakhta // Actual problems of treatment and prevention of diseases of young animals: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Vitebsk, November 2-4, 2022 / Editorial Board: N.I. Gavrichenko (editor-in-chief) [et al.]. – Vitebsk: Educational Institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine", 2022. – P. 14-16. – EDN MIMMMI.

23. Morgado, J.P. Comparison of immunohematological profile between endurance- and power-oriented elite athletes / J.P. Morgado, C.N. Matias, C.P. Monteiro // App. Physiol. Nutr. Metab. – 2017. – 42 (3). – P. 257-262.

УДК: 617.7-073.178: 636.028

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.243

РЕФЕРЕНТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ У РАЗНЫХ ВИДОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Головина А.А. – науч. сотр. отдела специфической токсикологии и микробиологии (ORCID 0009-0002-2792-322X); Кательникова А.Е. – канд. мед. наук, рук. отдела специфической токсикологии и микробиологии (ORCID 0000-0003-3203-9869); Макарова М.Н. – д-р биол. наук, директор (ORCID 0000-0003-3176-6386); Каранина В.Д. * – канд. ветеринар. наук, зам. рук. отдела специфической токсикологии и фармакодинамики (ORCID: 0000-0001-9536-9676)

АО «НПО «ДОМ ФАРМАЦИИ»

* karanina.vd@doclinika.ru

Ключевые слова: внутриглазное давление, офтальмотонометрия, референтный интервал, лабораторные животные.

Key words: intraocular pressure, ophthalmotonometry, reference range, laboratory animals.

Поступила: 05.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Офтальмотонометрия является неинвазивным методом регистрации внутриглазного давления (ВГД) и широко используется в доклинических исследованиях с целью раннего выявления токсических эффектов и комплексной оценки фармакологической активности препаратов. В данной статье приведены референтные интервалы внутриглазного давления яванских макак, карликовых свиней, крыс и кроликов породы паннон и советская шиншилла. Для получения референтных интервалов использовались данные, полученные на базе АО «НПО «ДОМ ФАРМАЦИИ» от здоровых яванских макак (n=50), крыс Wistar (n=80), карликовых свиней (n=36), кроликов породы советская шиншилла (n=80) и белый паннон (n=62) в период с мая 2024 по июль 2025 года. Измерения проводили у половозрелых и неполовозрелых самцов и самок (небеременные и нерожавшие, без учета фазы эстрального цикла). Измерение проводили с помощью ветеринарного тонометра TonoVet на самцах и самках лабораторных животных разного возраста. Наименьший разброс индивидуальных значений ВГД наблюдали у кроликов породы советская шиншилла и белый паннон, он не превышал 10,5%. В подавляющем большинстве работ, опубликованных по экспериментальной офтальмологии, выбирают новозеландских кроликов-альбиносов (новозеландская порода). Однако отказ от животных с содержащимися меланином глазами значительно снижает трансляционность исследований, поскольку у большинства людей глаза пигментированные. Полученные результаты могут быть использованы в доклинических исследованиях токсичности лекарственных средств, при оценке фармакологической активности гипотензивных препаратов на моделях глаукомы *in vivo*, а также в диагностике заболеваний экзотических животных.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Для регистрации на фармацевтическом рынке нормативными документами предусмотрено изучение токсического влияния лекарственных средств на организм лабораторных животных: нервную, сердечно-сосудистую, дыхательную и другие системы органов. В частности, для оценки эффективности и безопасности лекарственных препаратов необходима комплексная диагностика органа зрения, поскольку различные группы препаратов могут оказывать токсическое действие на глаз. Спазмолитики способны вызывать миодриаз, риск развития закрытоугольной глаукомы, снижение слезоотделения, диплопию, циклоплегию, а АКТГ и стероиды - транзиторную близорукость, заднюю субкапсулярную катаракту, глаукому, усиление вирусной, грибковой и бактериальной глазной инфекции. Изменение внутриглазного давления способны вызывать: спазмолитики, слабительные, сердечные гликозиды, антигипертензивные средства и диуретики, салицилаты, седативные средства и транквилизаторы, гормоны и др. [1].

Офтальмотонометрия является неинвазивным методом регистрации внутриглазного давления (ВГД) и широко используется в доклинических исследованиях с целью раннего выявления токсических эффектов и комплексной оценки фармакологической активности препаратов. Глазное яблоко млекопитающих можно условно представить в виде жесткого контейнера, заполненного жидкостями двух видов: водянистой (водянистая влага) и гелеобразной (стекловидное тело) [2]. ВГД определяется изменением объема данных компонентов, а также зависит от внешних факторов: времени суток, возраста, общего состояния организма. Например, было установлено, что ВГД повышается у всех млекопитающих в ночное время суток [3], данный факт необходимо учитывать при планировании исследований, чтобы не пропустить пиковые значения ВГД. Также ВГД зависит от видовых особенностей и среды обитания, например, давление у ластоногих и кито-

образных в отличие от сухопутных млекопитающих примерно равно нулю [4]. В привычных условиях окружающей среды у здорового животного ВГД регулируется, главным образом, равновесием между процессами секреции и реабсорбции водянистой влаги [5].

Вода и питательные вещества поступают из кровеносных сосудов в заднюю камеру глаза посредством ультрафильтрации, диффузии и активного транспорта через двухслойный эпителий цилиарных отростков, расположенных на задней поверхности реснитчатого тела. Через зрачковое отверстие водянистая влага проникает в переднюю камеру глаза и циркулирует в ней, обеспечивая питание роговицы и хрусталика. Основной отток осуществляется в иридокорнеальном углу: проходя через многослойный барьер (трабекулярная сеть) жидкость по гидростатическому градиенту попадает в Шлеммов канал, откуда по венозным сосудам возвращается в системный кровоток [6]. Дополнительный путь, называемый увеосклеральным, эвакуирует водянистую влагу посредством «утечки» через межклеточное пространство реснитчатого тела, склеры и других структур передней камеры глаза.

Моделирование повышенного ВГД используется в исследованиях патофизиологии глаукомы и потенциальных гипотензивных препаратов на таких видах лабораторных животных, как яванский макак, макак-резус, карликовая свинья, собака, кролик, крыса и мышь. Индукция данной патологии выполняется, главным образом, путем введения окклюзирующих материалов в переднюю камеру (гиалуроновой кислоты, латексных микрочастиц) или склеротического повреждения элементов дренажной системы глаза такими методами, как прижигание эписклеральных вен и лазерная фотокоагуляция зоны лимба. Кроме того, многие авторы сообщают об успешных трансгенных моделях индуцированной первичной открытоугольной глаукомой у мышей. С помощью аденовирусных векторов осуществляется доставка генов, кодирующих

фактор роста соединительной ткани, антагонист костного морфогенетического белка, фактор роста опухоли $\beta 2$, миоцилин, секретируемый протеин 1, родственный завитым белкам и другие вещества, повышенная экспрессия которых вызывает увеличение ВГД [7].

Очевидно, что единственными животными, у которых клиническое проявление офтальмологических патологий наиболее приближено к таковому у человека, являются нечеловекообразные приматы [8]. Тем не менее, из-за географической отдаленности естественных мест обитания использование данных видов обезьян в качестве тест-систем весьма ограничено. Альтернативной моделью с крупным глазным яблоком является свинья, у которой отмечают выраженное с человеком сходство в строении сетчатки и диска зрительного нерва. Однако дренажная система водянистой влаги имеет анатомические особенности: функцию Шлеммова канала у свиней выполняет угловое водянистое сплетение, вместо трабекулярной – корнеосклеральная сеть, что может обуславливать отличное от человеческого изменение ВГД в условиях эксперимента [9]. Тем не менее, в модели глаукомы, индуцированной методом окклюзии эписклеральных вен, у карликовых свиней регистрировали повышение ВГД на 4 мм рт. ст., вдавление зрительного нерва и снижение плотности ганглиозных клеток сетчатки [10].

Проведение доклинических исследований с крупными животными осложняется дороговизной их содержания. Результаты электронной и световой микроскопии еще в прошлом веке доказали сходство клеточного строения и физиологии оттока водянистой влаги у крыс и приматов. Например, у крыс так же, как у человека, 80% жидкости эвакуируется из глаза через трабекулярную сеть и истинный Шлеммов канал [11]. Однако размер глазного яблока является серьезным ограничивающим фактором, т.к. требует высокой квалификации хирургического персонала при индукции патологии, а также

затрудняет проведение тонометрии и других прижизненных методов диагностики.

Кролик является наиболее часто используемой тест-системой в экспериментальной офтальмологии: определяющими факторами являются доступность животных на рынке, простота содержания и крупное глазное яблоко по сравнению с лабораторными грызунами. Данные преимущества нивелируют ограниченную релевантность модели, обусловленную значительными анатомическими различиями. У кроликов на передней поверхности реснитчатого тела обнаружены уникальные структуры – ножки радужной оболочки, которые обеспечивают надежную фиксацию тонкой длинной радужки и большого цилиарного отростка [12]. По мнению некоторых авторов, ножки радужки могут оказывать дополнительное сопротивление течению водянистой влаги [13]. Еще одной важной особенностью оттока жидкости является отсутствие Шлеммова канала, его функцию выполняет т.н. водянистое сплетение [13] или трабекулярный канал [14]. Несмотря на все различия, глаз кролика хорошо отвечает на человеческие противоглаукомные препараты и активно используется в качестве тест-системы в исследованиях их фармакологической активности [13]. Помимо вышеупомянутых способов моделирования глаукомы, в литературе описано субконъюнктивальное и местное введение кортикостероидов кроликам-альбиносам. Породы с непигментированными глазами выбраны неслучайно, т.к. меланин обладает свойством связывать стероиды и тем самым снижать эффективность и пролонгировать их действие [15]. Гипертензивное действие дексаметазона на глаза белых новозеландских кроликов было обусловлено дезорганизацией структур трабекулярной зоны, что привело к нарушению оттока водянистой влаги [16]. В клинической практике длительное применение глюкокортикостероидных препаратов может приводить к развитию так называемой стероидной глаукомы [17].

Несмотря на широко представленные в открытом доступе физиологические

значения ВГД различных животных, для исследовательского учреждения является неоценимым преимуществом создание и пополнение базы внутрилабораторных референтных интервалов, т.к. измерения проводятся на той же популяции животных и тем же инструментом, которые задействованы в коммерческих экспериментах.

Таким образом, для адекватной оценки результатов офтальмотонометрии, проводимой в рамках доклинических исследований эффективности и безопасности противоглаукомных препаратов, экспериментатору необходимо учитывать диапазон значений ВГД здоровых лабораторных животных. Целью данной работы является определение референтных интервалов ВГД у разных видов лабораторных животных без анестезии с помощью контактного тонометра с методом отскока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для получения референтных интервалов использовались данные, полученные на базе АО «НПО «ДОМ ФАРМАЦИИ» от здоровых яванских макаков ($n=50$), крыс Wistar ($n=80$), карликовых свиней ($n=36$), кроликов породы советская шиншилла ($n=80$) и белый паннон ($n=62$) в период с мая 2024 по июль 2025 года. Измерения проводили у половозрелых и неполовозрелых самцов и самок (небеременные и нерожавшие, без учета фазы эстрального цикла), возраст животных указан в итоговой таблице. Согласно результатам исследования животных-индикаторов, в аккредитованной лаборатории, популяции перечисленных видов животных были свободны от специфических патогенных бактерий, эндо- и эктопаразитов. Результаты туберкулинизации всех приматов отрицательные. Карликовые свиньи были вакцинированы против лептоспироза, рожи свиней, болезни Ауески, классической чумы свиней и парвовирусной инфекции. Кролики были подвергнуты вакцинации против миксоматоза и вирусной геморрагической болезни.

Животные находились в стандартных контролируемых условиях окружающей среды в соответствии с Директивой 2010/63/EU. Животных размещали гармоничными группами или индивидуально, площадь пола соответствовала Руководству по содержанию и использованию лабораторных животных. Все животные получали *ad libitum* воду, очищенную и нормированную по органолептическим и химическим свойствам в соответствии с СанПиН 2.1.3684-21. Для каждого вида животных основным кормом являлся полнорационный гранулированный комбикорм, приготовленный в соответствии с ГОСТ 34566-2019, производитель ЗАО «Тосненский комбикормовый завод». В качестве подстилки использовались древесные пеллеты из лиственных пород древесины.

Яванские макаки содержались в стандартных клетках, для обеспечения физической активности, познавательной и тактильной потребностей для животных в клетках содержания проводились тренировки. Животным ежедневно два раза в день выдавали 300 г комбикорма ЛБК-120, один раз в день – 300 г моркови. Рацион дополняли в зависимости от дня недели свежими овощами или фруктами (600 г бананов или 600 г огурцов), сухофруктами или семенами (60 г семечек подсолнечных, или 60 г изюма, или 6 фиников) и второй порцией овощей (60 г лука или 60 г китайской капусты). Карликовые свиньи содержались в стандартных вольерах, комбикорм СК-1-Т размачивали и давали во влажном виде два раза в сутки, в качестве докорма использовали сухую молочную сыворотку, морковь и яблоки. Крысы содержались в стандартных прозрачных пластиковых клетках, покрытых решетчатыми крышками с кормовым углублением. Комбикорм ЛБК-120 давали один раз в сутки. Для приближения к условиям естественного обитания животным предоставляли пластиковые туннели и материал для гнездования. Кролики содержались в стандартных изолированных боксах, комбикорм ПК-90-Л давали два раза в сутки. Во всех помещениях поддержива-

ли режим освещенности 12:12 ночь:день. В период освещенности «день» уровень освещенности находился в диапазоне 250–350 лк.

Для измерения внутриглазного давления использовался ветеринарный тонометр TonoVet Plus (iCare, Финляндия). Данный тонометр работает по принципу «отскока»: он фиксирует замедление зонда и время его отскока, на основе чего вычисляет ВГД. Во время измерения то-



Рисунок 1 – Регистрация ВГД у кролика породы паннон на манипуляционном столе без использования рестрейнера. Животное находится в сознании, мягко зафиксировано руками исследователя.

Процесс регистрации включал шесть последовательных замеров, при которых наконечник двигался между роговицей и корпусом прибора, осуществляя отскок. После завершения шести измерений тонометр вычислял окончательное значение ВГД.

Для обработки полученных данных использовали лицензированное про-

граммное обеспечение Microsoft Excel (США). Для обнаружения выбросов применяли метод Тьюки, использующий диаграмму «ящик с усами», границы которой определяются при помощи квартилей (Q_1 и Q_3) и разности между ними – межквартильного размаха (IQR):
 $[Q_1 - 1,5IQR; Q_1 + 1,5IQR]$



Рисунок 2 – Регистрация ВГД у яванской макаки в клетке содержания. Животное находится в сознании, спокойно переносит процедуру, требуя лишь незначительной фиксации, поскольку предварительно приучено к выполнению разных манипуляций на протяжении длительного времени.

граммное обеспечение Microsoft Excel (США). Для обнаружения выбросов применяли метод Тьюки, использующий диаграмму «ящик с усами», границы которой определяются при помощи квартилей (Q_1 и Q_3) и разности между ними – межквартильного размаха (IQR):

$[Q_1 - 1,5IQR; Q_1 + 1,5IQR]$

Экстремальные значения, не входящие в диапазон между усами блочной диаграммы, исключали из анализа. Значения ВГД у всех видов животных соответствовали закону нормального распределения, референтные интервалы (РИ) были рассчитаны как среднее арифметическое (М) и стандартное отклонение (SD):

$$[M-1,96SD; M+1,96SD]$$

Дополнительно для численной оценки вариабельности показателя были рассчитаны коэффициенты вариации (CoV):

$$CoV = SD/M \times 100\%$$

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты определения референтных интервалов ВГД самцов лабораторных животных представлены в таблице 1, самок – в таблице 2.

Размер выборки (N) представлял собой количество глаз за исключением выбросов.

Результаты самок и самок исследованных видов животных были сопоставимы между собой, что согласуется с подходом зарубежных ученых [16, 18-25], которые, как правило, объединяют значения обоих полов (таблица 3).

Доля выбросов, исключенных из анализа, не превышала 10%, что указывает на гомогенность популяции животных, использованных для получения внутрилабораторных референтных интервалов.

Наибольшей межиндивидуальной вариабельностью отличались результаты

половозрелых крыс ($CoV > 15\%$), что могло быть связано с агрессивным поведением взрослых животных во время измерений. При этом, несмотря на малый размер глазного яблока, коэффициент вариабельности у крысят был намного меньше и составил 7,6% и 11,5% для самок и самцов соответственно.

Офтальмотонометрия вызывала у неполовозрелых карликовых свиней дистресс, который выражался громкой вокализацией и приводил к неадекватному повышению ВГД (более 55 мм рт. ст.), которое сохранялось в течение 20-30 минут. Мы считаем, что тонометрию у данной категории животных целесообразно проводить только под общей анестезией, что выходит за рамки цели данной работы. В связи с этим, результаты измерения ВГД неполовозрелых карликовых свиней не представлены в итоговых таблицах. У карликовых свиней, как самых крупных исследованных животных, закономерно отмечали наибольшее ВГД, среднее значение у самцов составило 31 мм рт. ст., у самок – 30 мм рт. ст. Полученные результаты соответствовали опубликованным интервалам ВГД здоровых карликовых свиней (14-31 мм рт. ст., таблица 3) [19]. В приведенном нами источнике тонометрию у свиней проводили с использованием анестезирующих капель, что, вероятнее всего, было обусловлено выраженной тревожностью у данного вида животных.

Таблица 1 – Референтные интервалы ВГД самцов лабораторных животных

Вид животного	Возраст	N	ВГД, мм рт. ст.		Доля выбросов, %	CoV, %
			РИ	M±SD		
Яванский макак	6-8 мес.	9	16–20	18±1,0	10,0	5,8
	3-4,5 г.	38	17–23	20±1,7	5,0	8,6
Карликовые свиньи	6,5-8 мес.	36	24–37	31±3,4	5,3	11,3
Крысы Wistar	2-3 нед.	37	16–25	20±2,3	7,5	11,5
	4 мес.	39	13–26	20±3,3	2,5	16,8
Кролики советская шиншилла	1 мес.	38	13–19	16±1,4	5,0	8,8
	6-7 мес.	40	17–23	20±1,4	0,0	7,2
Кролики паннон	1 мес.	22	14–20	17±1,7	0,0	10,1
	7 мес.	39	18–24	21±1,7	2,5	8,3

Таблица 2 – Референтные интервалы ВГД самок лабораторных животных

Вид животного	Возраст	N	ВГД, мм рт. ст.		Доля выбросов, %	CoV, %
			РИ	M±SD		
Яванский макак	6-8 мес.	10	15–24	19±2,3	0,0	12,0
	3-4,5 г.	39	16–23	20±1,8	2,5	9,2
Карликовые свиньи	6,5-8 мес.	33	22–39	30±4,3	2,9	14,1
Крысы Wistar	2-3 нед.	38	16–22	19±1,5	5,0	7,6
	4 мес.	38	14–30	22±4,0	5,0	18,5
Кролики советская шиншилла	1 мес.	40	14–20	17±1,6	0,0	9,5
	6-7 мес.	40	17–23	20±1,6	0,0	7,9
Кролики паннон	1 мес.	24	13–20	17±1,7	0,0	10,2
	7 мес.	40	16–25	21±2,2	0,0	10,5

Таблица 3 – Объединенные результаты измерения ВГД у половозрелых самцов и самок в сравнении с литературными данными, мм рт.ст.

Вид животного	Результаты исследования	Литературные данные
Яванский макак	16–23 (N=77)	18-19 ^[18] (n=10, без анестезии)
Карликовые свиньи	23–38 (N=69)	14-31 ^[19] (n не указано, местная анестезия)
Крысы Wistar	13–28 (N=77)	10-14 ^[22] (n=9, общая анестезия) 18-19 ^[23] (n=4, общая анестезия)
Кролики (не альбиносы)	17–23 (N=80)	17-27 ^[25] (n=10, без анестезии) 14-32 ^[25] (n=10, местная анестезия)
Кролики-альбиносы	17–25 (N=79)	12-21 ^[16] (n=45, местная анестезия) 4-15 ^[20] (n=28, без анестезии) 4-15 ^[21] (n=19, без анестезии) 11-20 ^[21] (n=19, местная анестезия) 4-20 ^[24] (n=12, без анестезии) 5-19 ^[24] (n=12, местная анестезия)

Наименьший разброс индивидуальных значений ВГД наблюдали у кроликов породы советская шиншилла и белый паннон, он не превышал 10,5%. В подавляющем большинстве работ, опубликованных по экспериментальной офтальмологии, выбирают новозеландских кроликов-альбиносов (новозеландская порода). Однако отказ от животных с содержащими меланин глазами значительно снижает трансляционность исследований, поскольку у большинства людей глаза пигментированные.

Наиболее часто используемыми приборами среди приведенных литературных источников являются TonoVet, описанный в материалах и методах данной рабо-

ты, и аппланационный тонометр TonoPen Avia. Последний требует применения местных анестетиков, поскольку измеряет силу, необходимую для сдавливания определенного участка роговицы. Данная особенность может существенно повлиять на результаты эксперимента, в связи с этим на кроликах был опубликован целый ряд сообщений [21, 24, 25], в которых приводят ВГД одной популяции животных с целью сравнить взаимную воспроизводимость измерений приборов TonoVet и TonoPen (таблица 3). В двух из трех приведенных нами источников результаты аппланационного тонометра превышали показания тонометра с методом отскока.

Безусловно, при регистрации ВГД портативным тонометром существует вероятность искажения результатов, обусловленная субъективными ощущениями исследователя. Bertens C.J.F. с соавторами (2021) представили в своей работе результаты офтальмотонометрии, полученные двумя наблюдателями [23]: разность между средними составила 0,02 мм рт. ст. при использовании прибора Топо-Vet. Аппланационный тонометр в данном случае оказался более уязвимым для влияния субъективного фактора: разница между средними составила 1,48 мм рт. ст.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В рамках проведенного исследования были определены референтные интервалы ВГД у яванских макаков, карликовых свиней, крыс и кроликов, полученные результаты были сопоставимы с литературными данными по ряду видов животных. Особенную ценность представляют данные кроликов породы советская шиншилла, которая наиболее часто используется в экспериментальной фармакологии и является более релевантной моделью благодаря наличию пигмента в глазах.

Практическое значение данной работы заключается в возможности использования полученных референтных интервалов для оценки воздействия фармакологических и токсикологических факторов на зрительные органы в доклинических исследованиях, а также для ранней диагностики и мониторинга глазных заболеваний лабораторных животных.

INTRAOCULAR PRESSURE REFERENCE INTERVALS IN DIFFERENT LABORATORY ANIMAL SPECIES

Golovina A.A. – Research Scientist of the Department of Specific Pharmacology and Microbiology (ORCID 0009-0002-2792-322X); **Katelnikova A.E.** – Candidate of Sciences in Medicine, Head of the Department of Specific Pharmacology and Microbiology (ORCID 0000-0003-3203-9869); **Makarova M.N.** – Doctor of Sciences in Biology, Director (ORCID 0000-0003-3176-6386); **Karanina V.D.** * – Candidate of Sciences in Veterinary, Deputy Head of the

Department of Specific Pharmacology and Pharmacodynamics (ORCID 0000-0001-9536-9676)

RMC «HOME OF PHARMACY»

* karanina.vd@doclinika.ru

ABSTRACT

Ophthalmotonometry is a non-invasive method for recording intraocular pressure (IOP) and is widely used in preclinical studies for the early detection of toxic effects and a comprehensive assessment of the pharmacological activity of drugs. This article presents the reference intervals for intraocular pressure in cynomolgus macaques, dwarf pigs, rats, and Pannon and Soviet Chinchilla rabbits. The reference intervals were obtained from healthy cynomolgus macaques (n=50), Wistar rats (n=80), dwarf pigs (n=36), Soviet Chinchilla (n=80), and White Pannon (n=62) rabbits at JSC NPO DOM PHARMATII between May 2024 and July 2025. Measurements were performed in sexually mature and immature males and females (non-pregnant and nulliparous, ignoring the estrous cycle phase). Measurements were performed using a TonoVet veterinary tonometer on male and female laboratory animals of various ages. The smallest variation in individual IOP values was observed in Soviet Chinchilla and White Pannon rabbits, not exceeding 10.5%. The vast majority of studies published in experimental ophthalmology use New Zealand albino rabbits (a New Zealand breed). However, excluding animals with melanin-containing eyes significantly reduces the translational value of the research, as most humans have pigmented eyes. These results can be used in preclinical drug toxicity studies, in assessing the pharmacological activity of antihypertensive drugs in in vivo glaucoma models, and in diagnosing diseases in exotic animals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Müller-Breitenkamp, U., Hockwin, O. Arzneimittelnebenwirkungen am Auge // Laryngorhinootologie. – 1992. – №71(4). – P. 226-228.

2. Machiele, R., Motlagh, M., Zeppieri, M. Intraocular Pressure. StatPearls Publishing. – 2025. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532237/> (дата обращения 12.2025)
3. Ikegami, K. Circadian rhythm of intraocular pressure // *The Journal of Physiological Sciences*. – 2024. – Т. 74, №1. – статья №14.
4. Mass, A. M., Supin, A. Y. A. Adaptive features of aquatic mammals' eye // *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*. – 2007. – Т. 290, №6. – P. 701-715.
5. Sunderland, D.K., Sapra, A. Physiology, Aqueous Humor Circulation. StatPearls Publishing. – 2025. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553209/> (дата обращения 12.2025)
6. Stamper, R. L., Lieberman, M. F., Drake, M. V. *Becker-Shaffer's Diagnosis and Therapy of the Glaucomas*, 8th Edition, Mosby, 2009.
7. Pang, I., Clark, A. F. Inducible Rodent Models of Glaucoma // *Progress in Retinal and Eye Research*. – 2019. – №75. – статья №100799.
8. Zernii, E., Baksheeva, V., Iomdina, E., Averina, O., Permyakov, S., Philippov, P., Zamyatnin, A., Senin, I. Rabbit Models of Ocular Diseases: New Relevance for Classical Approaches // *CNS & neurological disorders drug targets*. – 2015. – №15(3). – P. 267–291.
9. Middleton, S. *Porcine Ophthalmology // Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. – 2010. – № 26(3). – P. 557–572.
10. Ruiz-Ederra, J., García, M., Hernández, M., Urcola, H., Hernández-Barbáchano, E., Araiz, J., Vecino, E. The pig eye as a novel model of glaucoma // *Experimental Eye Research*. – 2005. – №81(5). – P. 561–569.
11. Chen, L., Zhao, Y., Zhang, H. Comparative Anatomy of the Trabecular Meshwork, the Optic Nerve Head and the Inner Retina in Rodent and Primate Models Used for Glaucoma Research // *Vision*. – 2016. – №1 (1). – статья №4.
12. Peiffer, R. L., Jr, Pohm-Thorsen, L., Corcoran, K. *The Biology of the Laboratory Rabbit*, Academic Press, 1994.
13. Edward, D. P., Bouhenni, R. Anterior segment alterations and comparative aqueous humor proteomics in the buphthalmic rabbit (an American Ophthalmological Society thesis) // *Transactions of the American Ophthalmological Society*. – 2011. – №109. – P. 66–114.
14. Gwon, A. *Animal Models in Eye Research*, Academic Press, 2008.
15. Leblanc, B., Jezequel, S., Davies, T., Hanton, G., Taradach, C. Binding of drugs to eye melanin is not predictive of ocular toxicity // *Regulatory toxicology and pharmacology*. – 1998. – №28(2). – P. 124–132.
16. Qin, Y., Lam, S., Yam, G. H. F., Choy, K. W., Liu, D. T. L., Chiu, T. Y. H., Fan, D. S. P. A rabbit model of age-dependant ocular hypertensive response to topical corticosteroids // *Acta Ophthalmologica*. – 2010. – №90(6). – P. 559–563.
17. Нагорнова, З. М. Стероидная глаукома // *Клиническая медицина*. – 2021. – Т. 99, № 7-8. – С. 420-428.
18. Tomoaki, A., Masamitsu, S. Investigation into the usefulness of cynomolgus monkeys with spontaneously elevated intraocular pressure as a model for glaucoma treatment research // *Journal of Pharmacological Sciences*. – 2024. – Т. 154, №2. – P. 52-60
19. Jakobs, T. C. *Glaucoma: Methods and Protocols (Methods in Molecular Biology, 1695)*, Humana Press, 2018.
20. Wang, X., Dong, J., Wu, Q. Twenty-four-hour measurement of IOP in rabbits using rebound tonometer // *Veterinary Ophthalmology*. – 2013. – №16(6). – P. 423–428.
21. Pigatto, J., da Mota, M., Soares, M., Bercht, B., Pereira, F. Comparison of a rebound and an applanation tonometer for measuring intraocular pressure in normal rabbits // *Veterinary Ophthalmology*. – 2011. – №14(5). – P. 321–326.
22. Kontiola, A. I., Goldblum, D., Mittag, T., Danias, J. The Induction/Impact Tonometer: a New Instrument to Measure Intraocular Pressure in the Rat // *Experimental Eye Research*. – 2001. – № 73(6). – P. 781–785.

23. Wang, W.-H., Millar, J. C., Pang, I.-H., Wax, M. B., Clark, A. F. Noninvasive Measurement of Rodent Intraocular Pressure with a Rebound Tonometer // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. – 2005. – № 46(12). – статья № 4617.
24. Bertens, C.J.F., van Mechelen, R.J.S., Berendschot, T.T.J.M. Repeatability, reproducibility, and agreement of three tonometers for measuring intraocular pressure in rabbits // *Sci Rep*. – 2021. – №11. – статья № 19217.
25. Shin, Y.I., Kim, Y.K., Jeoung, J.W. Age-related changes of intraocular pressure in Dutch belted rabbits // *Sci Rep*. – 2024. – № 14. – статья №12065.
- REFERENCES**
1. Müller-Breitenkamp, U., Hockwin, O. Arzneimittelnebenwirkungen am Auge // *Laryngorhinootologie*. – 1992. – №71(4). – P. 226-228.
2. Machiele, R., Motlagh, M., Zeppieri, M. Intraocular Pressure. StatPearls Publishing. – 2025. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532237/> (accessed on 12.2025)
3. Ikegami, K. Circadian rhythm of intraocular pressure // *The Journal of Physiological Sciences*. – 2024. – T. 74, №1. – статья №14.
4. Mass, A. M., Supin, A. Y. A. Adaptive features of aquatic mammals' eye // *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*. – 2007. – T. 290, №6. – P. 701-715.
5. Sunderland, D.K., Sapra, A. Physiology, Aqueous Humor Circulation. StatPearls Publishing. – 2025. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553209/> (accessed on 12.2025)
6. Stamper, R. L., Lieberman, M. F., Drake, M. V. Becker-Shaffer's Diagnosis and Therapy of the Glaucomas, 8th Edition, Mosby, 2009.
7. Pang, I., Clark, A. F. Inducible Rodent Models of Glaucoma // *Progress in Retinal and Eye Research*. – 2019. – №75. – статья №100799.
8. Zernii, E., Baksheeva, V., Iomdina, E., Averina, O., Permyakov, S., Philippov, P., Zamyatnin, A., Senin, I. Rabbit Models of Ocular Diseases: New Relevance for Classical Approaches // *CNS & neurological disorders drug targets*. – 2015. – №15(3). – P. 267–291.
9. Middleton, S. Porcine Ophthalmology // *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. – 2010. – № 26(3). – P. 557–572.
10. Ruiz-Ederra, J., García, M., Hernández, M., Urcola, H., Hernández-Barbáchano, E., Araiz, J., Vecino, E. The pig eye as a novel model of glaucoma // *Experimental Eye Research*. – 2005. – №81(5). – P. 561–569.
11. Chen, L., Zhao, Y., Zhang, H. Comparative Anatomy of the Trabecular Meshwork, the Optic Nerve Head and the Inner Retina in Rodent and Primate Models Used for Glaucoma Research // *Vision*. – 2016. – №1 (1). – статья №4.
12. Peiffer, R. L., Jr, Pohm-Thorsen, L., Corcoran, K. The Biology of the Laboratory Rabbit, Academic Press, 1994.
13. Edward, D. P., Bouhenni, R. Anterior segment alterations and comparative aqueous humor proteomics in the buphthalmic rabbit (an American Ophthalmological Society thesis) // *Transactions of the American Ophthalmological Society*. – 2011. – №109. – P. 66–114.
14. Gwon, A. Animal Models in Eye Research, Academic Press, 2008.
15. Leblanc, B., Jezequel, S., Davies, T., Hanton, G., Taradach, C. Binding of drugs to eye melanin is not predictive of ocular toxicity // *Regulatory toxicology and pharmacology*. – 1998. – №28(2). – P. 124–132.
16. Qin, Y., Lam, S., Yam, G. H. F., Choy, K. W., Liu, D. T. L., Chiu, T. Y. H., Fan, D. S. P. A rabbit model of age-dependant ocular hypertensive response to topical corticosteroids // *Acta Ophthalmologica*. – 2010. – №90(6). – P. 559–563.
17. Nagornova Z. M. Steroidnaya glaukoma // *Klinicheskaya medicina*. – 2021. – T. 99, №. 7-8. – P. 420-428.
18. Tomoaki, A., Masamitsu., S. Investigation into the usefulness of cynomolgus monkeys with spontaneously elevated intraocular

- pressure as a model for glaucoma treatment research // *Journal of Pharmacological Sciences*. – 2024. – Т. 154, №2. – P. 52-60
19. Jakobs, T. C. *Glaucoma: Methods and Protocols* (Methods in Molecular Biology, 1695), Humana Press, 2018.
20. Wang, X., Dong, J., Wu, Q. Twenty-four-hour measurement of IOP in rabbits using rebound tonometer // *Veterinary Ophthalmology*. – 2013. – №16(6). – P. 423–428.
21. Pigatto, J., da Mota, M., Soares, M., Bercht, B., Pereira, F. Comparison of a rebound and an applanation tonometer for measuring intraocular pressure in normal rabbits // *Veterinary Ophthalmology*. – 2011. – №14(5). – P. 321–326.
22. Kontiola, A. I., Goldblum, D., Mittag, T., Danias, J. The Induction/Impact Tonometer: a New Instrument to Measure Intraocular Pressure in the Rat // *Experimental Eye Research*. – 2001. – № 73(6). – P. 781–785.
23. Wang, W.-H., Millar, J. C., Pang, I.-H., Wax, M. B., Clark, A. F. Noninvasive Measurement of Rodent Intraocular Pressure with a Rebound Tonometer // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. – 2005. – № 46(12). – статья № 4617.
24. Bertens, C.J.F., van Mechelen, R.J.S., Berendschot, T.T.J.M. Repeatability, reproducibility, and agreement of three tonometers for measuring intraocular pressure in rabbits // *Sci Rep*. – 2021. – №11. – статья № 19217.
25. Shin, Y.I., Kim, Y.K., Jeoung, J.W. Age-related changes of intraocular pressure in Dutch belted rabbits // *Sci Rep*. – 2024. – № 14. – статья №12065.

УДК: 619:611.13:611.3:636.5

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.254

ОСОБЕННОСТИ ВЕТВЛЕНИЯ ВЕНОЗНЫХ СОСУДОВ ПИЩЕВОДА, ЗОБА И ЖЕЛЕЗИСТОГО ЖЕЛУДКА У КУРИЦЫ

Диких А.А.^{1*} – канд. ветеринар наук, стар. препод. каф. нормальной физиологии (ORCID 0000-0002-4556-6142); Фоменко Л.В.² – д-р ветеринар. наук, проф. каф. анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии (ORCID 0009-0007-7047-7540).

¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет»

² ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет»

* aamatweewa150488@mail.ru

Ключевые слова: микроциркуляторное русло, железистый желудок, венозные сосуды, рефлексогенная зона, транскапиллярный кровоток.

Key words: microcirculatory bed, glandular stomach, venous vessels, reflexogenic zone, transcapillary blood flow.

Поступила: 04.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Целью работы является уточнение источников венозного оттока от пищевода, зоба и железистого желудка у курицы Хайсекс белый, а также установление закономерностей ветвления венозных сосудов в них. Материалом для исследования служили 5 тушек курицы Хайсекс белый в возрасте 160 суток (самки). Для изучения венозной системы птиц применяли препарирование, изготовление просветленных препаратов. Для изготовления ангиостеотопических препаратов с использованием пластмассы акрилового ряда «Редонт» с добавлением масляных красок использовали 3-х птиц для морфометрии вен. Нами установлено, что все вены пищевода, зоба и железистого желудка у курицы образуют единую гемодинамическую систему, которая подразделяется на магистральные (яремная правая и левая), экстраорганные (восходящая и нисходящие пищеводные, дорсальная и вентральная провентрикулярные) и интраорганные вены. Венозный отток от стенок пищевода осуществляется по 5-7 ветвям, поступающим в восходящую и нисходящую пищеводные вены, а затем в соответствующие яремные вены. Венозный дренаж от зоба осуществляется по правой, левой и вентральной зобным венам. Вены железистого желудка у курицы представлены поверхностными и глубокими венозными сосудами. По поверхностным венам – провентрикулярной дорсальной и вентральной, лежащим на его соответствующих поверхностях, происходит отток крови от железистого желудка, а по глубоким, где образуется мощное подслизистое сплетение в форме сетевидных, поперечных и дугообразных анастомозов, происходит дренажирование водорастворимых веществ в венозную кровь. Железистый желудок имеет овально-вытянутую форму, поэтому в разветвлении венозных сосудов наблюдается характерное строение в виде округлых ячеек, которые имеют одинаковую толщину на всем протяжении органа в соответствии с течением трансорганного кровотока.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Актуальность исследования. Изучение закономерностей ветвления сосудов пищевода, зоба и железистого желудка у птиц представляет собой важный аспект в понимании общих принципов венозного оттока от этих органов. Отделы пищеварительного тракта подвержены значительным объемным изменениям в процессе наполнения и эвакуации кормовых масс, что обуславливает специфику их кровоснабжения.

Эволюционная адаптация птиц к различным типам питания, сопряженная с высоким уровнем метаболизма, потребовала развития эффективной системы кровообращения, ключевым элементом которой является венозный дренаж.

При анализе данных отечественной и зарубежной литературы отмечаем, что практически отсутствует расширенная информативность и констатация их микроциркуляторного русла в органах переднего отдела пищеварительной системы у птиц [1-7]. Отсутствие сведений по венозному оттоку от пищевода, зоба и железистого желудка у птиц послужило проведением данного исследования.

Цель работы – уточнить источники венозного оттока от пищевода, зоба и железистого желудка у курицы Хайсекс белый, установить закономерности ветвления венозных сосудов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Материалом для исследования служили 5 тушек курицы Хайсекс белый в возрасте 160 суток (самки). В венозное русло с помощью шприца через бедренную вену вводили латекс марки СК-65, окрашенный черной тушью. Препарирование производили с помощью микроскопа МБС-2 с использованием инструментов, применяемых в глазной практике. Методом просветленных препаратов определяли тип ветвления и наличие анастомозов в пищеводе, зобе и железистом желудке. Для изготовления ангиостеотопических препаратов использовали самотвердеющую пластмассу акрилового ряда «Редонт» с добавлением масляных кра-

сок, которую вводили через бедренную вену у 3 тушек птиц. После инъекции тушки помещали для растворения мягких тканей в 30% раствор едкого натрия на трое суток. Морфометрию венозных сосудов производили с помощью окуляр-микрометра.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате проведенных исследований нами установлено, что все вены пищевода, зоба и железистого желудка у курицы, образуют единую гемодинамическую систему, которая подразделяется на экстра- и интраорганные сосуды по отношению к структурным отделам органов, что согласуется с мнением [8, 9, 10]. Они образуют обширный поверхностный и глубокий слои в виде подслизистого, межмышечного и подсерозного сплетений.

Яремные вены располагаются на боковых поверхностях шеи под кожей в наиболее защищенном месте от механического воздействия.

Поверхностный слой локализуется в серозной оболочке, в то время как глубокий – располагается в межмышечном и подслизистом слоях органа. Капилляры поверхностного слоя имеют больший диаметр по сравнению с глубоким, образуя крупные, вытянутые петли, которые между собой они образуют хорошо развитое венозное сплетение в то время, как межмышечное и подслизистое сплетения на протяжении всего пищевода характеризуются мелкопетливой и равномерной структурой. В верхней и средней трети мышечной оболочки пищевода отмечают V-образный, кистевидный и Т-образный тип ветвления, в то время как в мышечном слое грудного отдела наблюдается более сложное и густое ветвление сосудов.

Венозный отток от стенок пищевода осуществляется по 5-7 пищеводным венам. С медиальной поверхности краниальной и средней трети органа вены дренируют кровь в правую и левую яремные вены. Венозная кровь от нижней трети грудной части пищевода оттекает по пищеводной и зобным венам, впадающим в

яремные вены.

Зоб курицы представляет собой мешкообразный дивертикул в нижней трети шейного отдела пищевода, который располагается слева от трахеи. Интрамуральные вены зоба, располагающиеся в адвентиции и межмышечных слоях, формируют обильные анастомозы, образуя мелкопетлистую сеть полигональной конфигурации. Данные сосуды характеризуются магистральным типом ветвления, многослойным расположением и извилистым ходом. Сеть дренируется в коллекторные вены, которые, объединяясь, формируют общий ствол, впадающий в яремную вену с ее дорсальной поверхности.

Венозный дренаж зоба осуществляется по трем основным магистралям: правой, левой и вентральной зобным венам. Правая зобная вена принимает 7-8 мелких вен, лежащих на расстоянии 0,3-0,4 мм друг от друга, которые собирают кровь с нижней трети пищевода и с правой стороны зоба, вливаясь под тупым углом в правую яремную вену (Рис. 1). В вентральную зобную вену собирается кровь по сосудам, ветвящихся по магистральному типу от его вентральной поверхности, до впадения в правую яремную вену, в нее впадает правая зобная вена. Отток крови по левой стороне зоба выполняется по 9-

10 венозным сосудам в левую зобную вену, входящую в яремную вену своей стороны (Рис. 1, 2). Вены железистого желудка у курицы представлены поверхностными и глубокими венозными сосудами. По поверхностным венам, лежащим на его дорсальной и вентральной поверхности – провентрикулярной дорсальной и вентральной, происходит отток крови от железистого желудка, а по глубоким, где образуется мощное подслизистое сплетение в форме сетевидных, прямолнейных, поперечных и дугообразных анастомозов, происходит дренажирование водорастворимых веществ в венозную кровь (Рис. 3).

Железистый желудок имеет овально-вытянутую форму, поэтому в разветвлении венозных сосудов наблюдается характерный план строения, который отличается особой композицией внутри органа в соответствии с течением трансорганного кровотока.

Две поверхностно лежащие провентрикулярная дорсальная и вентральная вены, лежащие внутри серозной оболочки железистого желудка и проходящие продольно по его дорсальной и вентральной поверхности, соединяются между собой редкими анастомозами. Отток крови по ним осуществляется в воротные вены.

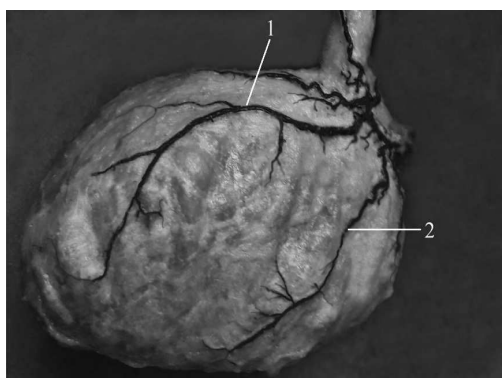


Рисунок 1 – Венозные сосуды зоба у курицы Хайсекс белый, в возрасте 160 суток, правая сторона (фото с макропрепарата): 1 – правая зобная вена; 2 – вентральная зобная вена.

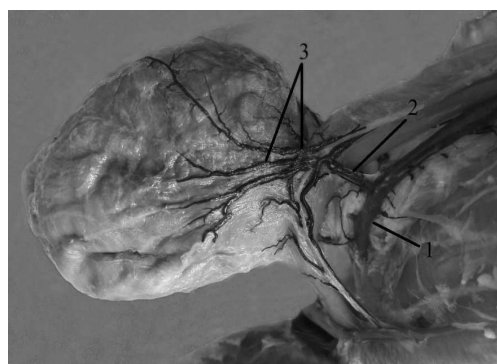


Рисунок 2 – Венозные сосуды зоба у курицы Хайсекс белый, в возрасте 160 суток, левая сторона (фото с макропрепарата): 1 – левая яремная вена; 2 – левая зобная вена, 3 – ветви левой зобной вены.



Рисунок 3 – Венозные сосуды железистого желудка у курицы Хайсекс белый, в возрасте 160 суток (фото с макропрепарата): 1 – дорсальная провентрикулярная вена; 2 – вентральная провентрикулярная вена; 3 – анастомозы.

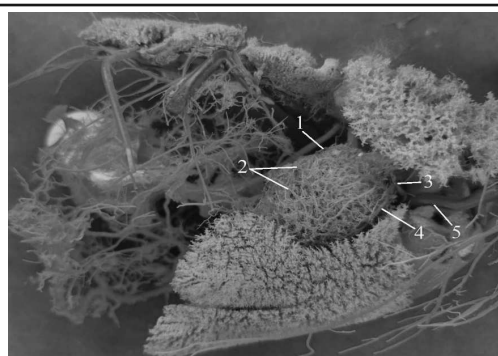


Рисунок 4 – Интраорганные вены железистого желудка у курицы Хайсекс белый в возрасте 160 суток (фото с коррозионного препарата): 1 – железистый желудок; 2 – глубокий слой вен железистого желудка; 3 – дорсальная провентрикулярная вена; 4 – вентральная провентрикулярная вена; 5 – каудальная полая вена.

От слизистой оболочки железистого желудка собирается венозная кровь по мелким капиллярам, которые затем проникают в мышечную оболочку, образуя межмышечное сплетение с ориентацией сосудов вдоль пучков мышечных волокон, которые плотно окружают пакеты трубчатых желез в виде ячеек многогранной формы, где происходит интенсивное образование секрета пищеварительных желез, как отмечено в работе [6]. Возможно, что за счет наличия и сокращения пучков гладких мышечных волокон, стимулируется функция альвеолярно-трубчатых желез.

Нами отмечено, что венозные сосуды глубокого слоя в железистом желудке имеют одинаковый диаметр на протяжении всей его длины, они образуют ячейки округлой формы, потому происходит равномерное перемещение венозной крови в одном направлении на всем их протяжении, создавая стабильное интравазальное движение. Присутствие большого количества капилляров образует их значительный суммарный просвет, по дискретности формирующий обширный путь коллатерального венозного оттока (Рис.

4). При этом, венозные сосуды участвуют в устойчивой биорегуляции кровенаполнения капилляров для выполнения физиологических функций по расщеплению кормовых масс до простых водорастворимых соединений под действием соляной кислоты и пепсиногена, что отмечено в работе [4]. В железистом желудке отмечается наличие небольшой толщины стенки венозных сосудов, в отличие от артерий, поэтому даже при незначительном усилении движения крови происходит сильное растяжение их стенок, что способствует преобладанию в них низкого внутривенного давления и, следовательно, при пассивной изменчивости просвета вен, значительно усиливается не только секреторная функция в подслизистом слое, но дренажирование жидкой части и питательных веществ.

Наличие большого просвета вен и неравномерность расширения венозной стенки, способствует формированию депонирующей функции, а также образования значительной рефлексогенной зоны за счет баро-, хемо-и проприорецепторов. Венозные сосуды участвуют в транс ка-

пиллярном кровотоке вследствие разницы пре-и посткапиллярного сопротивления, выполняя резистивную функцию, что согласуется с [6].

Под эпителием капиллярная сеть размещается в основании складок, образуя одноконтурные ячейки многоугольной формы. Васкуляризация ворсинок осуществляется артериальными капиллярами по рассыпному типу в их основании, а в оттоке крови из них принимают участие капилляры в подслизистое венозное сплетение.

В мышечной оболочке железистого желудка между пучками циркулярных и продольных слоев гладких мышечных волокон, располагается межмышечное сплетение. Мелкие капилляры сконцентрированы вдоль пучков мышечных и коллагеновых волокон, формируя трехмерную ступенчатую сеть в форме прямоугольных ячеек. Снаружи железистый желудок покрыт серозной оболочкой.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В результате проведенных исследований отмечаем, что все вены пищевода, зоба и железистого желудка у курицы подразделяются на магистральные (яремная правая и левая), экстраорганные (восходящая и нисходящие пищеводные, дорсальная и вентральная провентрикулярные) и интраорганные вены.

В ветвлении венозных сосудов пищевода отмечается сегментарный тип. Наличие извитых сосудов можно рассматривать как характерное приспособление в связи с прохождением пищи в пищеводе или в зобе при его наполнении.

Интраорганные венозные сосуды глубокого слоя железистого желудка равномерной ширины на всем протяжении, они анастомозируя между собой, образуют ячейки округлой формы.

FEATURES OF BRANCHING OF VENOUS VESSELS OF THE ESOPHAGUS, GOITER AND GLANDULAR STOMACH IN CHICKEN

Dikikh A.A.^{1*} – Candidate of Veterinary Sciences, Senior Lecturer, Department of Normal Physiology (ORCID 0000-

0002-4556-6142); Fomenko L.V.² – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Anatomy, Histology, Physiology, and Pathological Anatomy (ORCID 0009-0007-7047-7540).

¹ Omsk State Medical University

² Omsk State Agrarian University

* aamatweewa150488@mail.ru.

ABSTRACT

The aim of this study was to clarify the sources of venous outflow from the esophagus, crop, and gizzard in the Hisex White chicken, as well as to establish patterns of venous branching within them. Five 160-day-old Hisex White female chicken carcasses served as the study material. Dissection and the preparation of cleared specimens were used to study the birds' venous system. Three birds were used to prepare angio-osteotopic specimens using Redont acrylic resin with the addition of oil paints for venous morphometry. We established that all the veins of the esophagus, crop, and gizzard in chickens form a single hemodynamic system, which is subdivided into main veins (right and left jugular veins), extraorgan veins (ascending and descending esophageal veins, dorsal and ventral proventricular veins), and intraorgan veins. Venous drainage from the esophageal walls occurs through 5-7 branches, which enter the ascending and descending esophageal veins and then the corresponding jugular veins. Venous drainage from the crop occurs through the right, left, and ventral crop veins. The veins of the chicken's glandular stomach are represented by superficial and deep venous vessels. The superficial veins—the proventricular, dorsal, and ventral veins, located on its respective surfaces—drain blood from the glandular stomach, while the deep veins, where a powerful submucosal plexus forms in the form of reticular, transverse, and arcuate anastomoses, drain water-soluble substances into the venous blood. The glandular stomach has an oval-elongated shape, therefore, in the branching of the venous vessels, a characteristic structure is observed in the form of rounded cells,

which have the same thickness throughout the entire length of the organ in accordance with the flow of transorgan blood flow.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nickel, R. Anatomy of the domestic birds / R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle. – Berlin: Verlag Paul Parey, 1977. – 202 p.
2. Baumel, J. J. Osteologia / J. J. Baumel, L. M. Witmer // Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avian / ed J. J. Baumel [et al.]. – 2nd ed. – Cambridge, Massachusetts, 1993. – P. 45-132. – (Publication of the Nuttall Orthithological Club ; № 23). Режим доступа:
3. Maher, M. Descriptive Anatomy of Hepatic and Portal Veins with Special Reference to Biliary Duct System in Broiler Chickens (*Gallus gallus domesticus*): A Recent Illustration / M. Maher // Brazilian Journal of Poultry Science. – 2019. – Vol. 21, № 2. – P. 001-012. – DOI: 10.1590/1806-9061-2019-0980
4. Sayrafi, R. Histological and histochemical study of the proventriculus (*Ventriculus glandularis*) of common starling (*Sturnus vulgaris*) / R. Sayrafi, M. Aghagolzadeh // Anat Histol Embryol. – 2020. – Vol. 49(1). – P. 105-111. doi:10.1111/ah.12495
5. Tolba, A. R. Gross Anatomical study on the hepatic portal vein tributaries in the common domestic pigeon «*Columba Livia Domestica*» / A. R. Tolba // International Journal of Veterinary Science. – 2015. – Vol. 4, № 2. – P. 63-68.
6. Saran D., Meshram B., Joshi H., Singh G., S. Kumar. Gross Morphological Studies on the Digestive System of Guinea Fowl (*Numida meleagris*) International Journal of Livestock Research. 2019. Vol 9 (02). pp 266-276. DOI 10.5455/ijlr.20180907051353.
7. Арнович, О. А. Видовые особенности источников артериальной васкуляризации пищевода у гуся итальянского / О. А. Арнович, Л. В. Фоменко // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 1(46). – С. 95-100. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32723617>

8. Фоменко, Л. В. Особенности ветвления венозных сосудов пищевода, зоба и железистого желудка у курицы, утки и гуся / Л. В. Фоменко, О. А. Арнович // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (22). – С. 187-190. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26584026>
9. Хонин, Г. А. Строение венозной системы переднего отдела туловища у куро- и гусеобразных / Г. А. Хонин, Л. В. Фоменко // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 11(65). – С. 103-106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13090103>
10. Беличенко, В. М. Механизмы изменения распределения кровотока между органами у кур в онтогенезе / В. М. Беличенко, И. М. Коростышевская, К. А. Шошенко // Российский физиологический журнал. – 2003. – Т. 89, № 12. – С. 1551-1559.

REFERENCES

1. Nickel, R. Anatomy of the domestic birds / R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle. – Berlin: Verlag Paul Parey, 1977:202.
2. Baumel, J. J. Osteologia / J. J. Baumel, L. M. Witmer // Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avian / ed J. J. Baumel [et al.]. – 2nd ed. – Cambridge, Massachusetts, 1993:45-132. – (Publication of the Nuttall Orthithological Club ; № 23). URL: <https://archive.org/details/handbookofaviana00worl/mode/1up>
3. Maher, M. Descriptive Anatomy of Hepatic and Portal Veins with Special Reference to Biliary Duct System in Broiler Chickens (*Gallus gallus domesticus*): A Recent Illustration // Brazilian Journal of Poultry Science. 2019. 21(2):001-012. – DOI: 10.1590/1806-9061-2019-0980
4. Sayrafi R, Aghagolzadeh M. Histological and histochemical study of the proventriculus (*Ventriculus glandularis*) of common starling (*Sturnus vulgaris*). Anat Histol Embryol. 2020;49(1):105-111. doi:10.1111/ah.12495
5. Tolba, A. R. Gross Anatomical study on the hepatic portal vein tributaries in the common domestic pigeon «*Columba Livia Do-*

- mestica» / A. R Tolba // International Journal of Veterinary Science. 2015;4(2):63-68.
6. Saran D., Meshram B., Joshi H., Singh G., S. Kumar. Gross Morphological Studies on the Digestive System of Guinea Fowl (*Numida meleagris*) International Journal of Livestock Research. 2019;(02).266-276. DOI 10.5455/ijlr.20180907051353.
67. Arnovich, O. A. Specific peculiarities of arterial vascularization sources of Italian goose's esophagus / O. A. Arnovich, L. V. Fomenko // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2018;1:95-100. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32723617> (In Russ.).
8. Fomenko, L. V. Specifics of branching of venous vessels of esophagus, goitre and forestomach in hens, ducks and geese / L.V. Fomenko // Vestnik of Omsk SAU. 2016;2187-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26584026> (In Russ.).
9. Honin, G. Structure of venous system of the forward department of the trunk at fowl-like birds and anseriformes / G. Honin, L. Fomenko // Agrarian Bulletin of the Urals. 2009;11:103-106. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13090103> (In Russ.).
10. Belichenko, V. M. K mekhanizmu izmeneniia mezhorgannogo raspredeleniia krovotoka u kur v ontogeneze [Mechanisms of changes in blood flow distribution between organs in hens during ontogenesis] / V. M. Belichenko, I. M. Korostyshevskaya, K. A. Shoshenko // Russian Journal of Physiology. 2003;89(12):1551-1559 (In Russ.).

УДК: 619:612.017.3:615.739.13:636.4
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.261

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА АНАФИЛАКТИЧЕСКОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО ШОКА У ПОРОСЯТ, ВЫЗВАННОГО ПРЕПАРАТАМИ ЖЕЛЕЗА

Кошкарев М.В.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии, **Бойко Т.В.** – д-р ветеринар. наук, доц., зав. каф. диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства, **Любимова А.С.** – асп.

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет
им. П.А. Столыпина»

*mv.koshkarev@omgau.org

Ключевые слова: лекарственный анафилактический шок, препараты железа, судебно-ветеринарная экспертиза, патологоанатомические признаки.

Key words: drug-induced anaphylactic shock, iron preparations, veterinary medicolegal expertise, postmortem findings.

Поступила: 15.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В работе представлены результаты патологоанатомического вскрытия трех трупов поросят 4-суточного возраста, павших после внутримышечного введения железосодержащего препарата Эритрофер 200 в профилактической дозе 1 мл. Цель исследования – привлечь внимание ветеринарных специалистов к проблеме постмортальной диагностики лекарственного анафилактического шока, вызванного парентеральным введением железосодержащих препаратов. Материалами послужили протоколы патологоанатомического вскрытия трех случаев лекарственного анафилактического шока у поросят с летальным исходом. В ходе проведения аутопсии были поставлены патологоанатомические диагнозы: окрашивание окружающих тканей, отек и очаговый некроз мышц в месте инъекции препарата; окрашивание регионарных лимфоузлов; дистрофия миокарда (паралитическое сердце); острая застойная гиперемия оболочек и отек головного мозга; острая застойная гиперемия и отек легких; отеки подкожной клетчатки, лимфоузлов, брыжейки толстого кишечника; острая застойная гиперемия печени и селезенки; отек и белковая дистрофия почек; точечные кровоизлияния на серозной оболочке ободочной кишки, корковом веществе почек; анемия слизистых оболочек и мышечной ткани. Было установлено, что гибель животных наступила вследствие анафилактического шока, вызванного введением железосодержащего препарата. Непосредственной причиной смерти явился паралич сердца на фоне острой сердечной недостаточности и гипоксического состояния, усугубленного отеком головного мозга и легких. Локализация инъекции лекарственного препарата в области шеи отягощала развитие патологического состояния вследствие гиперэргической воспалительной реакции с оте-

ком окружающих тканей. Материалы исследования приведены в виде описания макрокартины внешних покровов и внутренних органов. В работе представлены снимки органов поросят с патологоанатомическими изменениями, характерными для лекарственного анафилактического шока, спровоцированного применением препарата Эритрофер 200.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Проблема серьезных нежелательных реакций с летальным исходом на введение молодняку животных препаратов железа известна давно, однако, до сих пор, ветеринарные специалисты, работающие на животноводческих комплексах, предпочитают о ней широко не распространяться [1, 2]. Анализ доступной информации в интернет-пространстве показал, что проблема «отравлений» животных периодически возникает у поросят и телят. Так, зарубежные исследователи, делятся размышлениями о механизме «отравлений» новорожденных поросят препаратами железа и роли витаминизации препаратами токоферола супоросных свиноматок [3, 4]. Можно ли считать подобные случаи развития серьезных нежелательных реакций, влекущих гибель животных, на введение лекарственного препарата отравлением, и кому в таком случае предъявлять претензии – вопрос остается открытым и до настоящих дней. Ведь лекарственные препараты, используемые согласно инструкции по применению, нельзя считать некачественным продуктом или услугой. По закону отравление, вызванное только некачественным продуктом или услугой, может служить основанием для предъявления претензий о возмещении ущерба [5, 6]. Доказать, что лекарственный препарат не качественный – практически невозможно, так как многие из них даже не включены в реестр ветеринарных лекарственных препаратов, разрешенных к применению в РФ. Врачами гуманной медицины особое внимание обращено на высокий риск развития серьезных местных и системных побочных реакций при использовании парентеральной ферротерапии, в связи с чем парентеральные препараты железа должны применяться только строго по специальным показаниям [7]. К сожалению, в инструкциях по применению железосодержащих препаратов животных указаний о серьез-

ных нежелательных реакциях (СНР), возможных при применении системных препаратов, за исключением индивидуальной повышенной чувствительности к компонентам препарата – нет. На практике ветеринарным врачам, при возникновении СНР у животных на фоне введения лекарственных препаратов, зачастую купировать их не удастся.

Цель исследования – привлечь внимание ветеринарных специалистов к проблеме постмортальной диагностики лекарственного анафилактического шока, вызванного парентеральным введением железосодержащих препаратов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Работа выполнена на материалах протоколы патологоанатомического вскрытия трех случаев лекарственного анафилактического шока (ЛАСШ) с летальным исходом. В секционном зале крематора произведено вскрытие трех трупов поросят 4-х суточного возраста, белой масти, принадлежащих одному из предприятий Омской области.

Из анамнеза известно, что свиноматка благополучно по инфекционным болезням животных. На предприятии проводятся все плановые противоэпизоотические мероприятия. Поросята содержались в индивидуальных станках со свиноматками. Кормление свиноматок осуществляется гранулами собственного производства, производится 2 раза в сутки по разработанной на предприятии схеме, доступ к воде свободный. В июле 2025 года поросят в количестве 120 голов 3-х дневного возраста, согласно плана профилактических мероприятий, была произведена внутримышечная инъекция в область шеи железосодержащего препарата Эритрофер 200 (Производитель: ООО «БЕЛЭКОТЕХНИКА», РБ) в дозе 1 мл согласно инструкции по применению производителя. Следующим утром опера-

тором были обнаружены трупы поросят, падеж составил около 50 % от обработанного поголовья.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При наружном осмотре дефростированных четырехдневных трупов поросят (2 свинки и 1 боровок), породы ландрас, белой масти, массой 1,2 - 1,7 кг отмечали следующие признаки: глазные щели - приоткрыты, кожа и веки без повреждений припухшие, истечения отсутствуют, глазные яблоки без повреждений, роговица слегка помутневшая, конъюнктивит гладкая, влажная, блестящая, бледная, истечений нет. Ротовое отверстие закрыто, истечения отсутствуют, язык расположен в ротовой полости, поврежден по краю, слизистая оболочка влажная, гладкая, блестящая, бледная. Из носовых отверстий при надавливании истечения слизистого характера, слизистая оболочка гладкая, влажная, блестящая, покрасневшая, пятючок без повреждений, красного цвета. В носовой полости содержится

незначительное количество жидкого прозрачного содержимого желто-розового цвета. Околоносовые пазухи без содержимого. Носовая перегородка без деформаций и повреждений. Ушные раковины без повреждений и постороннего содержимого, покрасневшие, наружный слуховой проход чистый. Анальное отверстие закрыто, слизистая оболочка влажная, блестящая, бледно-розового цвета, повреждения, загрязнения отсутствуют. При осмотре наружных половых органов - слизистая оболочка гладкая, влажная, бледно-розового цвета, истечений, повреждений нет. Щетина блестящая, редкая, хорошо удерживается в коже, аллопеции отсутствуют. Целостность кожных покровов не нарушена. В затылочной части головы, шеи, в области межжелюстного пространства, в месте инъекции препарата кожа покрасневшая, синюшная, отечная (рис. 1, 2). На остальных участках - кожа умеренно эластичная, бело-бледно-розового цвета.



Рисунок 1 – Внешний вид трупа поросенка в возрасте 4 дней. Выраженный отек области век, шеи и межжелюстного пространства.

Подкожная жировая клетчатка - слабо развита. На разрезе в области головы, шеи студневидные отеки (рис. 3). В месте инъекции, затылочной части головы, межжелюстном пространстве подкожная клетчатка окрашена в оранжево-коричневый цвет - цвет препарата (рис.4). Подобная находка в виде желто-



Рисунок 2 – Место инъекции лекарственного препарата Эритрофер 200. Выраженный отек и синюшность кожи в месте инъекции.

коричневого окрашивания встречается у поросят до 3-х месяцев и вызвана наличием частиц железосодержащего препарата, однако аналогичные изменения могут быть обнаружены и у убойных свиней, когда после введения железосодержащих препаратов прошло не менее 6 месяцев [8]. Поверхностные лимфатические узлы

— околоушные, подчелюстные, поверхностные шейные подвижные, сочные со стороны инъекции темного-серо-коричневого цвета.

Поверхностные паховые лимфоузлы сочные, серо-розового цвета не увеличены. Мышечная ткань развита в соответствии с возрастом, мышцы упругой консистенции, от бело-молочного до бледно-

розового цвета, рисунок волокнистого строения сохранен, кровоизлияния, повреждения отсутствуют. Мышцы в области шеи места инъекции сильно отечные, покрасневшие, окрашены в желто-серо-коричневый цвет с кровоизлияниями, рисунок очагово сглажен, межмышечная соединительная ткань имеет оранжево-зеленовато-коричневый цвет.



Рисунок 3 – Сильный отек подкожной клетчатки межчелюстного пространства головы. Часть ткани окрашена лекарственным препаратом Эритрофер 200. Труп поросенка, возраст 4 суток.



Рисунок 4 – Отек и окрашивание в оранжево-зеленовато-коричневый цвет скелетных мышц в месте инъекции лекарственного препарата Эритрофер 200. Труп поросенка, возраст 4 суток.



Рисунок 5 – Окрашивание окружающей ткани и синовиальной жидкости затылочно-атлантного сустава в оранжево-коричневый цвет лекарственного препарата Эритрофер 200. Труп поросенка дефростированный, возраст 4 суток.



Рисунок 6 – Отек легких трупа поросенка, возраст 4 суток, через сутки после внутримышечного введения лекарственного препарата Эритрофер 200.

Кости твердые, нормальной формы. Суставы подвижны, в их полости содержится небольшое количество желтоватой синовиальной жидкости, суставные поверхности костей периферического скелета гладкие, влажные, белого цвета. Синовиальные оболочки влажные, гладкие, серого цвета. Сухожилия прочные, белого цвета. У одного из поросят окружающие ткани и синовиальная жидкость затылочно-атлантного сустава были окрашены в оранжево-коричневый цвет (рис. 5).

При внутреннем осмотре органов брюшной полости положение органов анатомически правильное. Содержится незначительное количество прозрачной желтоватого цвета жидкости. Парие탈ная и висцеральная брюшина гладкая, влажная, блестящая, бледно розового цвета. Целостность диафрагмы не нарушена, кровоизлияния отсутствуют. Положение органов грудной полости анатомически правильное. Повреждений и наложений нет. В грудной полости около 10 мл прозрачной соломенно-розового цвета жидкости, реберная и легочная плевра гладкая, влажная, блестящая, бледно-розового цвета. Слизистые оболочки ротовой полости влажные, бледно-розового цвета с синюшным окрашиванием. В глотке постороннего содержимого нет, в пищеводе у одного поросенка остатки содержимого желудка. Слизистые оболочки влажные, бледно-розового цвета с синюшным оттенком. Проходимость сохранена. Миндалины с поверхности бледно розового цвета, правильной формы, однородные на разрезе, не увеличены, упругой консистенции, выделений из крипт нет.

Целостность гортанных хрящей сохранена, слизистая отечная, бледно-розового цвета. В трахее незначительное жидкое пенное содержимое ближе к бифуркации. Легкие неспавшиеся, легочная плевра гладкая, влажная, блестящая. Форма легких не изменена, консистенция тестоватая, цвет темно-красный или бордовый, кусочки легких тяжело плавают в воде, с поверхности разреза стекает пенная прозрачная жидкость и кровь (рис. 6). Бронхиальные и средостенные лимфа-

тические узлы сочные темно-розового цвета, не увеличены.

Перикард и эпикард гладкие, блестящие, прозрачные, бело-розового цвета, кровоизлияния отсутствуют. В полости перикарда содержится желтоватая прозрачная жидкость. Сердце округлой формы не увеличено (в одном случае расширено) с поверхности неравномерно окрашено, цвет от бледно-серого до темно-красного, сосуды сильно переполнены кровью. Миокард на разрезе неравномерно окрашен от серо-розового до темно-красного цвета, дряблой консистенции, рисунок строения сохранен, участками сглажен, соотношение толщины стенок желудочков 1:2. Эндокард и клапаны гладкие, без патологических изменений. Предсердия переполнены рыхлыми сгустками крови, полости желудочков сердца запустевшие или содержат рыхло свернувшиеся вишневого цвета сгустки крови. В крупных кровеносных сосудах (аорта, яремные вены) содержится рыхло свернувшаяся вишневого цвета кровь (рис. 7). Интима сосудов гладкая, блестящая, светло-желтого цвета. Селезенка не увеличена, темно-вишневого цвета, края острые, капсула не напряжена, консистенция упругая, соскоб пульпы незначительный, рисунок строения сохранен. С разреза стекает темно-вишневого цвета кровь. Тимус умеренно развит, шейная и грудная часть тимуса хорошо выражены, серо-красного цвета.

Печень темно-вишневого цвета с участками желтоватого цвета, слегка увеличена, дряблой консистенции, дольчатое строение сохранено. С поверхности разреза обильно стекает кровь. Подобная макрокартина свидетельствует о развитии острой застойной гиперемии в органе с участками дистрофии.

В желчном пузыре содержится густая желто-зеленая желчь, слизистая оболочка бархатистая, темно-желтого цвета. Проходимость желчного протока сохранена. Поджелудочная железа не увеличена, сочная, упругой консистенции, серо-розового цвета, рисунок дольчатого строения выражен.

Почки бобовидной формы, не увеличены. Под капсулой почек единичные точечные кровоизлияния. Капсула легко снимается, с поверхности, почки гладкие, дряблые, серо-коричневого цвета, на разрезе граница между корковой и мозговой зонами выражена. Корковое вещество серо-коричневого, мозговое красного цвета (рис. 8). Мочевой пузырь наполнен

мутной мочой желтого цвета, слизистая оболочка гладкая, влажная, блестящая, бледно-розового цвета, кровоизлияния отсутствуют. Проподимость мочеиспускательного канала сохранена, слизистая оболочка гладкая, влажная, блестящая, бледно-розового цвета, кровоизлияния отсутствуют.



Рисунок 7 – Вид сердца трупа поросенка, возраст 4 суток. Миокард на разрезе неравномерно окрашен от серо-розового до темно-красного цвета, дряблой консистенции, соотношение толщины стенок желудочков 1:2. Предсердия переполнены рыхлыми сгустками крови, полости желудочков сердца запустевшие.



Рисунок 8 – Внешний вид почки со снятой капсулой трупа поросенка, возраст 4 суток. Единичные точечные кровоизлияния под капсулой почек.



Рисунок 9 – Гиперемия сосудов брыжейки и лимфатических узлов тощей кишки трупа поросенка через сутки после внутримышечной инъекции лекарственного препарата Эритрофер 200, возраст 4 суток.



Рисунок 10 – Гиперемия и отек брыжейки ободочной кишки трупа поросенка после внутримышечной инъекции лекарственного препарата Эритрофер 200, возраст 4 суток.

Желудок переполнен или заполнен свернувшимися молочными сгустками с желтоватым оттенком. Слизистая оболочка гладкая, влажная, блестящая, бледно-розового цвета. Кровоизлияния, повреждения отсутствуют. В тонкой кишке (12-перстная, тощая и подвздошная кишки) незначительное количество жидкого содержимого светло-коричневого цвета, специфического запаха. Слизистая оболочка гладкая, влажная, блестящая, бледно-розового цвета. Сосуды брыжейки переполнены кровью. Кровоизлияния, повреждения отсутствуют. Брыжеечные лимфоузлы коричневого или вишневого цвета, сочные. Слепая, ободочная и прямая кишки содержит небольшое количество густых масс коричневого цвета, слизистая оболочка гладкая, влажная, блестящая, бледно-розового цвета. Брыжейка отечная, покрасневшая, сосуды наполнены кровью. Присутствуют на серозной оболочке мелкие точечные кровоизлияния (рис. 9, 10).

Щитовидная железа – правильной формы, не увеличена в объеме, упругой консистенции, красного цвета, рисунок строения сохранен. Надпочечники не увеличены, правильной формы, упругой консистенции, сочные на разрезе, граница между корковым и мозговым веществом выражена. Корковое вещество коричневого, а мозговое красного цвета.

Патологических изменений в органах размножения самцов и самок установлено не было. У самца семенники отсутствуют, кастрационная рана отечная, без признаков нагноения. У самок половые органы соответствуют возрасту.

Сосуды твердой и мягкой мозговых оболочек сильно кровенаполнены, вещество головного мозга розового цвета, отечное, блестящее, извилины уплощены, узкие с малой глубиной борозды, наличие отпечатков (вдавления ткани) в области больших полушарий, признаки выбухания кортикальных отделов мозга вдоль верхнего края продольного синуса твердой мозговой оболочки. На разрезе головной мозг мягкой консистенции, поверхность блестящая, влажная, бледный отте-

нок серого вещества. Мозговые желудочки сдавлены, практически не содержат мозговой жидкости. Оболочки спинного мозга покрасневшие, переполнены кровью (рис. 11).

Патологоанатомические диагнозы: окрашивание окружающих тканей, отек и очаговый некроз мышц в месте инъекции препарата; окрашивание регионарных лимфоузлов; дистрофия миокарда (паралитическое сердце); острая застойная гиперемия оболочек и отек головного мозга; острая застойная гиперемия и отек легких; отеки подкожной клетчатки, лимфоузлов, брыжейки толстого кишечника; острая застойная гиперемия печени и селезенки; отек и белковая дистрофия почек; точечные кровоизлияния на серозной оболочке ободочной кишки, корковом веществе почек; анемия слизистых оболочек и мышечной ткани.

Подобная патоморфологическая картина, включающая отек мозга, полнокровие печени и кровоизлияния на стенках кишечника, согласно сведениям ответственных исследователей, характерна для анафилактического лекарственного шока [10].



Рисунок 11 – Гиперемия сосудов и выраженный отек вещества головного мозга трупа поросенка после внутримышечной инъекции лекарственного препарата Эритрофер 200, возраст 4 суток.

ОБСУЖДЕНИЕ/ DISCUSSION

В ветеринарной практике препараты железа являются неотъемлемым инструментом профилактики железодефицитной анемии у поросят и телят. Однако при их применении существует серьёзная проблема – отсутствие информации о возможных нежелательных реакциях в официальных инструкциях по применению препаратов. Данные о серьёзных нежелательных реакциях железосодержащих препаратов для животных, включая анафилактический шок, представлены как в научных публикациях, так и в открытых интернет-источниках [1, 3].

Многообразие лекарственных форм железа, различающихся своей химической структурой, напрямую определяет их профиль эффективности и безопасности. Согласно фармакологической классификации, препараты железа делятся на три поколения:

1. Неорганические соли железа двухвалентного (железа сульфат, железа хлорид). Такие препараты обладают низкой биодоступностью и высокой частотой побочных эффектов со стороны желудочно-кишечного тракта;

2. Органические соли железа двухвалентного и комплексы железа трехвалентного (железа фумарат, железа глюконат, лактат железа, железа (III) гидроксид полимальтозат, железа протеин сукциниллат). Обладают лучшей переносимостью и биодоступностью по сравнению с неорганическими солями железа;

3. Современные комплексы с улучшенной доставкой и переносимостью (железа бисглицинат, железа аминокислотный хелат, железо липосомальное, железо сукрозомиальное, железо гемовое, железа карбоксимальтозат). Созданы для минимизации побочных эффектов и максимального усвоения. Включают хелатные формы, липосомальные и сукрозомаальные технологии.

Самая простая формула, широко используемая в свиноводстве, — это пероральное введение неорганического железа в форме оксида железа или сульфата железа [12]. Как подчеркивают исследовате-

ли, использование устаревших форм солей железа 1-го поколения, таких как сульфат, хлорид, гидроксид, сопряжено со значительными побочными эффектами, которые на начальном этапе характеризуются развитием диареи и тошноты, а в последующем сопровождаются аллергией и даже анафилактическим шоком [13]. Неорганические формы железа при приеме их во время беременности могут сопровождаться тератогенными побочными эффектами, в том числе врожденными аномалиями развития, пороками сердца, дисморфизмом. Современные формы, такие как хелаты с аминокислотами (глицин, лизин, метионин), разрабатывались для повышения биодоступности за счет альтернативных путей всасывания. Другие перспективные формы железа включают лактоферрин, который способен связывать и транспортировать железо «нетоксичным» способом, что снижает риск развития окислительного стресса [12], а также сукрозомиальный пирофосфат железа и гемовое железо. Тем не менее, ни одна из фармакологических инноваций не привела к полному исключению рисков развития нежелательных реакций, что подтверждается регистрацией побочных эффектов при применении самых современных препаратов. Доказано, что пероральные формы железа, разработанные для человека, в зависимости от дозы и длительности применения, провоцируют потемнение зубов и десен, боль в эпигастрии, диспепсические расстройства, темное окрашивание стула, аллергические реакции, некроз слизистой оболочки кишечника, а парентеральные формы вызывают потливость, привкус железа во рту, тошноту, приступы удушья, тахикардию и фибрилляцию желудочков [14].

В ветеринарной литературе негативные последствия применения препаратов железа чаще классифицируют как отравления [4], патогенез которых традиционно связывают с относительной передозировкой железосодержащего препарата на фоне дефицита токоферолов, что запускает механизм окислительного стресса, опосредованного реакцией Фентона с образо-

ванием свободных радикалов, повреждающих клеточные мембраны и ДНК клетки. Руководствуясь утверждением, что отравления возникают при приёме лекарственных средств, содержащих железо, в дозах превышающих терапевтические, описанный случай относится именно к нежелательным реакциям, поскольку препарат был введён в строго профилактических дозах, рекомендованных производителем [11]. Отсутствие признаков поражения желудочно-кишечного тракта процессами воспалительного характера, выраженной дегенерации скелетных мышц, гепатоза, альтеративного миокардита у трупов поросят также исключает возможные осложнения, обусловленные Е-дефицитом [9].

Описанный случай лекарственного анафилактического шока от внутримышечной инъекции препарата Эритрофер 200, которая привела к гибели половины поголовья подсосных поросят в течение 24 часов, наглядно свидетельствует об актуальности проблемы нежелательных реакций железосодержащих препаратов, несмотря на постоянное совершенствование фармакологических форм и подходов к их применению. Примечательно, что в инструкции по применению лекарственного препарата компании ООО «БЕЛЭКОТЕХНИКА» с торговым названием «Белека», отмечается следующее: «Активный компонент препарата, железа (III) гидроксид полимальтозат, является декстрином железа, не содержит декстранов, обуславливающих большую вероятность развития анафилактических реакций» [15]. Отсюда напрашивается закономерный вопрос: причиной случившемуся является «производственный брак» или железо (III) гидроксид полимальтозат непосредственно, повышенная биодоступность к которому и спровоцировала анафилактическую реакцию? В настоящий момент можно сказать одно – возникший инцидент на практике опровергает заявленное производителем преимущество о повышенной безопасности новой формулы.

Исследуя патологоанатомическую

картину органов поросят, можно предположить механизм развития летального исхода. Парентеральное введение Эритрофера 200 привело к массовому выбросу медиаторов воспаления, которые стали пусковым фактором развития острой сосудистой реакции, что в свою очередь, спровоцировало нарушение кровообращения с застойными явлениями и отеками в органах и тканях с дальнейшим нарастанием острой сердечной недостаточности и гипоксического состояния организма на фоне отека головного мозга и легких. Совокупность указанных патологических процессов привела к параличу сердца. Вместе с тем, молекулярные механизмы развития подобной реакции на основе данных вскрытия уточнить не представилось возможным. Обращаясь к литературным источникам, можно сказать, что анафилактическая реакция могла быть активизирована через неиммунные механизмы. Подобные пути развития ГЧНТ связаны с нейропептидами (субстанцией Р; вазоактивным кишечным полипептидом; пептидом, контролируемым генами кальцитонина; нейрокинином) и гормонами (эстрогенами, адренокортикотропным гормоном, гастрином). Многие ЛС (НПВП, ацетилсалициловая кислота, опиоиды (кодеин, морфин), анестетики, мышечные релаксанты, кураре, РКС, декстраны, некоторые вакцины, АБ (тетрациклин, ванкомицин, ципрофлоксацин), селективные ингибиторы обратного захвата серотонина, тиамин, сукцинилхолин, полимиксин В) способны вызывать высвобождение медиаторов из тучных клеток без участия иммунных механизмов. Лекарственно-индуцированная активация тучных клеток, не опосредованная IgE, осуществляется через рецептор, связанный с G-белком X2 (MRGPRX2) [16].

Постмортальная диагностика анафилактического шока в ветеринарии остаётся слабо развитой областью. В гуманной медицине для верификации подобных случаев прибегают к гистологическому анализу микрокартины лёгких, почек и

надпочечников. Одним из ключевых дифференцирующих признаков гибели от анафилаксии является дегрануляция тучных клеток, которая может быть выявлена с помощью специальных методов окрашивания. Суть теста заключается в способности базофильных лейкоцитов к дегрануляции под влиянием аллергена. Дегрануляцию регистрируют при микроскопии мазков-отпечатков кусочков легких, окрашенных суправитально нейтральным красным. Проба считается положительной если процент дегранулированных форм превышает 10% (порог спонтанной дегрануляции) [17].

Морфологические проявления анафилактического шока, хотя и считаются однотипными (нарушение тонуса сосудов, отёк, десквамация бронхиального эпителия, эозинофильная инфильтрация), часто неспецифичны и требуют для своей интерпретации высокого уровня экспертизы. Перспективным является использование иммуногистохимических методов и определение уровня триптазы [16, 18].

Таким образом, вопрос объективной диагностики, а следовательно, и эффективной профилактики нежелательных реакций на препараты железа требует углублённого изучения с привлечением современных лабораторных и гистологических методов.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Парентеральное введение железосодержащего препарата Эритрофер 200 в область шеи у новорожденных поросят может вызывать гиперэргическую воспалительную реакцию в месте введения лекарственного препарата, проявляющуюся отеком и гиперемией окружающих тканей. Картина вскрытия типична для анафилактического шока и характеризуется признаками острой сердечно-сосудистой и дыхательной недостаточности, застойной гиперемией органов, отеком легких, гортани, мозга и спазмом бронхов. Патогномоничным признаком введения железосодержащих препаратов является окрашивание тканей в оранжево-коричневый цвет. Для постмортальной диагностики анафилактического шока у

животных следует проводить микроскопию мазков-отпечатков кусочков легких, окрашенных суправитально нейтральным красным для определения дегранулированных форм тучных клеток.

PATHOMORPHOLOGICAL PICTURE OF ANAPHYLACTIC DRUG SHOCK IN PIGLETS CAUSED BY IRON PREPARATIONS

Koshkarev M.V.* – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy, Physiology, Histology and Pathological Anatomy; **Boyko T.V.** – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Diagnostics, Internal Non-infectious Diseases, Pharmacology, Surgery and Obstetrics; **Lyu-bimova A.S.** – asp.

Omsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypin

* mv.koshkarev@omgau.org

ABSTRACT

This study presents the results of a post-mortem examination of three 4-day-old piglet carcasses that died following the intramuscular administration of the iron-containing drug Erythrofer 200 at a preventive dose of 1 ml. The aim of the research is to draw the attention of veterinary specialists to the problem of postmortem diagnosis of drug-induced anaphylactic shock caused by the parenteral administration of iron preparations. The materials were based on protocols of forensic veterinary examinations of three cases of drug-induced anaphylactic shock with lethal outcomes. During the autopsy, the following pathological diagnoses were established: staining of surrounding tissues, edema and focal necrosis of muscles at the injection site; staining of regional lymph nodes; myocardial dystrophy ("paralytic heart"); acute congestive hyperemia of the membranes and cerebral edema; acute congestive hyperemia and pulmonary edema; edema of the subcutaneous tissue, lymph nodes, and mesentery of the large intestine; acute congestive hyperemia of the liver and spleen; edema and protein degeneration of

the kidneys; petechial hemorrhages on the serous membrane of the colon and the renal cortex; anemia of the mucous membranes and muscle tissue. It was determined that the death of the animals occurred due to anaphylactic shock induced by the administration of the iron-containing drug. The immediate cause of death was cardiac paralysis resulting from acute heart failure and hypoxic conditions, exacerbated by cerebral and pulmonary edema. The injection site in the neck region contributed to the development of a hyperergic inflammatory reaction with edema of the surrounding tissues.

The research materials include descriptions of the gross pathology of the external integuments and internal organs. The paper presents photographs of the piglets' organs with pathological changes characteristic of drug-induced anaphylactic shock provoked by the use of Erythrofer 200.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Süveges T, Glávits R. Piglet losses due to parenteral application of iron-dextran preparations. *Acta Vet Acad Sci Hung.* 1976;26(3):257-62. PMID: 829758.
2. Arpi, T., Tollerz, G. Iron Poisoning in Piglets Autopsy Findings in Experimental and Spontaneous Cases. *Acta Vet Scand* 6, 360–373 (1965). <https://doi.org/10.1186/BF03547093>.
3. Отравление новорожденных поросят железом [Электронный ресурс] : по материалам С. Б. Хузера (Колледж ветеринарной медицины Университета Пердью) / пер. А. Романенко // Direct.Farm. – Режим доступа: <https://direct.farm/post/otravleniye-novorozhdennykh-porosyat-zhelezom-28355> (дата обращения: 20.08.2025).
4. Клинический случай: отравление железом у поросят [Электронный ресурс] / J. Vorobia // Pig333.ru: от фермы к рынку. – 10.02.2020. – Режим доступа: https://www.pig333.ru/articles/клинический-случай-отравление-железом-у-поросят_3249/ (дата обращения: 10.09.2025).
5. Герунова, Л. К. О мониторинге безопасности лекарственных препаратов для животных / Л. К. Герунова, Т. В. Бойко, И. С. Полозова, М. Б. Никифорова // Эффективное животноводство – залог успешного развития АПК региона: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Омск, 06 декабря 2017 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2017. – С. 143-147. – EDN YUKKFI.
6. Об обращении лекарственных средств: федеральный закон от 12 апр. 2010 г. № 61-ФЗ : принят Гос. Думой 24 марта 2010 г. : одобр. Советом Федерации 31 марта 2010 г. : [ред. от 23 июля 2025 г.]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Коровина Н. А. и др. Профилактика и лечение железодефицитных состояний у детей: что является целью при терапии железодефицитных анемий? От чего зависит биодоступность железа, поступающего с пищей? Какие препараты железа предпочтительно применять у детей? // Лечащий врач. – 2004. – Т. 1. – С. 24-9.
8. Кудряшов, А. А. Патоморфологические изменения в месте инъекции препарата железа у свиней / А. А. Кудряшов, В. И. Балабанова, Д. С. Ктитаров, С. Л. Ефремов, И. А. Овченков // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2021. – № 2 (50). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/patomorfologicheskie-izmeneniya-v-meste-inieksii-preparata-zheleza-u-sviney> (дата обращения: 16.09.2025).
9. Кудряшов, А. А. Результаты аутопсии поросят групп дорастивания и откорма на двух свиноводческих фермах промышленного типа / А. А. Кудряшов, В. И. Балабанова, Т. П. Максимов // Международный вестник ветеринарии. – 2019. – № 1. – С. 38-43. – EDN CHBSQZ.
10. Шинкаренко, А. Н. Патоморфология различных клинических проявлений анафилактического лекарственного шока у собак / А. Н. Шинкаренко, К. С. Быкова // Ветеринарная патология. – 2011. – Т. 4, № 38. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/patomorfologiya-razlichnyh-klinicheskikh-proyavleniy-anafilakticheskogo-lekarstvennogo-shoka-u-sobak> (дата обра-

щения: 20.08.2025).

11. Баранова В. И. Отравления препаратами железа // Актуальные вопросы фармацевтических и естественных наук: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых с междунар. участием, Иркутск, 23–28 мая 2022 года / под ред. Е. А. Илларионовой. Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет, 2022. С. 143–145.

12. Mazgaj R., Lipiński P., Starzyński R. R. Iron Supplementation of Pregnant Sows to Prevent Iron Deficiency Anemia in Piglets: A Procedure of Questionable Effectiveness // International Journal of Molecular Sciences. 2024. Vol. 25, Iss. 7. Art. 4106. DOI: 10.3390/ijms25074106.

13. Громова О. А., Торшин И. Ю., Хаджидис А. К. Нежелательные эффекты сульфата железа в акушерской, педиатрической и терапевтической практике // Здоровье всей семьи. 2010. № 2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nezhelatelnnye-effekty-sulfata-zheleza-v-akusherskoj-pediatricheskoj-i-terapevticheskoy-praktike> (дата обращения: 19.09.2025).

14. Андреев Н. А., Балеева Л. В. Железодефицитные состояния и железодефицитная анемия // Вестник современной клинической медицины. 2009. № 3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zhelezodefitsitnye-sostoyaniya-i-zhelezodefitsitnaya-anemiya> (дата обращения: 19.09.2025).

15. Инструкция по применению ветеринарного препарата «Эритрофер 200». Ветеринарные препараты – официальный сайт Белека бай. Режим доступа: <https://beleka.by/upload/iblock/252/Instruktsiya-Eritrofer-200-ot-23.12.20.pdf> (дата обращения: 19.09.2025).

16. Астафьева Н. Г., Ненашева Н. М. Глава 13. Аллергические заболевания. 13.1. Анафилаксия // Респираторная медицина: руководство: в 5 т. / под ред. А. Г. Чучалина. 3-е изд., доп. и перераб. М.: ООО «ПУЛЬМОМЕДИА», 2024. Т. 4. С. 445–476. DOI: 10.18093/978-5-6052509-1-3-2024-4-445-476.

17. Новик Г. А. Механизмы аллергиче-

ских реакций и методы аллергообследования в клинической практике: учеб.-метод. пособие / под ред. И. М. Воронцова. СПб.: Изд-во ГПИМА, 2004. 76 с.

18. Коробова С. И., Спирин А. В. Проблема постмортальной диагностики лекарственного анафилактического шока в судебно-медицинской практике (по материалам повторных комиссионных судебно-медицинских экспертиз) // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 17–18 апреля 2024 г.: в 2 т. Екатеринбург: УГМУ, 2024. Т. 1. С. 1004–1009.

REFERENCES

1. Süveges T, Glávits R. Piglet losses due to parenteral application of iron-dextran preparations. Acta Vet Acad Sci Hung. 1976;26 (3):257-62. PMID: 829758.

2. Arpi, T., Tollerz, G. Iron Poisoning in Piglets Autopsy Findings in Experimental and Spontaneous Cases. Acta Vet Scand 6, 360–373 (1965). <https://doi.org/10.1186/BF03547093>.

3. Otravlenie novorozhdennykh porosyat zhelezom [Elektronnyi resurs]: po materialam S. B. Khuzena (Kolledzh veterinarnoi meditsiny Universiteta Perdue) / per. A. Romanenko // Direct.Farm. – Rezhim dostupa: <https://direct.farm/post/otravleniye-novorozhdennykh-porosyat-zhelezom-28355> (data obrashcheniya: 20.08.2025). (In Russ.)

4. Klinicheskii sluchai: otravlenie zhelezom u porosyat [Elektronnyi resurs] / J. Borobia // Pig333.ru: ot fermy k rynku. – 10.02.2020. – Rezhim dostupa: https://www.pig333.ru/articles/klinicheskii-sluchai-otravlenie-zhelezom-u-porosyat_3249/ (data obrashcheniya: 10.09.2025). (In Russ.)

5. Gerunova, L. K. O monitoringe bezopasnosti lekarstvennykh preparatov dlya zhivotnykh / L. K. Gerunova, T. V. Boiko, I. S. Polozova, M. B. Nikiforova // Effektivnoe zhivotnovodstvo – zalog uspehnogo razvitiya APK regiona: sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Omsk, 06 dekabrya 2017 goda. – Omsk: Omskii gosudarstvennyi agrarnyi

- universitet imeni P.A. Stolypina, 2017. – S. 143-147. – EDN YUKKFI. (In Russ.)
6. Ob obrashchenii lekarstvennykh sredstv: federal'nyi zakon ot 12 apr. 2010 g. № 61-FZ: prinyat Gos. Dumoi 24 marta 2010 g.: odobr. Sovetom Federatsii 31 marta 2010 g.: [red. ot 23 iyulya 2025 g.]. – Dostup iz sprav.-pravovoi sistemy «Konsul'tantPlyus». (In Russ.)
7. Korovina N. A. and others. Prevention and treatment of iron deficiency conditions in children: what is the goal in the treatment of iron deficiency anemia? What determines the bioavailability of iron from food? Which iron preparations should preferably be used in children? //The attending physician. – 2004. – Vol. 1. – pp. 24-9.
8. Kudryashov, A. A. Patomorfologicheskie izmeneniya v meste in'ektsii preparata zheleza u svinей / A. A. Kudryashov, V. I. Balabanova, D. S. Kitarov, S. L. Efremov, I. A. Ovchenkov // Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii. – 2021. – № 2 (50). – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/patomorfologicheskie-izmeneniya-v-meste-in'ektsii-preparata-zheleza-u-sviney> (data obrashcheniya: 16.09.2025). (In Russ.)
9. Kudryashov, A. A. Rezul'taty autopsii porosyat grup dorashchivaniya i otkorma na dvukh svinovodcheskikh fermakh promyshlennogo tipa / A. A. Kudryashov, V. I. Balabanova, T. P. Maksimov // Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii. – 2019. – № 1. – S. 38-43. – EDN CHBSQZ. (In Russ.)
10. Shinkarenko, A. N. Patomorfologiya razlichnykh klinicheskikh proyavlenii anafilakticheskogo lekarstvennogo shoka u sobak / A. N. Shinkarenko, K. S. Bykova // Veterinarnaya patologiya. – 2011. – T. 4, № 38. Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/patomorfologiya-razlichnyh-klinicheskikh-proyavleniy-anafilakticheskogo-lekarstvennogo-shoka-u-sobak> (data obrashcheniya: 20.08.2025). (In Russ.)
11. Baranova V.I. Otravleniya preparatami zheleza [Iron Drug Poisoning]. In: Illarionova E.A., editor. Aktual'nye voprosy farmatsevticheskikh i estestvennykh nauk: sbornik statei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem [Current Issues of Pharmaceutical and Natural Sciences: Collection of Articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists with International Participation]; 2023 May 23-28; Irkutsk. Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet; 2022. p. 143-145. (In Russ.).
12. Mazgaj R., Lipiński P., Starzyński R. R. Iron Supplementation of Pregnant Sows to Prevent Iron Deficiency Anemia in Piglets: A Procedure of Questionable Effectiveness. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(7):4106. doi: 10.3390/ijms25074106
13. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Khadzhdidis A.K. Undesirable Effects of Iron Sulfate in Obstetric, Pediatric and Therapeutic Practice. Zdorov'e vsei sem'i [Health of the Whole Family]. 2010;(2). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/nezhelatelnye-effekty-sulfata-zheleza-v-akusherskoy-pediatricheskoy-i-terapevticheskoy-praktike> (accessed: 19.09.2025). (In Russ.).
14. Andreichev N.A., Baleeva L.V. Iron Deficiency Conditions and Iron Deficiency Anemia. Vestnik sovremennoi klinicheskoi meditsiny [Bulletin of Modern Clinical Medicine]. 2009;(3). Available from: cyberleninka.ru/article/n/zhelezodefitsitnye-sostoyaniya-i-zhelezodefitsitnaya-anemiya (accessed: 19.09.2025). (In Russ.).
15. Instruktsiya po primeneniyu veterinarnogo preparata «Eritrofer 200» [Instructions for Use of the Veterinary Drug "Eritrofer 200"]. Veterinarnye preparaty – ofitsial'nyi sait Beleka bai [Veterinary Drugs - the Official Website of Beleka bai]. Available from: <https://beleka.by/upload/iblock/252/Instruktsiya-Eritrofer-200-ot-23.12.20.pdf> (accessed: 19.09.2025). (In Russ.).
16. Astaf'eva N.G., Nenasheva N.M. Chapter 13. Allergicheskie zabolevaniya. 13.1. Anafilaksiya [Chapter 13. Allergic Diseases. 13.1. Anaphylaxis]. In: Chuchalin A.G., editor. Respiratornaya meditsina: rukovodstvo [Respiratory Medicine: A Guide]. In 5 vol. Vol. 4. 3rd edition, supplemented and revised. Moscow: OOO «PUL'MOMEDIA»; 2024. p. 445-476. doi: 10.18093/978-5-

6052509-1-3-2024-4-445-476 (In Russ.).

17. Novik G.A. Mekhanizmy allergicheskikh reaktsii i metody allergoobsledovaniya v klinicheskoi praktike [Mechanisms of Allergic Reactions and Methods of Allergy Examination in Clinical Practice]. Study guide. Ed. by I.M. Vorontsov. Saint Petersburg: Izdatel'stvo GIIMA; 2004. 76 p. (In Russ.).

18. Korobova S.I., Spirin A.V. Problema postmortal'noi diagnostiki lekarstvennogo anafilakticheskogo shoka v sudemeditsinskoi praktike (po materialam povtornykh komissionnykh sudemeditsinskikh ekspertiz) [The Problem of Postmortem Diagnosis of Drug

Anaphylactic Shock in Forensic Medical Practice (Based on Materials from Repeated Commission Forensic Medical Examinations)]. In: Aktual'nye voprosy sovremennoi meditsinskoi nauki i zdravookhraneniya: sbornik statei IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov [Current Issues of Modern Medical Science and Healthcare: Collection of Articles of the IX International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students]; 2024 Apr 17-18; Yekaterinburg. In 2 vol. Vol. 1. Yekaterinburg: UGMU; 2024. p. 1004-1009. (In Russ.).

УДК: 591.1:636.294

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.275

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВИ ОЛЕНЕЙ ЭВЕНСКОЙ ПОРОДЫ

Федорова Е.Ю.^{1*} – д-р биол. наук, проф. (ORCID 0000-0002-6992-4282);
Максимов В.И.² – д-р биол. наук, профессор (ORCID 0000-0002-5305-0218);
Козловский А.Д.¹ – магистрант (ORCID 0009-0001-5910-8695)

¹ ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»

² ФГОУ ВО МГАВМиБ им. К.И. Скрябина

* elefedor@yandex.ru

Ключевые слова: домашние северные олени, эвенская порода оленей, кровь, анемия, кормление, метаболизм, морфология крови, биохимия крови.

Key words: domestic reindeer, Even breed of reindeer, blood, anemia, feeding, metabolism, blood morphology, blood biochemistry.

Поступила: 257.10.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Представлены результаты оценки количественных и качественных характеристик крови домашних северных оленей эвенской породы в зависимости от сезона года. Отбор биологического материала осуществлялся в соответствии с положениями Хельсинской декларации у животных эвенской породы различных возрастов в динамике. Установлено влияние ярко выраженной сезонности кормового поведения домашних северных оленей Республики Саха (Якутии) на морфологические и биохимические показатели крови различных возрастных групп опытных животных, в том числе лактирующих самок. Так, наиболее детерминированы возрастом и сезоном года такие показатели как количество эритроцитов (RBC) и содержание гемоглобина (Hb), наименьшие значения которых выявлены у новорожденных телят, достигнув пиковых значений в осенний период к 9-месячному возрасту. Гематокрит у новорожденного теленка был также относительно низким (35,4%), показав значительный рост летом и достигнув максимума (48, 9%) и уровня взрослых особей осенью, при этом положительно коррелируя с Hb ($r=0,93$) и с RBC ($r=0,77$). Количество лейкоцитов (WBC) варьировало от $6,1$ до $10,1 \times 10^9/\text{л}$ и показало значительное увеличение в течение первых недель жизни ($P<0,01$), достигнув максимума и уровня взрослых особей осенью. Концентрация сывороточного железа у новорожденного теленка была довольно низкой ($26,4$ мкмоль/л), но почти удвоилась в течение первого лета, при этом значения данного показателя были незначительно выше у телят, чем у самок, летом и осенью. Полученные вариации в составе крови, на наш взгляд, могут быть использованы в качестве предикторов выживаемости животных и успеха отела, а также определения референсных значений крови оленей эвенской породы.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Домашнее северное оленеводство, представляющее основное занятие (образ жизни) большинства народов Севера, имеет большое экономическое и культурное значение. Республика Саха (Якутия) наряду с Ямало-Ненецким и Чукотским автономными округами является одним из самых крупных оленеводческих регионов России. Здесь сохранилась система стадного содержания оленей, при которой оленеводы круглосуточно выпасают домашних оленей, и в поисках корма непрерывно в течение года кочуют вместе со стадом по пастбищам [10]. Природно-климатические факторы окружающей среды для животных северо-востока России – Республики Саха (Якутия) являются теми особыми экологическими условиями, в которых домашние северные олени растут, развиваются, содержатся. Изучение влияния этих факторов на животных имеет первостепенное значение и прежде всего через выявление особенностей количественных и качественных характеристик крови домашних северных оленей различных возрастов. Поскольку изменение состава крови часто отражает недавние изменения в качестве и количестве рациона, понимание метаболизма питательных веществ имеет решающее значение для интерпретации результатов. Более трех десятилетий назад [15] было введено «метаболическое профилирование» домашних жвачных (северные олени в их числе), при котором несколько составных частей крови, отражающих изменения в потреблении белка, энергии и минералов, используются для оценки физиологического статуса животных. Изменения в качестве и/или количестве рациона были показаны как влияющие на составные части крови, связанные с метаболизмом белков, углеводов, липидов и минералов, в исследованиях нескольких одомашненных видов жвачных, а также диких жвачных как в экспериментальных, так и в полевых условиях. Несмотря на большое количество исследований, проведенных на северных оленях, разнообразие экологических и физиологических факторов

ограничило установление стандартных референсных значений, доступных для домашних жвачных и широко используемых в ветеринарной медицине [3; 6; 13]. Кроме того, исследователи домашних северных оленей уделяли меньше внимания другим потенциальным источникам вариации в составе крови, таким как возраст и беременность [4; 17], что затрудняет их использование в качестве предикторов выживаемости животных и успеха отела. Хотя в настоящее время существует множество исследований о типе и составе корма, потребляемого оленями в течение года, сезонно изменяющийся состав и свойства крови, характеризующие метаболический профиль, состояние животных и даже о состоянии их среды обитания изучены недостаточно. В связи с этим **целью** настоящего исследования явилось изучение количественных и качественных показателей крови оленей эвенской породы в зависимости от сезона года с особым акцентом на возраст.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования на оленях эвенской породы проводили в динамике, начиная с первых суток после рождения, в зависимости от сезона года, включая лактирующих важенок (в возрасте 3-5 лет) и телят (в возрасте 1 сут., 20 сут., 1 мес., 2, 5, 6, 9 мес.). Численность каждой возрастной группы, составляла 30 голов. Животные, разводимые в Центральном экономическом районе Республики Саха (Якутия), находились в условиях вольного выпаса, на котором летом они питаются зеленой растительностью, содержащей необходимое количество питательных веществ, зимой – ягелем и подснежной травой, с чем связано снижение переваримого протеина в сутки при одновременном увеличении потребность в питательных веществах на 35 % [1; 11]. В соответствии с положениями Хельсинской декларации для забора крови у оленей эвенской породы не использовались седативные средства или медикаменты. В экспериментальных исследованиях животные удерживались вручную для забора крови в

небольшой клетке, в то время как в полевых исследованиях удержание проводилось вручную на земле с животным, лежащим на боку. Образцы крови из яремной вены собирались в либо гепаринизированные, либо обычные (сывороточные) пробирки. В экспериментальных исследованиях плазма или сывортка отделялись центрифугированием в течение 2 часов и хранились при -20°C до анализа. В полевых исследованиях образцы крови центрифугировались в течение 6 часов, а затем хранились при -20°C до анализа. Гематологические показатели определяли по общепринятым методикам [8], полученные данные подвергались биометрической обработке [9] с использованием программы STATISTICA 11.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Как показало исследование крови домашних северных оленей эвенской породы (таблица 1) средний объем эритроцитов (MCV) у взрослых самок варьировал от 43,6 до 60,3 фл. в зависимости от сезона года и возраста животных; их осмотическая хрупкость имела начальные и конечные точки гемолиза 0,71 (0,70 до 0,72) и 0,37 (0,30 до 0,45) % раствора NaCl соответственно. Количество эритроцитов (RBC) варьировало от $7,9$ до $11,4 \times 10^{12}$ с самым низким уровнем у новорожденного теленка и самым высоким у 9-месячных телят и полностью взрослых самок осенью, причем RBC положительно коррелировало с изменениями в Hb ($r=0,84$). Концентрация гемоглобина (Hb) у новорожденного олененка была относительно низкой (108 г/л) с увеличением на второй неделе жизни, достигая максимума (182 г/л) и уровня взрослых особей примерно в возрасте 5 месяцев. Гематокрит (Hct) у новорожденного теленка был также относительно низким (35,4%), показав значительный рост летом и достигнув максимума (48, 9%) и уровня взрослых особей осенью, при этом положительно коррелируя с Hb ($r=0,93$) и с RBC ($r=0,77$). Средний объем эритроцитов (MCV), средний гемоглобин в эритроците (MCH) и средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC) отражали изменения в Hb, Hct и RBC. При этом MCV

показал значительный рост ($P<0,01$) в течение первого месяца жизни, а затем немного ($P<0,05$) снизился. MCH показал относительно небольшие колебания в первые недели, но значительно увеличился к осени ($P<0,05$). MCHC был немного зависим от сывороточного железа ($r=0,59$) и показал самые высокие значения осенью одновременно с Hb. Скорость оседания эритроцитов (ESR) у оленят в среднем составила около 1-2 мм/час в течение весны и лета, максимальное значение характерно для лактирующих самок в весенний период, что связано с наиболее высоким основным обменом (таблица 1).

Исследование морфологии крови показало, что диаметр круглых эритроцитов варьировал от 5,3 до 5,8 нм, а толщина от 1,3 до 1,6 мкм, эритроциты серповидной формы выявлены не были, что говорит об отсутствии у животных анемии данного вида. После окрашивания мазков Романовскому-Гимзе типичные нейтрофилы, эозинофилы и базофилы гранулоциты, а также агранулярные лимфоциты и моноциты были различимы, их размер варьировал от 11 до 13; от 12 до 15; от 10 до 12; от 9 до 13; от 5 до 8 мкм соответственно. Количество лейкоцитов (WBC) варьировало от $6,1$ до $10,1 \times 10^9/\text{л}$ и показало значительное увеличение в течение первых недель жизни ($P<0,01$), достигнув максимума и уровня взрослых особей осенью, дифференциальный подсчет лейкоцитов не показал значительных возрастных изменений.

Концентрация сывороточного железа у новорожденного теленка была довольно низкой (26,4 мкмоль/л), но почти удвоилась в течение первого лета (таблица 2), при этом значения данного показателя были незначительно выше у телят, чем у самок, летом и осенью. Общая связывающая способность железа у взрослых самок варьировала от 24 до 50 мкмоль/л (в среднем 36 мкмоль/л), значения данного параметра у телят варьировались от 31 до 49 мкмоль/л в 5-месячном возрасте. Общая концентрация билирубина в сыворотке оставалась относительно постоянной во всех возрастных группах. Витамин B_{12} был наивысшим в неонатальный период (таблица 2).

Таблица 1 – Количественные и качественные показатели крови северных

Сезон	Возраст	Нб, г/л	Нст, %	RBC, $10^{12}/\text{л}$	MCHC, %	MCV, фл	MCH, пг	ESR, мм/час
Весна	3–5 лет (лакт.)	118,3±3,6	42,2±0,9	8,4±0,4	28,4±1,3	51,4±2,8	15,0±0,9	21,4±0,4
	1 день	108,1±5,2	35,4±1,2	7,9±0,4	30,6±1,1	46,4±2,3	14,6±1,3	1,07±0,2
	20 дн.	118,0±3,7	43,1±0,9	8,1±0,3	29,6±0,7	54,9±2,1	14,8±0,7	1,0±0,5
Лето	1 мес.	135,7±2,9	48,0±1,0	8,0±0,4	28,2±1,9	60,3±3,3**	16,8±0,1	1,8±0,2
	2 мес.	145, 2±6,1	48,9±0,8	9,1±0,5	27,9±1,1	57,3±2,8*	15,9±0,1	2,4±0,2
	3–5 лет (лакт.)	126,2±5,1	40,0±0,9	8,4±0,3	31,5±1,5	47,6±2,5	15,1±0,2	10,8±0,6
Осень	5 мес.	180,6±3,8	48,6±1,0	9,8±0,7	37,2±0,8	49,6±1,6	18,4±0,9	1,0±0,4
	6 мес.	195,0±5,0	49,0±1,1	10,3±0,2	37,0±0,6	47,0±1,4	19,0±0,2*	2,1±0,1
	3–5 лет	197, 2±4,9	48,0±0,8	10,2±0,7	40,4±0,6	47,0±2,0	19,4±0,2	4,4±0,7
Зима	9 мес.	166±4,2	49,4±1,7	11,4±0,1	33,5±0,4	43,6±2,4	14,7±0,8	2,2±0,8
	3–5 лет	174±5,6	49,2±1,5	10,1±0,1	35,5±0,5	48,7±1,9	17,2±1,0	3,0±0,4

Таблица 2 – Биохимические показатели крови северных домашних оленей (n=30) эвенской породы

Сезон	Возраст	Железо, мкмоль/л	Билирубин, мкмоль/л	Витамин В ₁₂ , пг/мл
Весна	3–5 лет (лакт.)	30,7 ±1,7	4,9±0,9	228,5±14,5
	1 день	26,4±3,4	6,2±0,8	360,2±50,4
	20 дней	43,0±5,2	6,1±0,5	242,9±15,9
Лето	1 мес.	42,0±5,1	4,7±0,8	212,5±13,2
	2 мес.	40,2±0,6	4,8±0,5	221,2±12,3
	3–5 лет (лакт.)	23,2±0,8	4,6±0,6	302,4±14,5
Осень	5 мес.	44,2±2,1	5,0±0,6	203,6±15,1
	6 мес.	22,7±1,9	4,2±0,4	123,8±10,2
	3–5 лет	22,0±2,1	3,4±0,4	125,4±17,0
Зима	9 мес.	29,4±1,8	не определялось	не определялось
	3–5 лет	30,6±2,4	не определялось	не определялось

Выявленная в настоящем исследовании сезонная динамика количественных и качественных характеристик крови оленьей эвенской породы хорошо согласуется с имеющимися в литературе данными, характеризующими экстремальными изменениями в питании животных в течение года [10; 12; 16], а также с физиологическим статусом животных. Так, значения Hb, PCV и WBC у взрослых самок показывают четкие сезонные изменения, значительно более высокие уровни наблюдаются осенью, чем весной, что согласуется с более ранними данными о финских оленях [20] и карибу [15]. В возрасте 1 дня олененок, имеет относительно низкую концентрацию Hb в крови, Hct и RBC, и эти значения уменьшаются в течение первых дней после рождения [12], а затем увеличиваются, достигая пиковых значений на 3–4 месяце, после чего постепенно снижаются до уровней взрослых, что хорошо сопоставимо с исследованиями крупного рогатого скота, овец, коз и свиней. Одним из объяснений высокого объема крови и значений Hb крови оленей может заключаться в адаптации сосудистой системы к требованиям высокой способности переносить кислород [19], характерной для оленей, демонстрирующих высокий уровень физической активности и производительности. За несколько дней до отела у важенков наблюдаются относительно высокие значения Hb, Hct и RBC, а также уровня железа в крови. После отела развилась относительная анемия, очевидно связанная с лактацией и разрушениями эритроцитов, а также высокий уровень ESR [11; 14].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Установлено влияние ярко выраженной сезонности кормового поведения домашних северных оленей Республики Саха (Якутии) на морфологические и биохимические показатели крови различных возрастных групп опытных животных, в том числе лактирующих самок. Так, наиболее детерминированы возрастом и сезоном года такие показатели, как количество эритроцитов (RBC), содержание гемоглобина (Hb) и гематокрит (Hct),

наименьшие значения которых выявлены у новорожденных телят, достигнув пиковых значений взрослых особей в осенний период к 9-месячному возрасту, при этом возрастная динамика гематокрита у телят положительно коррелирует с Hb ($r=0,93$) и с RBC ($r=0,77$). Полученные в ходе исследования вариации в составе крови, на наш взгляд, в совокупности с уже имеющимися данными авторов [2; 5; 13; 17] могут служить некими предикторами выживаемости телят северных оленей и успешности отела, а также характеризовать метаболический профиль животных.

SEASONAL CHARACTERISTICS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE BLOOD CHARACTERISTICS DEER EVEN BREED

Fedorova E.Yu.^{1*} – Doctor of Biological Sciences, Professor (ORCID 0000-0002-6992-4282); **Maksimov V.I.**² – Doctor of Biological Sciences, Professor (ORCID 0000-0002-5305-0218); **Kozlovsky A.D.**¹ – magistant (ORCID 0009-0001-5910-8695)

¹GAOU HE "Moscow City Pedagogical University"

²FGOU IN MGAVMiB named after K.I. Scriabin

* elefedor@yandex.ru

ABSTRACT

The article presents the results of an assessment of the quantitative and qualitative characteristics of the blood of Even domestic reindeer depending on the season. Biological material was collected dynamically in accordance with the provisions of the Declaration of Helsinki from Even animals of various ages. The influence of the pronounced seasonality of the feeding behavior of domestic reindeer in the Sakha Republic (Yakutia) on the morphological and biochemical parameters of the blood of various age groups of experimental animals, including lactating females, was established. Thus, the parameters such as the red blood cell count (RBC) and hemoglobin content (Hb) are most determined by age and season, with the lowest values recorded in newborn calves, reaching peak values in the autumn

period at 9 months of age. The hematocrit of the newborn calf was also relatively low (35.4%), showing a significant increase in the summer and reaching a maximum (48.9%) and adult levels in the fall, while positively correlating with Hb ($r = 0.93$) and with RBC ($r = 0.77$). The white blood cell (WBC) count ranged from 6.1 to 10.1 x 10⁹/L and showed a significant increase during the first weeks of life ($P < 0.01$), reaching maximum and adult levels in the fall. The serum iron concentration in the newborn calf was quite low (26.4 $\mu\text{mol/L}$), but almost doubled during the first summer, with values being slightly higher in calves than in females in summer and fall. The obtained variations in blood composition, in our opinion, can be used as predictors of animal survival and calving success, as well as for determining reference values for the blood of Even reindeer.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белкина, А. В., Кирюхина, Е. А., Лукьянчикова, Л. В., Чаунина, Е. А. Анализ особенностей кормления северного оленя // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2020. - № 4 (23). - URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2020/4/00866.pdf>. - ISSN 2413-4066
2. Григорьева, Н.Н., Корякина, Л.П., Павлова, А.И., Максимов, В.И. Уровень белкового спектра сыворотки крови и микрофагальной активности крови у якутской лошади по внутрипородным типам // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2009. - В. (1) 16.- С. 140–143.
3. Дмитриева, Т.И., Павлова, А.И., Корякина, Л.П. Сравнительная динамика морфофизиологической характеристики крови северных оленей // Труды Всероссийского совета молодых ученых и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений. Москва, 2019. С. 100–107.
4. Дыдаева, Л.Г. Максимов, В.И. Общий анализ крови на принципе импедансного подсчета // Материалы Всероссийской межвузовской научно-практической конференции «Научное обеспечение образовательного процесса в аграрном вузе»: Сборник научн. трудов. – Якутск: Изд. ЯГУ, 2005. – С. 41–44.
5. Дыдаева, Л.Г., Максимов, В.И. Возрастные изменения показателей красной крови крупного рогатого скота в условиях Якутии // Ветеринарная медицина. Научно-практический журнал. - 2010. № 3–4. – С. 80–82
6. Корякина, Л.П., Павлова, А.И., Дмитриева, Т.И. Морфофизиологическая характеристика крови домашних северных оленей эвенской и эвенкийской пород // В сборнике: Материалы научно-практической конференции, посвященной дню Российской науки, 2019. С. 72–74.
7. Корякина, Л.П., Мачахтыров, Г.Н. Клинико-гематологический статус домашнего северного оленя по сезонам года в условиях Якутии // Известия Международной академии аграрного образования. 2008. № 7–2. С. 73–75.
8. Клиническая гематология животных: Учебное пособие / Д.Р. Амиров, Б.Ф. Тамимдаров, А.Р. Шагеева. - Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2020 - 134с.
9. Реброва, О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва // М.- МедиаСфера, 2002. - 312с.
10. Федоров, В.И., Слепцов, Е.С., Винокуров, Н.В., Осипов, В.Г., Румянцева, Т.Д. Северное домашнее оленеводство Республики Саха (Якутия): ретроспективный анализ и направления развития // Генетика и разведение животных. №4. 2018. С. 43–50.
11. Arman, P. (1979). Milk from semi-domesticated ruminants. - Wld. Rev. Nutr. Diet. 33:198-227
12. Irzhak, L.L., Katsmartschik, E.V. & Mon - Galev, N.P. (1973). Hemoglobin and erythrocytes in the newborn reindeer calf. - Nacnye Dokl. vysseij Skaly Biol. Nauk. 113:39-43
13. Korykina L., Maximov V., Grigorieva N., Pavlova A., Sleptsov E. The influence of sharp continental climate on immunophysiological parameters of cattle blood//

- FASEB Journal. 2021. T. 35. № S1. C. 02459. Experimental Biology 2021 Abstract Confirmation of Poster Presentation – APS/Physiology April 27-30, 2021. Published: May 2021. DOI: 10.1096/fasebj.2021.35.S1.02459. ISSN: 0892-6638 eISSN: 1530-6860.
14. Leat, W. M. (1970). Carbohydrate and lipid metabolism in the ruminant during postnatal development. - In: Phillipson, A.T. (Ed.), Physiology of digestion and metabolism in the ruminant: 211-222. Oriel Press. Newcastle.
15. McEvan, E.H. & Whitehead, P.E. (1969). Changes in the blood constituents of reindeer and caribou occurring with age. - Can. J. Zool. 47:557-562.
16. Nieminen, M. (1980). Nutritional and seasonal effects on the hematology and blood chemistry in reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.). - Comp. Biochem. Physiol. 66A:399-413
17. Plemyashov, K.V., Fedorov, V.I., Koryakina, L.P., Maksimov, V.I., Grigorieva, N.N., Pavlova, A.I., Sleptsov, E.S. Physiological basis of adaptation of yakut horses to subarctic climate// FASEB Journal. 2022. T. 36. № S1. C. L7682
18. Säkkinen, H., Timisjärvi, J., Eloranta, E., Heiskari, U., Nieminen, M. & Puukka, M. (1999) Изменения химических параметров крови, вызванные питанием, у беременных самок северного оленя (*Rangifer tarandus tarandus*). Small Ruminant Res 32: 211–221.
19. Timisjarvi, J., Nieminen, M. & Saari, E. (1981). Hematological values for reindeer. - J. Wildl. Manage. 45(4).
20. Timisjarvi, J., Reinila, M. & Jarvensivu, P. (1976). Hematological values for the Finnish reindeer. - Blut. 32:439-442.
- REFERENCES**
1. Belkina, A. V., Kiryukhina, E. A., Lukyanchikova, L. V., Chaunina, E. A. Analysis of reindeer feeding characteristics // Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University. - 2020. - No. 4 (23). - URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2020/4/00866.pdf>. - ISSN 2413-4066
2. Grigorieva, N. N., Koryakina, L. P., Pavlova, A. I., Maksimov, V. I. The level of the protein spectrum of blood serum and microphage activity of the blood in the Yakut horse by intrabreed types // Transactions of the Kuban State Agrarian University. - 2009. - V. (1) 16.- P. 140-143.
3. Dmitrieva, T.I., Pavlova, A.I., Koryakina, L.P. Comparative dynamics of the morphophysiological characteristics of reindeer blood // Proceedings of the All-Russian Council of Young Scientists and Specialists of Agrarian Educational and Scientific Institutions. Moscow, 2019. P. 100-107.
4. Dydaeva, L.G. Maksimov, V.I. Complete blood count based on the impedance counting principle // Proceedings of the All-Russian Interuniversity Scientific and Practical Conference "Scientific Support for the Educational Process in an Agrarian University": Collection of scientific papers. - Yakutsk: Yakutsk State University Press, 2005. - P. 41-44.
5. Dydaeva, L.G., Maksimov, V.I. Age-related changes in red blood cell parameters of cattle in Yakutia // Veterinary medicine. Scientific and practical journal. - 2010. No. 3 -4. - P. 80-82
6. Koryakina, L.P., Pavlova, A.I., Dmitrieva, T.I. Morphophysiological characteristics of the blood of domestic reindeer of the Even and Evenki breeds // In the collection: Proceedings of the scientific and practical conference dedicated to the Day of Russian Science, 2019. P. 72-74.
7. Koryakina, L.P., Machakhtyrov, G.N. Clinical and hematological status of domestic reindeer by seasons of the year in Yakutia // Bulletin of the International Academy of Agrarian Education. 2008. No. 7–2. P. 73–75.
8. Clinical hematology of animals: A textbook / D.R. Amirov, B.F. Tamimdarov, A.R. Shageeva. - Kazan: Center for Information Technologies of Kazan State Academy of Veterinary Medicine, 2020. - 134 p.
9. Rebrova, O. Yu. Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA software package / O. Yu. Rebrova // M. -MediaSfera, 2002. - 312 p.
10. Fedorov, V.I., Sleptsov, E.S., Vinokurov,

- N.V., Osipov, V.G., Rumyantseva, T.D. Northern domestic reindeer herding in the Sakha Republic (Yakutia): retrospective analysis and development directions // Genetics and animal breeding. No. 4. 2018. Pp. 43-50.
11. Arman, P. (1979). Milk from semi-domesticated ruminants. - *Wld. Rev. Nutr. Diet.* 33:198-227
12. Irzhak, L.L., Katsmartschik, E.V. & Mon - Galev, N.P. (1973). Hemoglobin and erythrocytes in the newborn reindeer calf. - *Nacnye Dokl. vysseij Skaly Biol. Nauk.* 113:39-43
13. Korykina L., Maximov V., Grigorieva N., Ravlova A., Sleptsov E. The influence of sharp continental climate on immunophysiological parameters of cattle blood // *FASEB Journal*. 2021. T. 35. No. S1. P. 02459. Experimental Biology 2021 Abstract Confirmation of Poster Presentation - APS/Physiology April 27-30, 2021. Published: May 2021. DOI: 10.1096/fasebj.2021.35.S1.02459. ISSN: 0892-6638 eISSN: 1530-6860.
14. Leat, W. M. (1970). Carbohydrate and lipid metabolism in the ruminant during postnatal development. - In: Phillipson, A.T. (Ed.), *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*: 211-222. Oriel Press. Newcastle.
15. McEvan, E.H. & Whitehead, P.E. (1969). Changes in the blood constituents of reindeer and caribou occurring with age. - *Can. J. Zool.* 47:557-562.
16. Nieminen, M. (1980). Nutritional and seasonal effects on the hematology and blood chemistry in reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.). - *Comp. Biochem. Physiol.* 66A:399-413
17. Plemyashov, K.V., Fedorov, V.I., Koryakina, L.P., Maximov, V.I., Grigorieva, N.N., Pavlova, A.I., Sleptsov, E.S. Physiological basis of adaptation of Yakut horses to subarctic climate// *FASEB Journal*. 2022. Vol. 36. No. S1. P. L7682
18. Säkkinen, H., Timisjärvi, J., Eloranta, E., Heiskari, U., Nieminen, M. & Puukka, M. (1999) Diet-induced changes in blood chemistry parameters in pregnant reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) females. *Small Ruminant Res* 32:211-221.
19. Timisjarvi, J., Nieminen, M. & Saari, E. (1981). Hematological values for reindeer. - *J. Wildl. Manage.* 45(4).
20. Timisjarvi, J., Reinila, M. & Jarvensivu, P. (1976). Hematological values for the Finnish reindeer. - *Blut.* 32:439-442.

УДК: 577.1:612.1:612.017.1:636

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.283

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛЕЙКОЦИТАРНЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ ВОСПАЛЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТОЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНЕЙ У ЖИВОТНЫХ С ЛИМФОЦИТАРНЫМ ПРОФИЛЕМ КРОВИ

Чарторийская А. В. - асп. каф. патологической физиологии (ORCID 0009-0001-4614-0637); **Крячко О. В.** - д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. патологической физиологии (ORCID 0000-0002-8996-8522)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

*chartoriyskaya.arina@yandex.ru

Ключевые слова: Крупный рогатый скот, гематологические индексы, иммунитет, острое воспаление, системный ответ.

Keywords: Cattle, blood, leukocyte indices, immunity, acute inflammation, systemic response.

Поступила: 02.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Воспаление является типовым патологическим процессом, играющим важную роль в защите организма, однако течение процесса может значительно различаться в зависимости от типа ткани и индивидуальных особенностей животного включая профиль крови, который является ключевым моментом в определении характера и интенсивности воспалительного процесса в зависимости от состава циркулирующих клеток иммунной системы, уровня провоспалительных цитокинов и активности комплемента, что в свою очередь влияет на течение и скорость воспалительного процесса, а также эффективность защитных механизмов. В настоящее время все большее распространение в клинических исследованиях получают клеточные интегративные маркеры системного иммунного воспаления - нейтрофильно-лимфоцитарный, тромбоцитарно-лимфоцитарный и индекс системного иммуновоспаления. Коэффициенты широко используются в гуманной медицине в качестве независимого предиктора системного воспалительного ответа, определении тяжести заболеваний. В связи с этим, представляется актуальным анализ диагностической значимости индексов в ветеринарной медицине при оценке системного ответа при воспалении разных видов тканей. Цель исследования – провести сравнительную оценку лейкоцитарных индексов при воспалении железистой и соединительной ткани у животных с лимфоцитарным профилем крови. Объект исследований крупный рогатый скот, распределенный по группам в зависимости от вида ткани с воспалительным процессом: 1-я - клинически здоровые; 2-я - с воспалением железистой ткани; 3-я - с воспалением соединительной ткани. В результате проведенного сравнительного анализа, мы выявили, что системный воспалительный ответ железистой ткани по сравнению с соединительной тканью у животных с лимфоцитарным профилем крови более выражен, раз-

витие осложнений в виде цитокинового каскада наиболее вероятно при воспалении этого типа ткани. Расчет гематологических индексов у животных является информативным для оценки патофизиологических аспектов воспаления, благодаря своей легкости расчёта также может быть рекомендован для применения в клинической практике с целью оценки степени воспалительного процесса и определения прогноза заболеваний.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Воспаление является типовым патологическим процессом, играющим важную роль в защите организма, однако течение самого процесса может значительно различаться в зависимости от типа ткани и индивидуальных особенностей животного включая профиль крови, который является ключевым моментом в определении характера и интенсивности воспалительного процесса в зависимости от состава циркулирующих клеток иммунной системы, уровня провоспалительных цитокинов и активности комплемента, что в свою очередь влияет на течение и скорость воспалительного процесса, а также эффективность защитных механизмов. В настоящее время все большее распространение в клинических исследованиях получают клеточные интегративные маркеры системного иммунного воспаления такие как нейтрофильно-лимфоцитарный коэффициент, тромбоцитарно-лимфоцитарный коэффициент и маркер системного иммуновоспаления [5,7,8,9,12].

Коэффициенты широко используются в гуманной медицине в качестве независимого предиктора системного воспалительного ответа при таких патологических процессах как острый панкреатит, нарушение мозгового кровообращения, новообразования в различных органах. В отечественной литературе описано применение гематологических параметров при прогнозировании патологических процессов в онкологии, кардиологии, пульмонологии, а также по мнению некоторых авторов расчетные показатели могут быть прогностическими индексами цитокинового шторма [5-8,12].

В связи с этим, представляется актуальным анализ диагностической значимости расчетных гематологических индексов в ветеринарной медицине при оценке системного ответа при воспалении раз-

ных видов тканей. Цель исследования – провести сравнительную оценку лейкоцитарных индексов при воспалении железистой и соединительной ткани у животных с лимфоцитарным профилем крови.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В качестве модели животных с лимфоцитарным профилем крови был выбран крупный рогатый скот, в частности, лактирующие коровы голштинской породы, содержащиеся в одном из животноводческих хозяйств Ленинградской области. На основании результатов комплексного обследования были сформированы три группы животных: 1-я - клинически здоровые (n=20); 2-я - с воспалением железистой ткани (n=20) (катаральный мастит); 3-я - с воспалением соединительной ткани (n=20) (артрит). У всех особей были отобраны пробы крови для выполнения гематологического исследования.

Гематологические показатели определяли на анализаторе Mindray BC-2800Vet с. Для определения концентрации острофазных белков использовали усовершенствованный спектрофотометрический метод Равина (1969) для определения содержания церулоплазмينا и метод Рутберга (1961) для исследования количества фибриногена. По результатам клинического анализа крови и выведения лейкограммы у животных всех групп, провели расчёт интегральных параметров, характеризующих состояние иммунной системы и активность воспалительного процесса:

Нейтрофильно-лимфоцитарный коэффициент (НЛК) – характеризует собой соотношение миелоцитарного ряда к лимфоцитам. (НЛК = миелоциты + метамиелоциты + палочкоядерные нейтрофилы + сегментоядерные нейтрофилы) / лимфоциты).

Тромбоцитарно-лимфоцитарный коэффициент (ТЛК) — отношение абсолют-

ного количество тромбоцитов к абсолютному количеству лимфоидных клеток в крови (ТЛК= тромбоциты/лимфоциты).

Индекс системного иммуновоспаления (СИВИ) – характеризует отношение количества тромбоцитов и общего количества нейтрофилов к лимфоцитам. (СИВИ= $\frac{\text{тромбоциты} \cdot \text{нейтрофилы}}{\text{лимфоциты}}$).

Статистическую обработку полученных в ходе исследования данных осуществляли с помощью традиционных методов вариационной статистики. Различия между исследуемыми группами считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$ на основании t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Клиническое состояние коров из 1-й группы соответствовало общепринятым параметрам здоровых животных [10].

Общее состояние коров из 2-й группы удовлетворительное, но при пальпации одной, реже двух долей молочной железы выявляется болезненность и очаги уплотнения. Суточный удой оказался ниже, чем у здоровых на 10% (27 л), в течение всего периода доения выделяется водянистое молоко с желтоватым оттенком и содержит хлопья и сгустки казеина. Таким образом, у коров из 2-й группы имеет место катаральных мастит с преимущественным воспалением в альвеолах.

В 3-й группе животных с воспалением соединительной ткани наблюдали признаки артрита: животные преимущественно находились в лежачем положении, а стоя держат пораженную конечность согнутой в запястном или заплюсневом суставе. При движении наблюдается хромота смешанного типа. При пальпации запястного или заплюсневого сустава отмечалась припухлость и болезненность. Выявленные симптомы указывают на наличие у коров острого синовита запястного или заплюсневого суставов.

У всех больных выявлены изменения состава крови, обусловленные наличием острого воспалительного процесса, но их выраженность зависела от типа пораженной ткани. В сравнении со здоровыми

содержание церулоплазмينا ($426,56 \pm 25,59$ мг/л) и фибриногена ($3,55 \pm 0,6$ г/л) при воспалении соединительной ткани (синовит) оказались выше соответственно на 23 % и 57 % ($526,75 \pm 25,55$ мг/л и $5,59 \pm 0,22$ г/л), в то время как на фоне воспаления железистой ткани (катар альвеол) на 62 % и 90 % ($694,75 \pm 98,88$ мг/л и $6,76 \pm 0,49$ г/л).

Результаты исследования крови представлены в таблице 1, из данных которой также видно различие гематологического ответа при воспалении разных типов тканей. Так, в сравнении со здоровыми животными, у больных с воспалением железистой ткани (гр.2) и при поражении соединительной ткани (гр. 3) снижение числа эритроцитов составило соответственно на 51,0 % и 34,0 % и гемоглобина на 28,1 и 31,0%, а увеличение количества лейкоцитов в 2,2 и 1,8 раза и тромбоцитов на 3,6% и в 2,3 раза. Помимо этого выявлено разное направление изменений показателей лимфоцитов и эозинофилов, число которых было выше у больных артритом на 10 % и в 4,3 раза соответственно, в то время как при мастите, наоборот, ниже на 47 % и 41 %. У всех больных отмечено появление в крови миелоцитов и метамиелоцитов.

Результаты расчёта интегральных индексов представлены в таблице 2. Для оценки индексов системного воспалительного ответа на основе проведенных исследований, мы определили верхние и нижние границы референсного интервала для группы здоровых животных.

Нейтрофильно-лимфоцитарный коэффициент (НЛК) характеризует связь неспецифического и специфического иммунного ответа организма, формирующегося во время воспалительного ответа при различных патофизиологических процессах [3,5,7,9]. В настоящее время большое применение в ветеринарной медицине получил этот показатель для оценки реактивности организма в ответ на стрессовые воздействия, а также используется в качестве второстепенного маркера специфического иммунитета и фагоцитарной активности [1,4,5,7,9,11].

Таблица 1 - Результаты гематологических исследований животных при воспалении различных типов ткани ($M \pm m$)

Показатель	Группы животных		
	1	2	3
Эритроциты ($10^{12}/л$)	7,10±0,99	3,46±0,6*	4,68±0,45*
Гемоглобин (г/л)	113,94±13,38	81,95±2,66*	78,60±4,14*
Гематокрит (%)	35,47±3,21	24,17±1,03*	22,75±1,35*
Тромбоциты ($10^3/л$)	359,87±81,46	372,67±95,3	840,65±69,45*
Тромбокрит (%)	0,41±0,09	0,38±0,06	0,46±0,06
Лейкоциты ($10^9/л$)	10,03±2,61	21,68±2,73*	18,07±0,63*
Миелоциты ($10^9/л$)	0,00±0,00	0,50±0,5*	0,50±0,50*
Метамиелоциты ($10^9/л$)	0,00±0,00	0,50±0,5*	0,30±0,42*
Палочкоядерные нейтрофилы ($10^9/л$)	0,00±0,00	1,20±0,60*	0,82±0,28*
Сегментоядерные нейтрофилы ($10^9/л$)	3,43±1,55	13,24±0,71*	6,72±1,71*
Базофилы ($10^9/л$)	0,02±0,03	0,02±0,03	0,13±0,17
Эозинофилы ($10^9/л$)	0,49±0,36	0,20±0,26*	2,14±0,87*
Моноциты ($10^9/л$)	0,81±0,65	3,53±0,63*	1,41±0,54
Лимфоциты ($10^9/л$)	5,28±1,15	2,50±0,66*	6,05±1,78
Миелоциты (%)	0,00±0,00	2,21±22,21*	2,78±2,78*
Метамиелоциты (%)	0,00±0,00	2,19±2,19*	1,66±2,33*
Палочкоядерные нейтрофилы (%)	0,00±0,00	5,22±1,98*	4,53±0,67*
Сегментоядерные нейтрофилы (%)	33,13±9,01	61,86±5,31*	38,9±4,51
Базофилы (%)	0,15±0,25	0,10±0,15	0,76±0,95
Эозинофилы (%)	4,60±3,14	0,84±1,13*	10,15±3,66
Моноциты (%)	7,39±5,37	16,17±1,49*	7,83±2,67
Лимфоциты (%)	54,74±7,89	11,42±2,34*	33,38±7,34*

Примечание: * $p \leq 0,05$ в сравнении с 1-й группой клинически здоровых животных.

Таблица 2 - Маркеры системного воспалительного процесса у животных при воспалении различных типов ткани ($M \pm m$)

Индекс	Группы животных			
	Референсные значения	1	2	3
НЛК	0,26-2,43	0,67±0,28	6,75±1,68*	1,57±0,44*°
ТЛК	36,39-136,00	73,56±24,89	168,32±62,17*	147,43±30,27*
СИВИ	74,02-1238,96	259,75±139,39	2561,04±902,11*	1294,20±334,97*°

Примечание: * $p \leq 0,05$ в сравнении с 1-й группой клинически здоровых животных; ° $p \leq 0,05$ в сравнении с 2-й группой клинически здоровых животных

При оценке интегральных индексов мы обнаружили, что во второй группе исследуемых животных уровень НЛК был повышен в 10,0 раз ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой здоровых животных, что связано с несбалансированным ответом иммунной системы и повышенной воспалительной активностью организма. Значение показателя в 3-й группе животных было выше в 2,25 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с 1-й группой здоровых животных и в 4,2 раза ($p \leq 0,05$) меньше по сравнению с 2-й группой. Во 2-й группе коров с воспалением железистой ткани отмечали существенное повышение сегментоядерных нейтрофилов на 53% по сравнению с 1-й группой, а в 3-й группе мы обнаружили увеличение на 15 %. При рассмотрении числа лимфоцитов, мы обнаружили снижение лимфоцитов до $2,5 \pm 0,66 \cdot 10^9/\text{л}$, в 3-й группе содержание лимфоцитов составило $6,05 \pm 1,78 \cdot 10^9/\text{л}$. При воспалительном процессе происходит активация нейтрофилов и секретирующие медиаторы воспаления, активированные нейтрофилы оказывают повреждающее действие на сосудистый эндотелий, одновременно с этим происходит развитие лимфопении, что связано с перераспределением циркулирующих лимфоцитов в очаг воспаления и апоптическими явлениями. Нейтрофилы являются клетками, способствующими воспалению и секретирующие протеолитические ферменты, а также провоспалительные цитокины, стимулирующие системный воспалительный ответ по мере прогрессирования заболевания.

Тромбоцитарно-лимфоцитарный коэффициент (ТЛК), в свою очередь, характеризует роль как тромбоцитов в качестве первичного звена в гомеостазе, так и лейкоцитов. Показатель активно используется в гуманитарной медицине для оценки системного воспалительного ответа, активности тромбообразовательных процессов, характеристики острого воспалительного ответа и может служить потенциальным предиктором цитокинового каскада [2,3,5,12]. При сравнительной оценке расчетного тромбоцитарно-лимфоцитарного коэффициента мы обнаружили повышение

показателя в обеих группах исследуемых моделей, во 2-й группе повышение в 2,3 раза ($p \leq 0,05$) и в 3-й группе 2 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с 1-й группой здоровых животных. Во 2-й группе животных количество тромбоцитов составило $372,67 \pm 95,3 \cdot 10^9/\text{л}$, в 3-й - показатель находился на уровне $840,65 \pm 69,45 \cdot 10^9/\text{л}$. Увеличение маркера связано с повышенной тромбоцитарной активностью в ответ на острое воспаление, что указывает на системный ответ организма.

Индекс системного иммуновоспаления (СИВИ) является комплексным показателем, отражающим как воспалительную нагрузку, так и нарушение регуляции иммунитета, затрагивает три популяции клеток, участвующих в воспалительном процессе: тромбоциты, нейтрофилы и лимфоциты. Индекс не используется в ветеринарной практике, но применяется в гуманитарной медицине для оценки системной воспалительной реакции и иммунного статуса пациентов, а также дает представление о прогнозе и реакции на лечение [5,8,12]. Системный иммуновоспалительный индекс является индикатором нарушения регуляции иммунитета и воспалительной нагрузки. При сравнении результатов в исследуемых группах, мы выявили увеличение показателя в 9,8 раз ($p \leq 0,05$) во второй группе животных и 4,8 раза ($p \leq 0,05$) в третьей группе по сравнению с 1-й группой и в 1,98 раза ($p \leq 0,05$) меньше по сравнению со 2-й группой, что было вне зоны референсных значений. Увеличение коэффициента во второй группе животных с катаральным маститом связано с высоким уровнем воспалительной нагрузки, отражением системного ответа, а также возможным развитием цитокинового каскада.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, в результате проведенного сравнительного анализа, мы выявили, что воспалительный ответ железистой ткани по сравнению с воспалением соединительной ткани более выражен, что подтверждается высокой степенью достоверности полученных результатов, развитие осложнений в виде цитокиново-

го каскада наиболее вероятно при воспалении железистой ткани.

Расчет гематологических индексов у животных является информативным для оценки патофизиологических аспектов воспаления, благодаря своей легкости расчёта также может быть рекомендован для применения в клинической практике с целью оценки степени воспалительного процесса и определения прогноза заболеваний.

COMPARATIVE EVALUATION OF LEUKOCYTIC INDICES IN INFLAMMATION OF GLANDULAR AND CONNECTIVE TISSUES IN ANIMALS WITH LYMPHOCYTIC BLOOD PROFILE

Chartoriiskaia A.V. - postgraduate student of the Department of Pathological Physiology (ORCID 0009-0001-4614-0637); **Kryachko O.V.** - doctor of veterinary sciences, professor, Head of the Department of Pathological Physiology (ORCID 0000-0002-8996-8522)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*chartoriyskaya.arina@yandex.ru

ABSTRACT

Inflammation is a typical pathological process that plays an important role in protecting the body, but the course of the process can vary significantly depending on the type of tissue and individual characteristics of the animal, including the blood profile, which is key in determining the nature and intensity of the inflammatory process, depending on the composition of circulating immune system cells, the level of pro-inflammatory cytokines and complement activity, which in turn, it affects the course and speed of the inflammatory process, as well as the effectiveness of protective mechanisms. Currently, cellular integrative markers of systemic immune inflammation, such as neutrophil-lymphocytic, platelet-lymphocytic, and systemic immune inflammation index, are becoming increasingly common in clinical trials. Coefficients are widely used in humane medicine as an inde-

pendent predictor of the systemic inflammatory response, determining the severity of diseases. In this regard, it seems relevant to analyze the diagnostic significance of indices in veterinary medicine when assessing the systemic response to inflammation of various types of tissues. The purpose of the study – to conduct a comparative assessment of leukocyte indices in inflammation of glandular and connective tissue in animals with a lymphocytic blood profile. The object of research is cattle, divided into groups depending on the type of tissue with an inflammatory process: 1st - clinically healthy; 2d - with inflammation of glandular tissue; 3d - with inflammation of connective tissue. As a result of the comparative analysis, we found that the systemic inflammatory response of glandular tissue is more pronounced in animals with a lymphocytic blood profile compared to connective tissue, and the development of complications in the form of a cytokine cascade is most likely with inflammation of this type of tissue. The calculation of hematological indices in animals is informative for assessing the pathophysiological aspects of inflammation, due to its ease of calculation, it can also be recommended for use in clinical practice in order to assess the degree of the inflammatory process and determine the prognosis of diseases.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ эффективности применения гематологических лейкоцитарных индексов при оценке степени интоксикации и реактивности организма у животных с хроническими патологическими процессами / В. Н. Гапонова, О. В. Крячко, Л. А. Лукоянова, К. А. Анисимова // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 4. – С. 124-128. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2020.4.124. – EDN HVXLKA.
2. Ванина, Д.Д. Предикторы сердечно-сосудистого ремоделирования и тяжести течения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) у пациентов с разным индексом массы тела: дис. канд. мед. наук: 3.1.20. - М., 2023. - 150 с.
3. Гаджиев, Н.Дж. Значение гематологических интегральных индексов в прогно-

- зировании и ранней диагностике деструктивного холецистита / Н.Дж. Гаджиев, М.Дж. Султанова, Н.А. Эйнуллаева, Дж.Н. Гаджиев, Э.Г. Тагисой // Сибирское медицинское обозрение. 2025;(2):94-102. DOI: 10.20333/25000136-2025-2-94-102
4. Крячко, О. В. Влияние технологического стресса на иммунологическую реактивность поросят / О. В. Крячко, А. О. Будник // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 2. – С. 155-161. – DOI 10.17238/ISSN2072-2419.2020.2.155. – EDN YEWZRI.
5. Кирячков, Ю.Ю. Композитные индексы воспаления, иммунитета, питания. Формулы расчета, интерпретация, клиническое значение (обзор литературы). / Ю.Ю. Кирячков // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2025. -№ 22(4) – С.108-116. - DOI 10.24884/2078-5658-2025-22-4-108-116.
6. Павлов, О.В. Тромбоцитарно-лейкоцитарные взаимодействия: иммуно-регуляторная роль и патофизиологическое значение/ О.В. Павлов, С.В. Чепанов, А.В. Селютин, С.А. Сельков // Медицинская иммунология. 2022;24(5):871-888. DOI 10.15789/1563-0625-PLI-2511
7. Панкратова, Ю.С. Индекс отношения нейтрофилов к лимфоцитам как показатель тяжести воспалительных осложнений / Ю. С. Панкратова, О. Ю. Карпухин // Поволжский онкологический вестник - 2022. - №2. – С. 50.
8. Римская, А.М. Лейкоцитарные индексы как критерии активности воспалительных заболеваний кишечника у детей / А.М. Римская, И.С. Самолыго // Российский педиатрический журнал. 2025;28(2S):53. EDN JXBEJO
9. Самсонова, Т.С. Гематологические индексы в оценке состояния здоровья животных / Т. С. Самсонова, А. Ю. Рыженкова, С. А. Сорокина // Актуальные вопросы биотехнологии и ветеринарных наук: теория и практика: Материалы национальной научной конференции Института ветеринарной медицины, Троицк, 27-28 июня 2019 года. - Троицк: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2019. - С. 98-105. – EDN XUAOEL.
10. Уша, Б. В. Клиническое обследование животных : учебное пособие для СПО / Б. В. Уша, М. А. Фельдштейн. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : Квадро, 2024. — 304 с.
11. Чарторийская, А.В. Сравнительная оценка реактивности, интоксикации и активности воспаления железистой и соединительной ткани с использованием лейкоцитарных индексов/ А.В. Чарторийская, О.В. Крячко // Международный вестник ветеринарии. – 2025. -№3. – С. 357-363. - DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.3.357.
12. Хакимова, Г.Г. Анализ системного иммунитета и воспаления в прогнозе аденокарциномы желудка / Г.Г. Хакимова, Т.Н. Заботина, А.А. Трякин и др. // Успехи молекулярной онкологии. — 2020. — 7 (1). — С. 38-46. - DOI 10.17650/2313-805X-2020-7-1-38-46.
13. Pathological physiology of animals. General nosology : manual / O. V. Kryachko, L. A. Lukoyanova, V. N. Gaponova [et al.]. – Saint Petersburg : Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2023. – 87 p. – EDN XCAHFP.
14. Pathological Physiology of animals. Typical pathological processes : manual / O. V. Kryachko, L. A. Lukoyanova, V. N. Gaponova, K. A. Anisimova. – Saint-Petersburg : Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2025. – 87 p. – EDN GLSLHV.

REFERENCES

1. Analysis of the effectiveness of using hematological leukocyte indices in assessing the degree of intoxication and body reactivity in animals with chronic pathological processes / V. N. Gaponova, O. V. Kryachko, L. A. Lukoyanova, and K. A. Anisimova // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2020. – No. 4. – Pp. 124-128. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2020.4.124. – EDN HVXLKA.
2. Vanina D.D. Predictors of cardiovascular remodeling and severity of the course of a new coronavirus infection (COVID-19) in patients with different body mass index: dis.

- cand. med. sciences: 3.1.20. - M., 2023. - 150 p.
3. Gadzhiev, N.J. The significance of hematological integral indices in the prediction and early diagnosis of destructive cholecystitis / N.J. Gadzhiev, M.J. Sultanova, N.A. Einullayeva, J.N. Gadzhiev, E.G. Tagisoy // *Siberian Medical Review*. 2025;(2):94-102. DOI: 10.20333/25000136-2025-2-94-102
4. Kryachko, O. V. Influence of technological stress on immunological reactivity of piglets / O. V. Kryachko, A. O. Budnik // *International Bulletin of Veterinary Medicine*. – 2020. – No. 2. – pp. 155-161. – DOI 10.17238/ISSN2072-2419.2020.2.155. – EDN YEWZRI.
5. Kiryachkov, Yu.Y. Composite indices of inflammation, immunity, nutrition. Calculation formulas, interpretation, clinical significance (literature review). / Yu.Yu. Kiryachkov // *Bulletin of Anesthesiology and Intensive Care Medicine*. – 2025. -№ 22(4) – Pp.108-116. - DOI 10.24884/2078-5658-2025-22-4-108-116.
6. Pavlov, O.V. Platelet-leukocyte interactions: immunoregulatory role and pathophysiological significance/ O.V. Pavlov, S.V. Chepanov, A.V. Selyutin, S.A. Selkov// *Medical immunology*. 2022;24(5):871-888. DOI 10.15789/1563-0625-PLI-2511
7. Pankratova, Yu. S. Neutrophil to lymphocyte ratio as an indicator of the severity of inflammatory complications/Yu. S. Pankratova, O. Yu. Karpukhin//*Volga Oncological Bulletin* - 2022. - №2. - S. 50.
8. Rimskaya, A.M. Leukocyte indices as criteria for the activity of inflammatory bowel diseases in children / A.M. Rimskaya, I.S. Samolygo // *Russian Pediatric Journal*. 2025;28(2S):53. EDN JXBEJO
9. Samsonova, T. S. Hematological Indices in Assessing the Health Status of Animals / T. S. Samsonova, A. Yu. Ryzhenkova, and S. A. Sorokina // *Current Issues in Biotechnology and Veterinary Sciences: Theory and Practice: Proceedings of the National Scientific Conference of the Institute of Veterinary Medicine, Troitsk, June 27-28, 2019*. - Troitsk: South Ural State Agrarian University, 2019. - Pp. 98-105. - EDN XUAOEL.
10. Usha, B. V. Clinical examination of animals: a textbook for secondary vocational education / B. V. Usha, M. A. Feldshteyn. - 3rd ed. - St. Petersburg: Quadro, 2024. - 304 p.
11. Chartoriyskaya, A.V. Comparative assessment of reactivity, intoxication and activity of inflammation of glandular and connective tissue using leukocyte indices/ A.V. Chartoriyskaya, O.V. Kryachko // *International Bulletin of Veterinary Medicine*. – 2025. -No. 3. – pp. 357-363. - DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.3.357.
12. Khakimova, G.G. Analysis of systemic immunity and inflammation in the prognosis of gastric adenocarcinoma / G.G. Khakimova, T.N. Zabolotina, A.A. Tryakin et al. // *Advances in molecular oncology*. — 2020. — 7 (1). — Pp. 38-46. - DOI 10.17650/2313-805X-2020-7-1-38-46.
13. Pathological physiology of animals. General nosology : manual / O. V. Kryachko, L. A. Lukyanova, V. N. Gaponova [et al.]. – Saint Petersburg : Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2023. – 87 p. – EDN XCAHFP.
14. Pathological Physiology of animals. Typical pathological processes : manual / O. V. Kryachko, L. A. Lukyanova, V. N. Gaponova, K. A. Anisimova. – Saint-Petersburg : Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2025. – 87 p. – EDN GLSLHV.

УДК: 612.017.12

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.291

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОРГАНИЗАЦИИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ БЕСЧЕЛЮСТНЫХ И ЧЕЛЮСТНЫХ РЫБ (ОБЗОР)

Киселева М.Н.¹ - аспирант (ORCID 0009-0006-1690-513X); Митрюшкина Д.К.¹ - аспирант (ORCID 0009-0003-4986-9583); Лукина Ю.Н.^{1,2} - д.б.н., директор института (ORCID 0000-0002-0429-3600); Апаликова О.В.¹ - к.б.н., зав. лабораторией генетики (ORCID 0000-0002-1188-2446).

¹ Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

² Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

*apalikova@niorh.vniro.ru

Ключевые слова: иммунитет рыб, эволюция, органы иммунной системы, аквакультура

Keywords: fish immunity, evolution, immune system organs, aquaculture

Поступила: 02.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Иммунная система рыб, как первых позвоночных, обладающих всеми основными компонентами адаптивного иммунитета, представляет значительный интерес для сравнительной иммунологии. У рыб, как и у других позвоночных, иммунная система обеспечивает защиту от множества патогенов, однако, в связи с особенностями их среды обитания, у них есть отличительные свойства иммунного ответа. Организация иммунной системы рыб является важным этапом в эволюции высших позвоночных, тем самым, отражая представление о формировании иммунитета у высших позвоночных. В обзоре систематизированы современные данные об эволюции, структуре и функционировании иммунитета у бесчелюстных и челюстных рыб. Целью работы был анализ и обсуждение существующих знаний о роли различных органов и отдельных генов, участвующих в защитном механизме бесчелюстных и челюстных рыб, на основе чего можно составить представление об эволюционных изменениях в иммунной системе рыб. Иммунитет рыб является сложной системой, зависящей от многих факторов, таких как условия среды и генетика. Знание механизмов иммунной защиты рыб имеет фундаментальное значение для понимания эволюции иммунной системы позвоночных и является основой для разработки эффективных стратегий в аквакультуре, например, для создания вакцин и иммуностимуляторов. Был проведен сравнительный анализ современных литературных данных, при котором тщательно подобраны исследования отражающие характеристики иммунного ответа у рыб. Результаты обобщения необходимы для дальнейшего изучения устойчивости объектов аквакультуры к различным патогенам, с целью выращивания товарной рыбы безопасной для человека.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В процессе эволюции живые организмы подвергались разнообразным воздействиям окружающей среды, ответом на которую их защитные механизмы претерпевали постепенные изменения [1]. Все современные позвоночные унаследовали адаптивный иммунитет, морфофункциональная организация механизмов врожденного и приобретенного иммунитета в эволюционном диапазоне от круглоротых до млекопитающих характеризуются качественными различиями. В связи с этим, актуальность изучения иммунной системы рыб определяется не только проблемами иммунопрофилактики и иммунодиагностики, но и фундаментальными вопросами эволюционной иммунологии.

Организация иммунной системы большинства рыб является важным звеном в эволюции иммунной системы высших позвоночных, давая уникальное представление о формировании защитных механизмов у позвоночных животных. Именно у рыб отмечено появление адаптивного иммунного ответа, формирование которого у высокоорганизованных животных обусловлено тем, что система врожденного иммунитета недостаточна для сохранения гомеостаза. Приобретенный иммунитет играет определенную роль в поддержании гомеостаза рыб, но в отличие от высших позвоночных, рыбы уже с ранней эмбриональной стадии развиваются в своей среде обитания. В связи с этим их иммунная система более лабильна и восприимчива к изменению внешних условий, и неспецифический иммунитет является для рыб основным защитным механизмом [2]. Этот механизм основан на активации системы белков-рецепторов, которые идентифицируют набор молекул, ассоциированный с определенным патогеном и типичный для патогенных микроорганизмов, включая липополисахариды, пептидогликаны, ДНК, РНК и другие молекулы, которые обычно отсутствуют на поверхности многоклеточного организма.

Рыбы, как наиболее ранние позвоночные в процессе эволюции, имеют особый

характер иммунного морфогенеза по сравнению с другими высшими позвоночными. Они представляют собой разнообразную группу пойкилотермных животных, в которую входят бесчелюстные и челюстные рыбы классов хрящевых (Chondrichthyes) и костных (Osteichthyes) рыб, среди которых физиология и развитие иммунной системы имеют существенные различия. У рыб особенности физиологических процессов напрямую обусловлены влиянием окружающей среды. Такие внешние факторы, как фотопериодизм, температура и концентрация кислорода в воде, влияют на развитие и функционирование как врожденного, в частности, системы комплемента или активности лизоцима, так и адаптивного иммунитета, например, концентрация иммуноглобулина М [3]. Помимо наследственно не закрепленных реакций на факторы окружающей среды, некоторые вариации иммунных механизмов развиваются посредством генетических изменений. Примером этого является развитие механизмов адаптивного иммунитета, когда генетическая рекомбинация обеспечивает разнообразие рецепторов, распознающих антигены на поверхности лимфоцитов [4]. Многие особенности иммунитета рыб, такие как экспрессия иммунных генов, воспаление, заживление ран, рецепторы для распознавания антигенных образов, передача сигналов и транспорт лимфоцитов, остаются неизменными для всего семейства позвоночных. Эти функции в основном выполняются клеточными и гуморальными факторами иммунитета. В пределах надкласса рыб структура органов кроветворения и иммуногенеза может существенно варьировать, что объясняется как большим разнообразием видов, составляющих данную таксономическую группу, так и разным уровнем их эволюционного развития.

В данной статье обсуждается роль различных органов и отдельных генов, участвующих в защитном механизме бесчелюстных и челюстных рыб, на основе чего можно составить представление об эволюционных изменениях в иммун-

ной системе рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Источником для информации послужили зарубежные научные публикации, касающиеся иммунного ответа бесчелюстных и костных рыб, а также публикации включающие экспериментальные работы *in vivo* и *in vitro*. Методологическую основу исследования составил сравнительный анализ современных литературных данных в сочетании с приемом деконструкции, что позволило выделить и обобщить ключевые научные работы, освещающие молекулярно-генетические механизмы иммунного ответа у бесчелюстных и костистых рыб.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Иммунитет бесчелюстных

У бесчелюстных (миноги, миксины) специализированные органы кроветворения и иммуногенеза (селезенка, тимус) отсутствуют, но имеется уникальная прослойка лимфоидной ткани, локализованная в области околожаберных пространств и кишечной трубки, называемая иммунным телом и являющаяся аналогом тимуса [5]. Кроме того, в кишечных и почечных складках миног локализуются гемопоэтические стволовые, лимфоидные клетки и дифференцированные клетки, включая тромбоциты, гранулоциты, моноциты и лимфоцитоподобные клетки [6].

Свидетельством хорошо развитого врожденного защитного механизма у бесчелюстных рыб является выявление у них генов, связанных с врожденным иммунитетом, среди которых ген белка-модулятора активных форм кислорода I, ген ингибитора ядерного транскрипционного фактора NFκB, а также ген, кодирующий пероксиредоксин [7]. Идентифицированы такие компоненты иммунитета, как центральный компонент системы комплемента – белок острой фазы воспаления C3, маннозосвязывающий лектин (MBL), MBL-ассоциированные сериновые протеазы лектинового пути, а также фактор В альтернативного пути. У атлантической миксины обнаружены гены, кодирующие антимикробный пептид ка-

телицидин [8]. Ротовая железа миноги выделяет многофункциональные белки, например, индуцируемые интерфероном, дезинтегрины; выявлены компоненты, участвующие в активации комплемента [9].

Характерные молекулы адаптивного иммунитета, то есть гены МНС, рецепторы Т-клеток и В-клеточные рецепторы, отсутствуют у примитивных бесчелюстных, но на их месте имеется множество богатых лейцином повторов, кодирующих последовательности, указывающие на альтернативный путь адаптивного иммунитета [10]. В ходе некоторых исследований у атлантической миноги обнаружена специфическая память на основе агглютинина для распознавания антигенов и клеток, секретирующих агглютинин в кишечнике.

У круглоротых животных уровень организации адаптивного иммунитета в отличие от челюстных позвоночных носит не вполне заверченный характер. У этой группы животных выявлены три разновидности молекулярных структур, которые можно отнести к системе приобретенного иммунитета. У миноги выявлены уникальные лимфоциты, экспрессирующие ортологичные гены, кодирующие В-клеточные сигнальные компоненты. При этом, у бесчелюстных рыб отсутствует классический процесс соматической рекомбинации, который необходим для создания в В-клетках множества функционально разнообразных рецепторов на основе Ig, характерный для высших позвоночных. Группа Панцера с соавторами провела исследования, посвященные поиску признаков адаптивного иммунитета у миноги, в результате которых рекомбинаторные антигенные рецепторы, присутствующие у всех челюстных позвоночных, выявлены не были. В то же время, был обнаружен новый тип варибельных лимфоцитарных рецепторов, состоящих из самых разнообразных, богатых лейцином повторов, причем блоки этих повторов участвуют в формировании области "разнообразия" рецепторных молекул [10]. При встрече с антигеном, таким об-

разом, нарастает пролиферация гемопоэтических лимфоидных клеток и происходит увеличение количества переменных лимфоцитарных рецепторов для распознавания спектра различных антигенов.

У взрослой миноги экспрессия генов переменных лимфоцитарных рецепторов была обнаружена в тифлозоле, опистонефросе, надневральной теле и крови, тогда как у личинок или эмбрионов миноги его экспрессия фиксируется в глоточные области, особенно в ротовых щупальцах и жаберных нитях. Авторы исследования обращают внимание на то, что отсутствие у челюстных позвоночных генов переменных лимфоцитарных рецепторов согласуется с независимой эволюцией рецепторов на основе богатых лейцином повторов у бесчелюстных и рецепторов на основе иммуноглобулинов у челюстных позвоночных [11].

Иммунитет костных рыб

В зависимости от клеточной организации и физиологических особенностей, у разных групп рыб иммунная система развивается по-разному, но все рыбы обладают врожденным иммунитетом, обеспечивающим выживание и адаптацию к неблагоприятным условиям в воде.

Основными лимфоидными органами у костистых рыб являются тимус, селезенка и почка (пронефрос и мезонефрос),

как своеобразный аналог костного мозга у млекопитающих [12]. Последовательность их развития у пресноводных и морских видов различна [13, 14]. Но в обоих случаях тимус является центральным органом иммунной системы, контролирующим ее формирование и функциональную активность.

Адаптивный иммунитет у челюстных позвоночных сформировался на основе белковых молекул, относящихся к суперсемейству иммуноглобулинов, а именно: белков МНС, TCR и иммуноглобулинов (Ig).

Почка

У костистых рыб почки выполняют не только выделительную функцию, но и функцию гемопоэза, являясь крупнейшим органом кроветворения [15]. Головная почка - пронефрос - это основное место развития и дифференцировки гемопоэтических стволовых клеток (ГСК), дающих начало В-лимфоцитам [14].

У рыбок данио-рерио хорошо развитая почка может быть обнаружена через 72 часа после оплодотворения, но гемопоэтические клетки появляются через 96 часов от начала эмбриогенеза [18], однако период появления гематопоэтических клеток у разных рыб может отличаться (табл. 1).

Таблица 1 – Гистогенез иммунных органов рыб. Почка

Вид	Определяется лимфоидный орган	Определяется гематопоэтическая клетка	Определяются лимфоциты	Ссылка
Данио рерио (<i>Danio rerio</i>)	72 часа от начала эмбриогенеза	>96 часов от начала эмбриогенеза	на 3-й неделе эмбриогенеза	[18]
Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<8 дней до начала личиночной стадии	за 5 дней до начала личиночной стадии	на 5-й день личиночной стадии	[19]
Морской лещ (<i>Sebastiscus marmoratus</i>)	на первые сутки личиночной стадии	на 5-й день личиночной стадии	на 54-й день личиночной стадии	[20]
Канальный сом (<i>Ictalurus punctatus</i>)	время неизвестно	<3 дней личиночной стадии	<7 дней личиночной стадии	[21]
Карп обыкновенный (<i>Cyprinus carpio</i>)	на первые сутки личиночной стадии	время неизвестно	на 6-й день личиночной стадии	[22]

Иммунные клетки присутствуют по всей почке, но самая высокая концентрация развивающихся В-лимфоидных клеток наблюдается именно в пронефросе [11]. Кроме того, пронефрос у рыб, в отличие от высших позвоночных, является основным органом для фагоцитоза, образования IgM и иммунной памяти через меланомакрофагальные центры [12], служит важным эндокринным органом, гомологичным надпочечникам млекопитающих, и выделяет кортикостероиды и другие гормоны.

Особый интерес представляет вопрос миграции предшественников лимфоцитов в тимус [16,17]. В настоящее время, известно, что тимус и пронефрос взаимодействуют посредством «клеточного моста», сформированного мигрирующими клетками, обнаруженного у многих видов рыб. Путем постепенной дифференцировки незрелые клетки-предшественники образуют тяжи – окруженную кровеносными сосудами агрегированную форму более дифференцированных гематопозитических стволовых клеток. Эти синусоидальные кровеносные сосуды выстланы

фибробластическими ретикулярными клетками. Дальнейшее развитие от пронефроса к мезонефросу синхронизировано с образованием эритробластов, миелобластов и лимфобластов.

Тимус

Тимус – центральный орган иммуногенеза, который встречается у всех позвоночных, включая хрящевых и костных рыб, за исключением примитивных позвоночных миног и миксин. Лимфоциты являются основным типом клеток, обнаруживаемых в тимусе костистых рыб, что объединяет этот иммунный орган у рыб с тимусом млекопитающих [17]. Тимус у рыб локализован в области глотки рядом с жаберной дугой и выстлан слизистой тканью глоточного эпителия [23]. Он является первым лимфоидным органом, куда из почек через коллагеновые волокна глоточной перегородки мигрируют недифференцированные клетки на ранних стадиях эмбриогенеза [14]. У рыбок данио-рерио тимус появляется в виде первичного отростка глоточного эпителия уже через 54 часа после оплодотворения [18] (табл. 2).

Таблица 2 – Гистогенез иммунных органов рыб. Тимус

Вид	Определяется лимфоидный орган	Определяется гематопозитическая клетка	Определяются лимфоциты	Ссылка
Данио рерио (<i>Danio rerio</i>)	54 часа от начала эмбриогенеза	65 часов от начала эмбриогенеза	72 часа от начала эмбриогенеза	[18]
Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	за 5 дней до начала личиночной стадии	на первые сутки личиночной стадии	на 3-й день личиночной стадии	[19]
Морской лещ (<i>Sebastiscus marmoratus</i>)	22-29-й день личиночной стадии	29-47-й день личиночной стадии	47-й день личиночной стадии	[20]
Канальный сом (<i>Ictalurus punctatus</i>)	время неизвестно	время неизвестно	5-й день личиночной стадии	[21]
Карп обыкновенный (<i>Cyprinus carpio</i>)	72 часа от начала эмбриогенеза	время неизвестно	4-й день от начала эмбриогенеза	[22]

Инволюция тимуса у рыб в большей степени зависит от гормональных циклов и сезонных колебаний, чем от возраста [17]. Гены, активирующие рекомбинацию (rag), которые отвечают за перестройку гена иммуноглобулина и генов рецептора

Т-клеток в незрелых В- и Т-лимфоцитах, соответственно, часто используются для гистологической локализации тимуса в раннем развитии. У данио рерио экспрессия гена rag1 впервые наблюдается через 92 часа после оплодотворения. Ген *ikaros*,

отвечающий за дифференцировку лимфоцитов, экспрессируется в тимусе через 72 часа от начала эмбриогенеза [24].

В тимусе реализуются механизмы отрицательной селекции Т-лимфоцитов, распознающих продукты МНС в комплексе с аутоантигенами. Основным классом антител у всех рыб являются IgM, определенное значение у костных рыб имеют IgD, а у отдельных видов – и IgT [12, 25].

Селезенка

У костистых животных селезенка функционирует как основной вторичный иммунный орган, играет важную роль в выведении переносимых кровью антигенов и иммунных комплексов в эллипсоидах селезенки, а также в презентации антигена и инициации адаптивного иммунного ответа [26]. Размер селезенки у рыб широко используется в качестве простого измеряемого иммунного параметра, кото-

рый может играть важную роль в иммунном ответе на паразитарные инфекции [27]. Селезенка является третьим важным кроветворным органом, который образуется из совокупности мезенхимных клеток, окруженных кровеносными капиллярами. Экспрессия транскрипционного фактора *Nox11*, который способствует выживанию клеток-предшественников селезенки, указывает на то, что зачаток селезенки появляется в течение 5 дней в левой передней части кишечника данио рерио [28], тогда как у радужной форели он обнаруживается на 3 день личиночной стадии (табл. 3). Эллипсоиды, которые участвуют в фильтрации плазмы и улавливании переносимых кровью антигенов, появляются у рыбок данио-рерио через 3 месяца после вылупления. Эти клеточные комплексы имеют узкий просвет, который проходит через ретикулярные клетки и макрофаги.

Таблица 3 – Гистогенез иммунных органов рыб. Селезенка

Вид	определяется лимфоидный орган	определяется гематopoэтическая клетка	определяются лимфоциты	ссылка
Данио рерио (<i>Danio rerio</i>)	4-5 й день от начала эмбриогенеза	30-й день от начала эмбриогенеза	время неизвестно	[18, 28]
Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	3-й день личиночной стадии	время неизвестно	6-й день личиночной стадии	[19]
Морской лещ (<i>Sebastiscus marmoratus</i>)	12-й день личиночной стадии	время неизвестно	54-й день личиночной стадии	[20]
Канальный сом (<i>Ictalurus punctatus</i>)	время неизвестно	время неизвестно	5-й день личиночной стадии	[21]
Карп обыкновенный (<i>Cyprinus carpio</i>)	5-й день от начала эмбриогенеза	время неизвестно	8-й день от начала эмбриогенеза	[22]

Появление Ig+ клеток

Хотя у рыб нет четкой схемы развития Ig+-клеток, однако, зрелые В-лимфоциты у пресноводных рыб обнаруживаются раньше, чем у морских. У атлантического палтуса (*Hippoglossus hippoglossus* L.) для появления первых Ig-позитивных клеток в почке требуется время до 66 дней от начала личиночной стадии (таблица 4) [29]. При этом, головная почка, по-видимому, является основным органом

для созревания В-клеток и выработки IgM, за исключением рыбок данио, где поджелудочная железа впервые обнаруживает Ig+ [30]. К 10 дню от начала эмбриогенеза транскрипты иммуноглобулина могут быть выявлены в поджелудочной железе данио рерио, а затем – к 19 дню после оплодотворения – в почках. У радужной форели цитоплазматический Ig может быть обнаружен за 12 суток до вылупления, а за 8 суток до начала личи-

ночного развития выявляется поверхностный Ig [25]. В почках карпа поверхностный Ig (sIg) обнаруживается раньше, т.е. на 2 сутки от начала эмбриогенеза, чем цитоплазматические клетки, экспрессирующие иммуноглобулин (Ig + клетки), которые можно дифференцировать к 4 дню

эмбрионального развития. Исследования показывают, что появление лимфоцитов, экспрессирующих иммуноглобулин и развитие иммунокомпетентности могут изменяться во времени из-за влияния температуры и других внешних факторов [24].

Таблица 4 – Онтогенез Ig-продуцирующих клеток рыб

Вид	Определяются Ig-продуцирующие клетки	Иммунный орган	Ссылка
Атлантический палтус (<i>Hippoglossus hippoglossus</i>)	На 66 день личиночной стадии	все отделы почки	[29]
Данио рерио (<i>Danio rerio</i>)	7-й день от начала эмбриогенеза	единичные клетки во всех тканях организма рыбы	[30]
	10-й день от начала эмбриогенеза	поджелудочная железа	
Карп обыкновенный (<i>Cyprinus carpio</i>)	2-й день от начала эмбриогенеза	пронефрос	[24]
Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Ig в цитоплазме клеток за 12 дней до личиночной стадии	пронефрос	[25]
	Ig на поверхности клеток за 8 дней до личиночной стадии	пронефрос	

Следует учитывать, что, в отличие от теплокровных позвоночных у рыб физиология и развитие иммунной системы в значительной степени зависят от параметров окружающей среды. Иммунитет рыб, хотя и схож с другими высшими организмами, имеет различия, обусловленные их естественной средой обитания.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Иммунная система рыб прошла сложный путь эволюции, отражающий переход от примитивных защитных механизмов к более сложным формам адаптивного иммунитета.

К основным эволюционным изменениям, которые наблюдаются в иммунной системе от бесчелюстных до костистых рыб относится прежде всего появление адаптивного иммунитета. Так, у бесчелюстных адаптивный иммунитет основан на системе лейцин-богатых рецепторов, которая функционирует иначе, чем антигена у костистых рыб. У костистых рыб

появляются настоящие иммуноглобулины (IgM, IgD) и МНС-комплекс, что делает их иммунный ответ более специфичным. У костистых рыб впервые появляются тимус и селезенка – ключевые лимфоидные органы для дифференцировки лимфоцитов, что повышает избирательность иммунного ответа на внешние воздействия.

Дупликация генома у костистых рыб заложила основу для усложнения генетического контроля иммунных реакций, в частности, привела к появлению новых иммунных генов. Развитие системы комплемента и разнообразие интерферонов у костистых рыб обеспечило им усиление механизмов устойчивости к вирусам и бактериям.

Изучение особенностей иммунной системы рыб от бесчелюстных до костистых позволяет понять, как формировалась иммунная защита у всех позвоночных.

ABOUT THE PECULIARITIES OF THE ORGANIZATION OF THE IMMUNE SYSTEM OF JAWLESS AND JAWLESS FISH

Kiseleva M.N.¹ graduate student (ORCID 0009-0006-1690-513X); **Mitryushkina D.K.**¹ graduate student (ORCID 0009-0003-4986-9583); **Lukina Yu.N.**^{1,2} - Doctor of Biological Sciences, Institute Director (ORCID 0000-0002-0429-3600); **Apalikova O.V.**¹ - Candidate of Biological Sciences, Head of the Genetics Lab (ORCID 0000-0002-1188-2446).

¹ St. Petersburg branch of the State Scientific Center of the Russian Federation FGBNU "VNIRO"

² Institute of Water Problems of the North KarRC RAS

*apalikova@niorh.vniro.ru

ABSTRACT

The immune system of fish, as the first vertebrates to possess all the main components of adaptive immunity, is of considerable interest for comparative immunology. In fish, as in other vertebrates, the immune system provides protection against a variety of pathogens; however, due to the peculiarities of their habitat, they have distinctive immune response properties. The organization of the immune system of fish is an important stage in the evolution of higher vertebrates, thus reflecting the idea of the formation of immunity in higher vertebrates. The review systematizes current data on the evolution, structure, and functioning of immunity in jawless and jawless fish. The aim of the work was to analyze and discuss existing knowledge about the role of various organs and individual genes involved in the defense mechanism of jawless and jawless fish, based on which it is possible to form an idea of evolutionary changes in the immune system of fish. Fish immunity is a complex system that depends on many factors, such as environmental conditions and genetics. Knowledge of the mechanisms of fish immune defense is fundamental to understanding the evolution of the vertebrate immune system and is the basis for developing effective

strategies in aquaculture, for example, to create vaccines and immune stimulants. A comparative analysis of modern literature data was carried out, in which studies reflecting the characteristics of the immune response in fish were carefully selected. The results of the generalization are necessary for further study of the resistance of aquaculture facilities to various pathogens in order to grow commercial fish safe for humans.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Williams, M.J. 2007. Drosophila hemopoiesis and cellular immunity / Williams M.J. // J. Immunol. V.178 (8). P.4711. DOI: 10.4049/jimmunol.178.8.4711.
2. Sahoo, S. 2021. Immune system of fish: an evolutionary perspective / S. Sahoo, H. Banu, A. Prakash, G. Tripathi // Antimicrobial immune response. DOI:10.5772/intechopen.99541 Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/78026>.
3. Bowden, T.J. 2008. Modulation of the immune system of fish by their environment / T.J. Bowden // Fish and Shellfish Immunology. V. 25(4). P.373-383. DOI:10.1016/j.fsi.2008.03.017
4. Cooper, M. 2006. The Evolution of Adaptive Immune Systems / M. Cooper, M. Alder // Cell. V.124. P.815-22. DOI: 10.1016/j.cell.2006.02.001
5. Yang X.U. 2016. Lamprey: a model for vertebrate evolutionary research / X.U. Yang, Z.H.U. Si-Wei, L.I. Qing-Wei // Zoological research. V. 37(5), P.263. DOI: 10.13918/j.issn.2095-8137.2016.5.263
6. Parisi, M.G. 2020. Cnidarian Immunity and the Repertoire of Defense Mechanisms in Anthozoans / M.G. Parisi, D. Parrinello, L. Stabili, M. Cammarata // Biology (Basel). V.9 (9). P.283. DOI: 10.3390/biology9090283.
7. Sun, J. 2010. Molecular cloning, expression and antioxidant activity of a peroxiredoxin 2 homologue from *Lampetra japonica* / J. Sun, X. Liu, Q. Li. // Fish and shellfish immunology. V. 28, pp. 795-801. DOI:10.1016/j.fsi.2010.01.018
8. Uzzell, T. 2003. Hagfish intestinal antimicrobial peptides are ancient cathelicidins / T. Uzzell, E.D. Stolzenberg, A.E. Shinnar, M.

- Zasloff // Peptides. V. 24(11), P.1655-1667. DOI:10.1016/j.peptides.2003.08.024
9. Matsushita M. 2018. The complement system of agnathans / M. Matsushita // Frontiers in immunology. V. 9, P.1405. DOI: 10.3389/fimmu.2018.01405
10. Pancer, Z. 2004. Somatic diversification of variable lymphocyte receptors in the agnathan sea lamprey / Z. Pancer, C.T. Amemiya, G.R. Ehrhardt, J. Ceitlin, G.L. Gartland, M.D. Cooper // Nature. V. 430(6996). P.174-180. DOI: 10.1038/nature02740
11. Velikovskiy, C. A. 2009. Structure of a lamprey variable lymphocyte receptor in complex with a protein antigen / C. A. Velikovskiy, L. Deng, S. Tasumi // Nature Structural Molecular Biology. V. 16 (7). P.725-730. DOI:10.1038/nsmb.1619
12. Uribe, C. 2011. Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review / C. Uribe, H. Folch, R. Enriquez, G. Moran // Vet. Med. V. 56. № 10. P. 486–503.
13. Koumans, D. 1994. Immunocytochemical and flow cytometric analysis of B cells and plasma cells in carp (*Cyprinus carpio* L.); an ontogenetic study / J.C.E. D. Koumans, J.J. Taverne-Thiele, B.T.T.M. van Rens, J.H.W.M. Rombout // Fish and Shellfish Immunology. V.4. P.19-28.
14. Padros, F. 1996. Ontogeny of the lymphoid organs in the turbot *Scophthalmus maximus*: a light and electron microscope study / F. Padros, S. Crespo // Aquaculture. V.144. P. 1-16. DOI: 10.1023/A:1014052611305
15. Meseguer, J. 1995. Reticulo-endothelial stroma of the head-kidney from the seawater teleost gilthead seabream (*Sparus aurata* L.): an ultrastructural and cytochemical study / J. Meseguer, A. Lopez-Ruiz, A. Garcia-Ayala // Anatomical Record. V. 241. P. 303-309. DOI: 10.1002/ar.1092410303
16. Bromage, E. S. 2004. Plasmablast and plasma cell production and distribution in trout immune tissues / E. S. Bromage, I. M. Kaattari, P. Zwollo and S. L. Kaattari // Journal of Immunology. V. 173. P.7317-7323. DOI: 10.4049/jimmunol.173.12.7317
17. Rauta, P.R. 2012. Immune system and immune responses in fish and their role in comparative immunity study: a model for higher organisms / P.R. Rauta, B. Nayak and S. Das. // Immunology Letters. V. 148(1). P. 23-33. DOI: 10.1016/j.imlet.2012.08.003
18. Mary, F. 1980. Histogenesis of the lymphoid organs in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Rich. 1836 / F. Mary, M. Grace and J. Manning // Developmental & Comparative Immunology. V. 4. P. 255-264. DOI: 10.1016/S0145-305X(80)80029-2
19. Snorri, J. 1993. Histogenesis of the lymphoid organs in sea bream (*Sparus aurata* L.) / J. Snorri and F. T. Mary // Fish and Shellfish Immunology. V. 3 (1). P. 35-49. DOI: org/10.1006/fsim.1993.1004
20. Petrie-Hanson, L. 2001. Ontogeny of channel catfish lymphoid organs / L. Petrie-Hanson, A. J. Ainsworth // Veterinary Immunology and Immunopathology. V. 81(1-2). P.113-127. DOI: 10.1016/s0165-2427(01)00331-2
21. Botham, J.W. 1981. The histogenesis of the lymphoid organs in the carp *Cyprinus carpio* L. and the ontogenetic development of allograft reactivity / J.W. Botham and M.J. Manning // Journal of Fish Biology. V. 19. P. 403-414. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1981.tb05844.x
22. Danilova, N. 2002. B cells develop in the zebrafish pancreas / N. Danilova, L. Steiner // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. V. 99. P. 13711-6. DOI: 10.1073/pnas.212515999
23. Bowden, T. J. 2005. Development and function of the thymus in teleosts / T. J. Bowden, P. Cook, J. H. M. W. Rombout // Fish and Shellfish Immunology. V.19, P.413-27. DOI: 10.1016/j.fsi.2005.02.003
24. Klosterhoff, M. 2015. Ontogenic development of kidney, thymus and spleen and phenotypic expression of CD3 and CD4 receptors on the lymphocytes of cobia (*Rachycentron canadum*) / M. Klosterhoff, J. J. Pereira, R. Rodrigues, L. Sampaio, M. Tesser, L. Romano // Anais da Academia Brasileira de Ciências. V. 87(4). P. 2111-2121. DOI: 10.1590/0001-3765201520140623
25. Flajnik, M.F. 2010. Origin and evolution of the adaptive immune system: genetic events and selective pressures / M.F. Flajnik,

- M. Kasahara // Nat Rev Genet. Jan. V.11 (1). P.47-59. DOI: 10.1038/nrg2703.
 26. Langenau, D. 2002. Molecular cloning and developmental expression of Tlx (Hox11) genes in zebrafish (*Danio rerio*) / D. Langenau, T. Palomero, J. Kanki, A. Ferrando, Zhou, Y., Zon, L. and Look, A. // Mechanisms of Development. V. 117(1-2). P. 243-248.
 27. Patel, S. 2009. Ontogeny of lymphoid organs and development of IgM-bearing cells in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) / S. Patel, E. Sorhus, I. U. Fiksdal, P. G. Espedal, O. Bergh, O. M. Rodseth, H. C. Morton and A. H. Nerland // Fish and Shellfish Immunology. V. 26. P. 385-395. DOI: 10.1016/j.fsi.2008.11.018
 28. Willett, C.E. 2001. Ikaros expression as a marker for lymphoid progenitors during zebrafish development / C.E. Willett, H. Kawasaki, C.T. Amemiya, S. Lin and L.A. Steiner // Developmental Dynamics. V. 222. P. 694-698. DOI: 1002/dvdy.1223
 29. Jyefsson, S. 1993. Histogenesis of the lymphoid organs in sea bream (*Sparus aurata* L.) / S. Jyefsson, M. F. Tatner // Fish and Shellfish Immunology. V.3. P. 35– 49. DOI: 10.14670/HH-13.37
 30. Yu, Y. 2020. Immunoglobulins, Mucosal Immunity and Vaccination in Teleost Fish / Y. Yu, Q. Wang, Z. Huang, L. Ding and Z. Xu // Frontiers in Immunology. V. 11. P. 1-14. DOI: 10.3389/fimmu.2020.567941
- REFERENCES**
1. Williams, M.J. 2007. Drosophila hemopoiesis and cellular immunity / Williams M.J. // J. Immunol. V.178 (8). P.4711. DOI: 10.4049/jimmunol.178.8.4711.
 2. Sahoo, S. 2021. Immune system of fish: an evolutionary perspective / S. Sahoo, H. Banu, A. Prakash, G. Tripathi // Antimicrobial immune response. DOI:10.5772/intechopen.99541 Access mode: <https://www.intechopen.com/chapters/78026>.
 3. Bowden, T.J. 2008. Modulation of the immune system of fish by their environment / T.J. Bowden // Fish and Shellfish Immunology. V. 25(4). P.373-383. DOI:10.1016/j.fsi.2008.03.017
 4. Cooper, M. 2006. The Evolution of Adaptive Immune Systems / M. Cooper, M. Alder // Cell. V.124. P.815-22. DOI: 10.1016/j.cell.2006.02.001
 5. Yang X.U. 2016. Lamprey: a model for vertebrate evolutionary research / X.U. Yang, Z.H.U. Si-Wei, L.I. Qing-Wei // Zoological research. V. 37(5), P.263. DOI: 10.13918/j.issn.2095-8137.2016.5.263
 6. Parisi, M. G. 2020. Cnidarian Immunity and the Repertoire of Defense Mechanisms in Anthozoans / M.G. Parisi, D. Parrinello, L. Stabili, M. Cammarata // Biology (Basel). V.9 (9). P.283. DOI: 10.3390/biology9090283.
 7. Sun, J. 2010. Molecular cloning, expression and antioxidant activity of a peroxiredoxin 2 homologue from *Lampetra japonica* / J. Sun, X. Liu, Q. Li. // Fish and shellfish immunology. V. 28, pp. 795-801. DOI:10.1016/j.fsi.2010.01.018
 8. Uzzell, T. 2003. Hagfish intestinal antimicrobial peptides are ancient cathelicidins / T. Uzzell, E.D. Stolzenberg, A.E. Shinnar, M. Zasloff // Peptides. V. 24(11), P.1655-1667. DOI:10.1016/j.peptides.2003.08.024
 9. Matsushita M. 2018. The complement system of agnathans / M. Matsushita // Frontiers in immunology. V.9, P.1405. DOI: 10.3389/fimmu.2018.01405
 10. Pancer, Z. 2004. Somatic diversification of variable lymphocyte receptors in the agnathan sea lamprey / Z. Pancer, C.T. Amemiya, G.R. Ehrhardt, J. Ceitlin, G.L. Gartland, M.D. Cooper//Nature. V. 430(6996). P.174-180. DOI: 10.1038/nature02740
 11. Velikovsky, S. A. 2009. Structure of a lamprey variable lymphocyte receptor in complex with a protein antigen / S. A. Velikovsky, L. Deng, S. Tasumi // Nature Structural Molecular Biology. V. 16 (7). P.725-730. DOI:10.1038/nsmb.1619
 12. Uribe, C. 2011. Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review / C. Uribe, H. Folch, R. Enriquez, G. Moran // Vet. Med. V. 56. No. 10. P. 486–503.
 13. Koumans, D. 1994. Immunocytochemical and flow cytometric analysis of B cells and plasma cells in carp (*Cyprinus carpio* L.); an ontogenetic study / J.C.E. D. Koumans, J.J. Taverne-Thiele, B.T.T.M. van Rens, J.H.W.M. Rombout // Fish and Shell-

- fish Immunology. V.4. P.19-28.
14. Padros, F. 1996. Ontogeny of the lymphoid organs in the turbot *Scophthalmus maximus*: a light and electron microscope study / F. Padros, S. Crespo // *Aquaculture*. V.144. P. 1-16. DOI: 10.1023/A:1014052611305
15. Meseguer, J. 1995. Reticulo-endothelial stroma of the head-kidney from the seawater teleost gilthead seabream (*Sparus aurata* L.): an ultrastructural and cytochemical study / J. Meseguer, A. Lopez-Ruiz, A. Garcia-Ayala // *Anatomical Record*. V. 241. P. 303-309. DOI: 10.1002/ar.1092410303
16. Bromage, E. S. 2004. Plasmablast and plasma cell production and distribution in trout immune tissues / E. S. Bromage, I. M. Kaattari, P. Zwollo and S. L. Kaattari // *Journal of Immunology*. V. 173. P.7317-7323. DOI: 10.4049/jimmunol.173.12.7317
17. Rauta, P.R. 2012. Immune system and immune responses in fish and their role in comparative immunity study: a model for higher organisms / P.R. Rauta, B. Nayak and S. Das. // *Immunology Letters*. V. 148(1). P. 23-33. DOI: 10.1016/j.imlet.2012.08.003
18. Mary, F. 1980. Histogenesis of the lymphoid organs in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Rich. 1836 / F. Mary, M. Grace and J. Manning // *Developmental & Comparative Immunology*. V. 4. P. 255-264.
19. Snorri, J. 1993. Histogenesis of the lymphoid organs in sea breath (*Sparus aurata* L.) / J. Snorri and F. T. Mary // *Fish and Shellfish Immunology*. V. 3 (1). P. 35-49. DOI: org/10.1006/fsim.1993.1004
20. Petrie-Hanson, L. 2001. Ontogeny of channel catfish lymphoid organs / L. Petrie-Hanson, A. J. Ainsworth // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. V. 81(1-2). P.113-127.
21. Botham, J.W. 1981. The histogenesis of the lymphoid organs in the carp *Cyprinus carpio* L. and the ontogenetic development of allograft reactivity / J.W. Botham and M.J. Manning // *Journal of Fish Biology*. V. 19. P. 403-414. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1981.tb05844.x
22. Danilova, N. 2002. B cells develop in the zebrafish pancreas / N. Danilova, L. Steiner // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. V. 99. P. 13711-6.
23. Bowden, T. J. 2005. Development and function of the thymus in teleosts / T. J. Bowden, P. Cook, J. H. M. W. Rombout // *Fish and Shellfish Immunology*. V.19, P.413-27. DOI: 10.1016/j.fsi.2005.02
24. Klosterhoff, M. 2015. Ontogenic development of kidney, thymus and spleen and phenotypic expression of CD3 and CD4 receptors on the lymphocytes of cobia (*Rachycentron canadum*) / M. Klosterhoff, J. J. Pereira, R. Rodrigues, L. Sampaio, M. Tesser, L. Romano // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. V. 87(4). P. 2111-2121.
25. Flajnik, M.F. 2010. Origin and evolution of the adaptive immune system: genetic events and selective pressures / M.F. Flajnik, M. Kasahara // *Nat Rev Genet*. Jan. V.11 (1). P.47-59. DOI: 10.1038/nrg2703.
26. Langenau, D. 2002. Molecular cloning and developmental expression of *Tlx* (*Hox11*) genes in zebrafish (*Danio rerio*) / D. Langenau, T. Palomero, J. Kanki, A. Ferrando, Zhou, Y., Zon, L. and Look, A. // *Mechanisms of Development*. V. 117(1-2). P. 243-248.
27. Patel, S. 2009. Ontogeny of lymphoid organs and development of IgM-bearing cells in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) / S. Patel, E. Sorhus, I. U. Fiksdal, P. G. Espedal, O. Bergh, O. M. Rodseth, H. C. Morton and A. H. Nerland // *Fish and Shellfish Immunology*. V. 26. P. 385-395. DOI: 10.1016/j.fsi.2008.11.018
28. Willett, C.E. 2001. Ikaros expression as a marker for lymphoid progenitors during zebrafish development / C.E. Willett, H. Kawasaki, C.T. Amemiya, S. Lin and L.A. Steiner // *Developmental Dynamics*. V. 222. P. 694-698. DOI: 1002/dvdy.1223
29. Jusefsson, S. 1993. Histogenesis of the lymphoid organs in sea breath (*Sparus aurata* L.) / S. Jusefsson, M. F. Tatner // *Fish and Shellfish Immunology*. V.3. P. 35- 49. DOI: 10.14670/HH-13.37
30. Yu, Y. 2020. Immunoglobulins, Mucosal Immunity and Vaccination in Teleost Fish / Y. Yu, Q. Wang, Z. Huang, L. Ding and Z. Xu // *Frontiers in Immunology*. V. 11. P. 1-14.

УДК: 619:636:294

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.302

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАЦЕНТЫ КОБЫЛ НА ПОСЛЕДНИХ СРОКАХ БЕРЕМЕННОСТИ МЕТОДОМ ГИСТОМОРФОМЕТРИИ

Федоров В. И.¹-д-р биол.н., доц. каф.внутренних незаразных болезней, фармакологии и акушерства им. проф. Г.П. Сердцева; **Авдеенко В.С.**²- д-р ветеринар. н., проф. каф. генетические и репродуктивные биотехнологии Нифонтов К. Р.¹- к. ветеринар. наук, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, фармакологии и акушерства им. проф. Г.П. Сердцева; **Доматов В. В.**¹- аспирант кафедры внутренних незаразных болезней, фармакологии и акушерства имени профессора Г.П. Сердцева; **Лукаевский А.Ж.**¹- студ.5 курса факультета ветеринарной медицины; **Сафронов Д. И.**² – к.ветеринар. н., доц.каф. биологии, экологии и гистологии

¹- ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»

²- ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*avdeenko0106@mail.ru

Ключевые слова: топология плаценты, гистоархиморфометрия, анализ изображений, анализ главных компонент, триангуляция клеточных плацентарных структур

Keywords: placental topology, histoarchimorphometry, image analysis, principal component analysis, triangulation of cellular placental structures.

Финансирование: Материалы подготовлены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2026 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (соглашение № 25-16-20118).

Поступила: 25.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Гистоморфометрическое исследование плаценты кобыл на заключительных сроках беременности выявило статистически значимые различия в морфометрических параметрах при физиологическом и патологическом течении беременности. Были определены площадь хориоаллантаоиса (см²), толщина хориона и ллантоамниона (мм), плотность ворсинок на единицу площади (ворсинок/см²) и на единицу поверхности хориона, а также диаметр и количество сосудов в аллантаоамнионе на площади 100 см². Анализ показал, что плацентарная недостаточность, проявляющаяся в виде преждевременных родов, плацентита и задержки последа, связана с дезорганизацией клеточных структур, характеризующейся их разреженным расположением в виде небольших, удаленных друг от друга скоплений. Напротив, у ко-

был с физиологической беременностью наблюдается образование более плотных и когерентных скоплений клеток. Гистоморфометрия клеточных структур плодной части плаценты, в частности, топологические метрики сети, выступает в качестве основного различающего фактора, позволяющего количественно оценить специфические особенности плаценты кобыл в условиях патологических состояний. Распределение ворсинок хориоаллантоиса по всей поверхности плаценты и отсутствие плотных контактов с железистым эпителием матки образуют микрокотиледоны, что определяет классификацию плаценты кобыл как диффузной микрокотиледонозной эпителиохориальной. Наблюдается выраженная васкуляризация всех компонентов плаценты, включая амниотическую оболочку, створчатые и концевые ворсинки хориоаллантоиса. Стромальная часть плаценты, представленная амниотической оболочкой и ворсинками хориоаллантоиса, состоит в основном из коллагеновых волокон. Наличие длинных стержневых ворсинок в определенных областях плаценты (дистальная часть, середина контралатерального рога, линия разделения рогов, середина главного рога) коррелирует с их пространственным расположением в матке, обеспечивая оптимальный контакт с маточными железами для эффективного газообмена и питательной поддержки плода.

ВВЕДЕНИЕ/ INTRODUCTION

Плацента играет ключевую роль в обеспечении жизнедеятельности плода, выполняя функции питания и снабжения. Она обеспечивает плод необходимыми питательными веществами и кислородом через метаболические процессы, а также удаляет продукты обмена [1-3]. При этом плацента служит барьером, оберегающим плод от вредных внутренних и внешних воздействий. С развитием беременности происходят динамичные структурные изменения и особенности плаценты формирования у лошади связанные с внутриутробным развитием плода [4,5]. Основными структурными единицами, обеспечивающими взаимодействие между матерью и плодом у лошадей, является диффузное расположение ворсин хориоаллантоиса, которые глубоко проникают в складки эндометрия [6, 7]. Эпителиохориальный тип этого контакта сохраняется на протяжении всей беременности. Однако, информация о процессах, происходящих в плаценте на поздних сроках беременности и во время родов, крайне ограничена в научной литературе. Исследования показывают, что нарушения в структуре и функционировании плаценты могут негативно сказаться на развитии плода, его росте и массе тела при рождении. Существует гипотеза, что у кобыл, в отличие от дру-

гих видов животных, в плаценте происходит усиление фиброзных процессов и снижение микроциркуляции. Это может приводить к рождению жеребят с пониженной массой тела, что ставит под угрозу их выживаемость. Для определения адекватности функционирования плаценты используется [8,9] динамическая оценка клеточных перестроек (эпителиально-мезенхимальный переход) и метаболических путей в системе "мать-плацента-плод" с определением темпов клеточного деления в плаценте на разных этапах внутриутробного развития. Неспособность кобыл своевременно отделить и вывести плодные оболочки после рождения жеребенка (задержание последа) является опасным для жизни состоянием [10, 11]. Частота этого осложнения варьируется: от 10% у легкоупряжных лошадей и пони до 35-54% у тяжеловозных пород [12].

У тяжеловозных лошадей задержание последа часто связано с образованием спаек между аллантохорионом и эндометрием. Эти спайки обусловлены избыточным развитием соединительной ткани (фиброзом) и менее разветвленной структурой аллантохориальных ворсинок. В норме кобылы должны изгнать плодные оболочки в течение 30 минут после рождения жеребенка [13]. Однако, диагностика задержания последа обычно прово-

дится при отсутствии их отделения в течение 3-12 часов после родов. Хотя точные молекулярные механизмы не установлены, плотный электронный характер материала, обнаруживаемого между эпителием матери и плода, указывает на наличие адгезивного контакта между ними. Этот адгезивный контакт, вероятно, играет роль в поддержании тесной связи между материнским организмом и развивающимся плодом, обеспечивая эффективный обмен веществами и кислородом. Однако, как уже упоминалось, детальное понимание динамики этого взаимодействия на поздних стадиях беременности и в процессе родов остается пробелом в знаниях [14].

Дальнейшие исследования, направленные на изучение молекулярных механизмов, лежащих в основе фиброза и снижения микроциркуляции в плаценте лошадей, могут пролить свет на причины рождения жеребят с низкой массой тела и предложить пути для улучшения их выживаемости [15, 16]. Особое внимание следует уделить изучению роли иммуномодулирующих свойств клеток и метаболических процессов в системе "мать-плацента-плод" на различных этапах гестации. Кроме того, углубленное изучение причин и механизмов задержания последа у табунных лошадей, включая роль фиброза и особенностей строения аллантохориальных ворсинок, может способствовать разработке более эффективных методов профилактики и лечения этого жизне угрожающего состояния. Понимание природы адгезивного контакта между материнским и плодным эпителием также может быть ключом к решению проблемы задержания последа. В целом, несмотря на имеющиеся знания о плаценте лошадей, существует значительный потенциал для дальнейших исследований, которые могут привести к улучшению здоровья и благополучия как новорожденных жеребят, так и самих кобыл.

Целью работы является проведение сравнительного морфологического анализа плаценты кобыл на последних сро-

ках беременности методом гистоморфометрии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В протокол исследования 2025 году входили образцы плаценты, полученные от кобыл, содержащихся в табунах на территории Якутии. Исследования проводились на поздних стадиях беременности. Изучены образцы от одной кобылы в возрасте 6 лет, беременность которой протекала без осложнений, роды были в срок, а масса новорожденного жеребенка составила 34,6 кг, а также двух кобыл в возрасте 6 и 7 лет, у которых наблюдались преждевременные роды, осложненные плацентитом и задержкой отделения плодных оболочек. Методы измерения и анализа - для определения массы плодных оболочек использовалась высокоточная весовая техника с погрешностью 0,1 грамма. Площадь фетальной поверхности плаценты была рассчитана с помощью планиметрии: на миллиметровой бумаге подсчитывалось число квадратов, полностью занимающих эту область. Длина пуповины измерялась с помощью мерной ленты, начиная от ее соединения с плацентой и до места обрыва. Плотность ворсин хориона определялась путем подсчета их количества в пределах 1 см² хориона, используя лупу и специальную клеенчатую палетку с квадратным окном 1x1 см². Провели гистологический анализ образцы плаценты фиксировались в 10% нейтральном формалине при температуре 4°C в течение 4-5 дней.

Стандартная подготовка тканей заключалась в дегидратации и просветлении для этого ткани обезвоживались и затем просветлялись в хлороформе с использованием автоматизированного гистопроцессора Cytadel 2000. Образцы заливались в парафин с помощью системы Histomix (производства Биовитрум). Полученные парафиновые блоки нарезались на тонкие срезы толщиной 5 микрометров на микротоме MICROM HM340E.

Срезы закреплялись на предметных стеклах. Для изучения общей клеточной и тканевой структуры срезы окрашива-

лись гематоксилином и эозин-флоксином по стандартной методике. Для определения компонентов внеклеточного матрикса применялась окраска по Masson. Гликозаминогликаны, сульфатированные мукоидные вещества, гиалуроновые кислоты и сиаломуцины идентифицировались с помощью окраски альциановым синим (при pH=3,0) по Сиддху. Эти компоненты приобретали темно-синий цвет. Гексозосодержащие мукопротеины обнаруживались с помощью ШИК-реакции по Мак-Манусу, что приводило к ярко-малиновому окрашиванию. Для лучшего выделения ядер дополнительно использовался гематоксин Майера. Для исследования плаценты кобыл, полученной во время родов, образцы (размером до 3 см² и толщиной около 5 мм) подвергались стандартной гистологической обработке. Этот процесс включал фиксацию в формалине для сохранения структуры, обезвоживание в растворах с возрастающей концентрацией, пропитку парафином и получение тонких срезов (5 мкм) с помощью микротом.

Для окрашивания использовались гематоксин и эозин для общего анализа, а также специальные красители (альциановый синий и ШИК-реакция) для выявления гликозаминогликанов. Полученные срезы исследовались под микроскопом AxioScope.A1 с цифровой камерой AxioCam MRc5, а изображения обрабатывались в программе ZENpro 2012.

Статистический анализ данных проводился с использованием описательной статистики, включая расчет среднего значения $\pm$ стандартного отклонения для нормально распределенных данных и межквартильного размаха для категориальных данных. Статистически значимыми считались результаты при уровне $p < 0,05$. Все расчеты проводились в программах IBM SPSS Statistics 26 («IBM Corp.», США), Microsoft Excel 2000 и SPSS 10.0.5 for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Исследование фетальной стороны плаценты у кобыл включало детальный ви-

зуальный анализ ее морфологических особенностей. Оценивались такие параметры, как целостность структуры, цветовые характеристики, наличие участков с уменьшенным количеством ворсин, отложений солей кальция, а также зон некротических изменений и инфарктов. У кобыл, у которых беременность и роды прошли без каких-либо патологий, были зафиксированы следующие характеристики пупочного канатика: его длина в среднем составляла $(57,68 \pm 0,75)$ см, а толщина – $(3,76 \pm 0,07)$ см. Сосуды пупочного канатика, представленные артериями и веной, имели схожий диаметр (11–12 мм) и узкий просвет, при этом толщина их стенок варьировалась в пределах (5–6 мм).

Аллантоамнион имел желеобразную консистенцию и бело-серый оттенок. В его структуре были обнаружены крупные, толстостенные кровеносные сосуды, отличающиеся характерной спиралевидной структурой. Средняя толщина аллантоамниона была оценена в 6,2 мм ($\pm 0,58$ мм), а его размеры варьировались в диапазоне 5–10 мм, рис. 1, А.

Плотность сосудистого сплетения оценивалась в 5–10 сосудов на каждые 100 см², как показано на рисунке 1, Б.

Хориоаллантоис демонстрировал серовато-розовую окраску. Его гладкая, глянцевая поверхность была ориентирована в сторону эмбриона. Материнская сторона хориоаллантоиса отличалась интенсивным красным цветом и имела блестящую, бархатистую текстуру.

Поверхность хориона была равномерно покрыта мелкими, слабо разветвленными ворсинками. Толщина хориоаллантоиса варьировалась от 5 до 10 мм, при этом плотность ворсин составляла 38–46 на см² (см. рис. 2). Площадь хориоаллантоиса, являющегося внешней оболочкой плода, в среднем достигает 14 287,48 см². Возможные отклонения от этого значения составляют 311,72 см². Вся поверхность хориоаллантоиса была покрыта мелкими, слабо разветвленными ворсинками, распределенными равномерно. Толщина ее составляла от 5 до 10 мм, а

плотность ворсин варьировалась от 38 до 46 на см^2 . Средняя масса плодной части плаценты оценивается примерно в 8,02 кг. Этот показатель имеет допустимое

отклонение в 0,24 кг, что означает, что минимальная масса может составлять 7,35 кг, а максимальная – 8,85 кг.



Рисунок 1 – Морфометрические показатели хориона и аллантоамниона фетальной части плаценты кобыл в норме и патологии

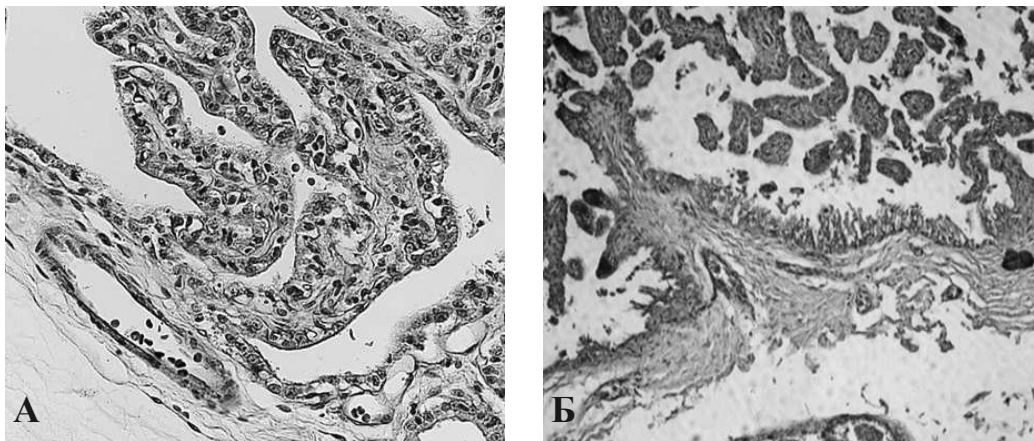


Рисунок 2 - Хориоаллантоис плаценты кобыл в норме и патологии
 А - в норме; Присутствие кислых мукополисахаридов в межклеточном веществе. Комбинированная окраска альциановым синим и ШИК-реакция по Мак-Манусу. Докраска гематоксилином Майера. Ув. 400;
 Б - при патологии в цитоплазме клеток хориоаллантоиса содержится гликоген, РНК, нейтральные и сульфатированные гликопротеины, в строме ворсинок хориоаллантоиса содержатся протеогликаны. Окраска гематоксилин Ув. 400.)

Результаты гистотопографического анализа фетальной плаценты указывают на ее превосходное кровоснабжение. Сосудистая сеть плаценты была полностью заполнена кровяными компонентами, при этом не было обнаружено никаких признаков тромбообразования. Ворсины плаценты, являющиеся основными структурами для газообмена и обеспечения плода питательными веществами, оказались хорошо развитыми, длинными и не имели видимых повреждений сосудов или некротических зон.

Клетки трофобласта, формирующие хориоаллантоис, имели округлую форму и образовывали скопления, демонстрируя активное участие в синтезе эпителиального синцития. Этот синцитий, в свою очередь, характеризовался наличием клеток с выраженной призматической

структурой, рис. 3. При нормальном течении беременности и родов у кобыл ворсины на хориоаллантоисе распределены равномерно. На каждый см^2 приходится от 36 до 42 ворсин, в среднем – $38,40 \pm 1,17$. Тем не менее, иногда встречаются участки с меньшей высотой и плотностью ворсин. Толщина хориоаллантоиса в норме составляет 4–6 мм (в среднем $5,20 \pm 0,37$ мм), что на 35% меньше, чем в патологических случаях. У кобыл с плацентитом плацента имеет специфические признаки.

Аллантоамнион, часть плодных оболочек, становится бледно-серым. Его толщина уменьшается (в среднем около 4 мм), а студенистая структура выражена слабо. Сосуды в аллантоамнионе имеют диаметр 4–6 мм, и на площади 100 см^2 их насчитывается от 3 до 7.

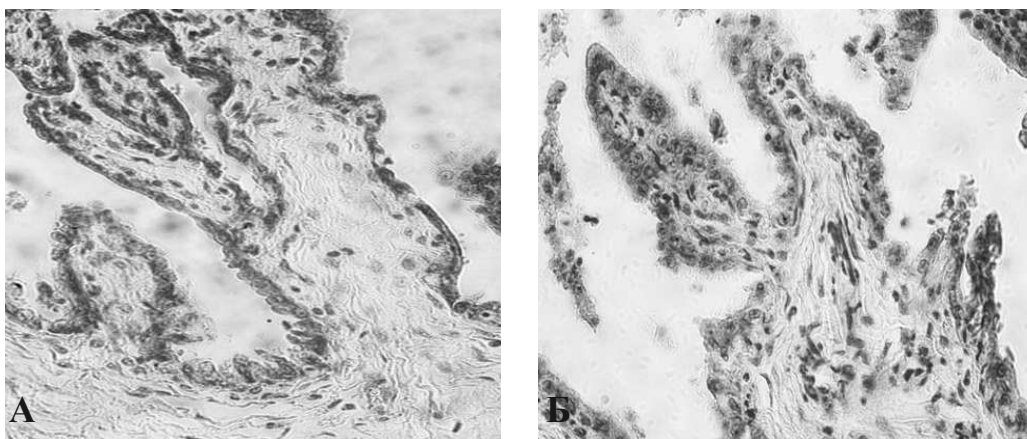


Рисунок 3 - Хориоаллантоис плаценты кобыл в норме и патологии
А - в норме, фрагмент ворсинки хориона кобылы, покрытый плотным трофобластом в норме. Окраска гематоксилином. Ув. 400.;

Б - при патологии, фрагмент участка хориоаллантоиса кобылы, покрытый призматическими клетками с вакуолизированной цитоплазмой. Окраска гематоксилин Ув. 400.

Общая масса плодной части плаценты у таких животных составляет около 6 кг. Участки плаценты, связанные с плацентарной недостаточностью и рождением слабых жеребят, занимают значительную площадь – более $10\,800 \text{ см}^2$. Длина пупочного канатика у таких лошадей составляет примерно 60 см, а его диаметр – около

3,6 см. Диаметры сосудов в пупочном канатике отклоняются от нормы: вена имеет больший диаметр (12 мм) по сравнению с артериями (11 мм и 8 мм). Просвет сосудов сужен, а стенка вены толще, чем у артерий. Гистологическое исследование выявляет значительные адаптивные изменения в плодовой части плаценты.

Ворсины хориоаллантоиса укорочены, а трофобластический слой истончен. Соединительная ткань характеризуется увеличенным объемом внеклеточного матрикса и разрушением коллагеновых волокон. Сосуды расширены, с признаками дисфункции, что приводит к дистрофическим изменениям в клетках трофобласта и уплотнению межклеточного вещества. Хориоаллантоис в норме имеет красноватый цвет. При патологиях он менее насыщен кровью и, соответственно, бледнее. Ворсины на поверхности хориона мелкие, слабо разветвленные и тусклые. Их плотность снижена, в среднем составляя 30 штук на квадратный сантиметр. Фетальная поверхность хориона: Серая, гладкая и матовая.

При патологических родах, сопровождающихся задержкой плодных оболочек, плацента претерпевает значительные изменения. Ее масса уменьшается примерно на 37% (до 5 кг), а площадь сокра-

щается почти на 38% (в пределах 8250-9470 см²). Толщина хориоаллантоиса также снижается, не превышая 3 мм. Аллантоамнион, имеющий бело-серый цвет, становится тоньше (2-5 мм) по сравнению с состоянием при плацентите и приобретает плотную структуру, практически лишенную гелеобразной прослойки. Сосудистая сеть аллантоамниона имеет древовидный тип ветвления, суженные стенки (до 3,5 мм в диаметре) и меньшее количество сосудов (3-5 на 100 см²). Установлено, что высота терминальных ворсин хориоаллантоиса составила в среднем $2649,53 \pm 423,04$ мкм, с колебаниями от 2264,55 до 4286,15 мкм. Относительная площадь соединительной ткани хориоаллантоиса плацентомы занимала у кобыл $4156,43 \pm 10,04$ мкм², а эпителия ворсин хориоаллантоиса фетальной части плаценты — $324,16 \pm 0,99$ мкм². Количество капилляров составляет $9,25 \pm 0,86$ на единицу площади хориоаллантоиса, рис. 4.

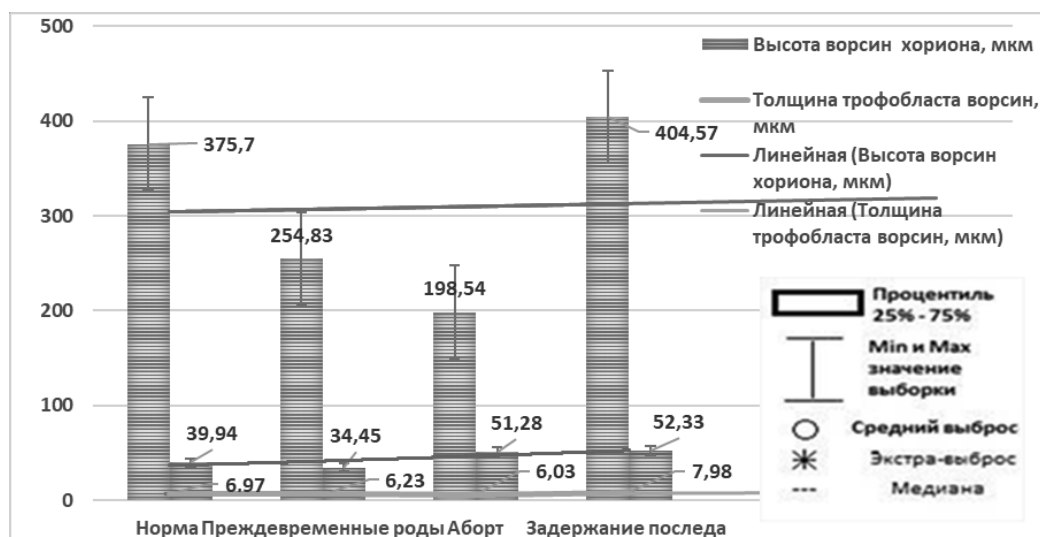


Рисунок 4 - Гистологические параметры фетальной части плаценты у кобыл.

Средняя длина створчатых ворсин хориона составляла 370 мкм, при этом их размеры варьировались от 246,53 до 1131,50 мкм. Ширина конечных (терминальных) ворсин составляла около 39 мкм, а толщина слоя клеток, покрыва-

ющих ворсины (трофобласта), была в среднем 7 мкм (рис. 4). Также было подсчитано, что на каждом квадратном сантиметре поверхности хориона располагалось в среднем 12,5 ворсин. При детальном изучении клеток трофобласта под

микроскопом были замечены клетки, содержащие два ядра (двуядерные клетки или диплокариоциты). Внутренняя часть ворсин (хориальная пластинка) имела уплотненную соединительную ткань, насыщенную волокнами. Внутри ворсин хориоаллантоиса, расположенных в плодной части плаценты, наблюдаются пучки волокнистых структур, ориентированных перпендикулярно направлению самих ворсин. Среди этих волокон можно различить фибробласты, а также клетки, напоминающие макрофаги, которые отличаются пенистым содержимым цитоплазмы и неровными, фестончатыми краями, рис. 2, 3. В поле зрения микроскопа также обнаруживаются клетки, похожие на макрофаги, и различные форменные элементы крови. Соединительная ткань в ворсинах хориона формирует тонкие прослойки. По всей длине ворсин хориоаллантоиса фибробластические элементы и их волокна ориентированы параллельно. У кобыл в этой области наблюдается формирование структуры, которая отделяет ворсины хориоаллантоиса от промежуточной пластины, направляясь к поверхности аллантохориона. Эта структура играет роль в образовании участка контакта между спланхноплеврой аллантоиса и соматоплеврой хориона. Эти области содержат клеточные элементы рыхлой, еще не полностью сформированной соединительной ткани, представленной в основном ретикулярными клетками. Эти клетки легко узнаваемы по их характерным овальным ядрам и веретенообразным отросткам цитоплазмы. Были выделены условные "светлые зоны интерстиция", каждая из которых содержала один-два сосуда мышечного типа. При детальном исследовании ворсинок обнаружили, что они состоят из крупных клеток, слившихся в симпласты. Эти симпласты имели плотную, окрашивающуюся в розовый цвет (оксифильную) цитоплазму, в которой располагалось множество ядер. Ядра были округлыми или овальными и имели разную степень плотности хроматина. Часто в этих симпластах образовывались полости, называемые вакуолями. Эти ва-

куоли имели утолщенные, окрашивающиеся стенки и были пустыми внутри, то есть не содержали видимых структур. На фоне всех этих наблюдений мы заметили увеличение количества гигантских клеток Кашенко-Гофбауэра. Эти клетки являются разновидностью макрофагов или клеток, похожих на макрофаги. Они располагались неравномерно, собираясь в группы, и находились в непосредственной близости от поврежденных участков эпителиальной ткани хориона. Продолжается деградация коллагеновых волокон. На финальной стадии беременности в аллантохорионе формируются микроскопические участки пикринофилии, что говорит о глубоких молекулярных перестройках в коллагене. Изменения в гистоархитектонике и окрашивании ретикулиновых волокон в этих зонах подтверждают трансформацию соединительной ткани. У кобыл с нормальной беременностью подобные явления обычно обнаруживаются в виде скоплений под аллантохорионом или мелкодисперсных отложений в цитоплазме эпителиальных клеток хориона в центральных отделах плаценты.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результаты морфологического исследования показали, что гистоархитектоника фетальной части плаценты кобылы характеризовалась следующими признаками:

- равномерное распределение ворсин хориоаллантоиса во всех исследуемых участках плаценты и отсутствие плотных контактов их с железистым эпителием матки, формируя микрокотиледоны, опираясь на данные наблюдения, эмбриональный орган кобыл с высокой долей вероятности относится к диффузной микрокотиледонной эпителиохориальной плаценте;

- фиксируется высокая васкуляризация и, следовательно, интенсивное кровоснабжение, всех структур плаценты: амниотической оболочки, створчатых и терминальных ворсин хориоаллантоиса;

- стромальная часть достаточно толстой амниотической оболочки и разных типов ворсин хориоаллантоиса представ-

лена в основном коллагеновыми волокнами, что указывает на значительную устойчивость плаценты кобыл к температурным колебаниям окружающей среды обитания;

- наличие специализированных клеток трофобласта, которые участвует в синтезе и/или секреции нейтральных мукопротеинов (предположительно, гликогена);

- присутствие длинных створчатых ворсин на отдельных участках плаценты в области дистальной части и середины контрлатерального рога, на линии раздела двух рогов, в середине главного рога, что связано с пространственным расположением плаценты в матке, в случае значительного удаления анатомических структур плаценты от главного рога-плодовместилища, для более тесного контакта с маточными железами часть ворсин значительно удлиняется;

- наблюдаемые нами особенности гистоархитектоники и морфометрии плаценты кобыл являются результатом приспособления табунных лошадей к вынашиванию и рождению детенышей в арктических условиях республики (Саха) Якутия.

COMPARATIVE MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE PLACENTA OF MARES IN LATE PREGNANCY BY HISTOMORPHOMETRY

Fedorov V. I. ¹-Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Pharmacology and Obstetrics named after Professor G.P. Serdtsev; **Avdeenko V.S.** ²-Doctor of Veterinary Sciences. Professor of the Department of Genetic and Reproductive Biotechnologies; **Nifontov K. R.** ¹-Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Pharmacology and Obstetrics named after Professor G.P. Serdtsev; **Domatov V. V.** ¹-Postgraduate Student of the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Pharmacology and Obstetrics named after Professor G.P. Serdtsev; **Lukaevsky A. Z.** ¹- 5th year stu-

dent of the Faculty of Veterinary Medicine; **Safronov D. I.** ²- Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Biology, Ecology and Histology

¹Arctic State Agrotechnological University

²St. Petersburg State University of Veterinary Medicine.

*Avdeenko0106@Mail.Ru

Funding: *The materials were prepared as part of the 2026 regional competition of the Russian Science Foundation "Conducting Fundamental Scientific Research and Exploratory Scientific Research by Individual Research Groups" (<https://rscf.ru/project/25-16-20118>)*

ABSTRACT

Histomorphometric examination of the placenta of mares in the final stages of gestation revealed statistically significant differences in morphometric parameters during the physiological and pathological course of pregnancy. The area of the chorioallantois (cm²), the thickness of the chorion and allantoamnion (mm), the density of villi per unit area (villi/cm²) and per unit surface of the chorion, as well as the diameter and number of vessels in the allantoamnion per area of 100 cm² were quantified. The analysis showed that placental insufficiency, manifested in the form of premature birth, placentitis and retention of the afterbirth, is associated with the disorganization of cellular structures, characterized by their sparse arrangement in the form of small, distant clusters. In contrast, the formation of denser and more coherent cell clusters is observed in mares with physiological pregnancy. Histomorphometry of the cellular structures of the fetal part of the placenta, in particular, the topological metrics of the network, acts as the main discriminating factor that makes it possible to quantify the specific features of the placenta of mares in conditions of pathological conditions. The distribution of chorioallantois villi over the entire surface of the

placenta and the absence of dense contacts with the glandular epithelium of the uterus form microcotyledons, which determines the classification of the placenta of mares as diffuse microcotyledonous epitheliochoric. There is marked vascularization of all components of the placenta, including the amniotic membrane, stem and terminal villi of the chorioallantois. The stromal part of the placenta, represented by the amniotic membrane and chorioallantois villi, consists mainly of collagen fibers. The presence of long stem villi in certain areas of the placenta (distal part, middle of the contralateral horn, dividing line of the horns, middle of the main horn) correlates with their spatial location in the uterus, providing optimal contact with the uterine glands for effective gas exchange and nutritional support of the fetus.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1.Мормфогенез плаценты у крупного рогатого скота при эклампсии / Приходько С. А., Родин П.В., Авдеенко В.С., Племяшов К.В. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2020, №1, С. 117-121.
- 2.Саенко Н.В. Морфология провизорных органов лошади во взаимосвязи с жизнеспособностью новорожденных жеребят: Вестник Крас. ГАУ, № 7, 2024/- С. 143-151.
- 3.Родин П.В., Авдеенко В.С. Гистологические изменения в плаценте крупного рогатого скота при гестозе. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии, 2015, 2: 233-235.
- 4.Криштофорова Б.В., Саенко Н.В. Провизорные органы и жизнеспособность новорожденных животных: Монография. СПб., 2022.- 158с.
- 5.Teixeira A.R., Leao M.T., Costa A.L., Martin S., Abreu P., Bliernicht M. et al. Biometric and weight assessment of newborn foals: the influence of maternal factors. Abstract from the collection of abstracts of the 71st annual Virtual Meeting of the European Livestock Federation, December 1-4. Wageningen:Wageningen Academic Publishers (2020), 469 pp.
- 6.El-Sheikh Ali H., Legacki E.L., Loux S.C., Esteller-Vico A., Dini P., Scoggin K.E., Conley A.J., Stanley S.D., Ball B.A. Equine placentitis is associated with a downregulation in myometrial progesterin signaling. Biol Reprod 2019; 101:162-176.
- 7.Neto da Silva A. K., Costa A. L., Teixeira A., Alpoim-Moreira J., Fernandes K., Fradinho M. J., Rebordan M. R., Silva E., Ferreira da Silva J., Bliernicht M., Alexander-Pires G., Ferreira-Diaz G. Collagen and microvascular network in placentas of young and old mares. Front Vet Sci. 2022 Jan 4; 8:772658. doi: 10.3389/fvets.2021.772658.
- 8.Wynn M.A., Ball B.A., May J., Esteller-Vico A., Canisso I, Squires E., Troedsson M. Changes in maternal pregnane concentrations in mares with experimentally-induced, ascendingplacentitis. Theriogenology 2018; 122:130-136.
- 9.Park Y.S., Kim S., Park D.G., Kim D.H., Yoon K.W., Shin W., Han K. Comparison of library construction kits for mRNA sequencing in the Illumina platform. Genes Genomics 2019; 41:1233-1240.
- 10.El-Sheikh Ali H., Boakari Y.L., Loux S.C., Dini P., Scoggin K.E., Esteller-Vico A., Kalbfleisch T., Ball B.A. Transcriptomic analysis reveals the key regulators and molecular mechanisms underlying myometrial activation during equine placentitis. Biology of Reproduction 2020; 102:1306-1325.
- 11.Mu S., Shen Yu., Ren H., Ulaangerel T., Yi M., Zhao B., Hao A., Liu C., Wen S., Dugarzhav M., Bow G. Effect of interleukin-6 (IL-6) on in vitro cultured foal chorion cells. Animals. 2025. 15(3):450. doi: 10.3390/ani15030450.
- 12.Antczak D.F., Allen W.R.T. Placentation in ungulates. Adv Anat Embryol Cell Biol. 2021; 234:91-128. doi: 10.1007/978-3-030-77360-1_6.
- 13.Citation: Neto da Silva AC, Costa AL, Teixeira A, Alpoim-Moreira J, Fernandes C, Fradinho MJ, Rebordão MR, Silva E, Ferreira da Silva J, Bliernicht M, Alexandre-Pires G and Ferreira-Dias G (2022) Collagen and Microvascularization in Placentas from Young and Older Mares. Vet. Sci. 8:772658. doi: 10.3389/fvets.2021.772658.

14. The adaptive potential of newborn calves under conditions of technogenic anthropobio-cenosis / N. Saenko [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. № 265.

15. Canisso I.F., Luks S.K., Lima F.S. Biomarkers of placental diseases in mares. *Theriogenology*. 2020 1; 150:302-307. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.01.073. Epub 2020 Jan 30. PMID: 32088026.

16. The adaptive potential of newborn calves under conditions of technogenic anthropobio-cenosis / N. Saenko [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. № 265.

REFERENCES

1. Morphogenesis of the placenta in cattle with eclampsia / Prihodko S. A., Rodin P. V., Avdeenko V. S., Plemyashov K. V. // *Issues of regulatory and legal regulation in veterinary medicine*. 2020, No. 1, pp. 117-121.

2. Saenko N. V. Morphology of provisional organs of a horse in relationship with the viability of newborn foals: *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, No. 7, 2024 / - pp. 143-151.

3. Rodin P. V., Avdeenko V. S. Histological changes in the placenta of cattle with gestosis. // *Issues of regulatory and legal regulation in veterinary medicine*, 2015, 2: 233-235.

4. Kristoforova B.V., Saenko N.V. Provisional organs and viability of newborn animals: *Monograph*. SPb., 2022. - 158 p.

5. Teixeira A.R., Leao M.T., Costa A.L., Martin S., Abreu P., Bliernicht M. et al. Biometric and weight assessment of newborn foals: the influence of maternal factors. Abstract from the collection of abstracts of the 71st annual Virtual Meeting of the European Livestock Federation, December 1-4. Wageningen: Wageningen Academic Publishers (2020), 469 pp.

6. El-Sheikh Ali H., Legacki E.L., Loux S.C., Esteller-Vico A., Dini P., Scoggin K.E., Conley A.J., Stanley S.D., Ball B.A. Equine placentitis is associated with a down-regulation in myometrial progesterin signaling. *Biol Reprod* 2019; 101:162-176.

7. Neto da Silva A. K., Costa A. L., Teixeira A., Alpoim-Moreira J., Fernandes K., Fradi-

nho M. J., Rebordan M. R., Silva E., Ferreira da Silva J., Bliernicht M., Alexander-Pires G., Ferreira-Diaz G. Collagen and microvascular network in placentas of young and old mares. *Front Vet Sci*. 2022 Jan 4; 8:772658.

8. Wynn M.A., Ball B.A., May J., Esteller-Vico A., Canisso I, Squires E., Troedsson M. Changes in maternal pregnane concentrations in mares with experimentally-induced, ascending placentitis. *Theriogenology* 2018; 122:130-136.

9. Park Y.S., Kim S., Park D.G., Kim D.H., Yoon K.W., Shin W., Han K. Comparison of library construction kits for mRNA sequencing in the Illumina platform. *Genes Genomics* 2019; 41:1233-1240.

10. El-Sheikh Ali H., Boakari Y.L., Loux S.C., Dini P., Scoggin K.E., Esteller-Vico A., Kalbfleisch T., Ball B.A. Transcriptomic analysis reveals the key regulators and molecular mechanisms underlying myometrial activation during equine placentitis. *Biology of Reproduction* 2020; 102:1306–1325.

11. Mu S., Shen Yu., Ren H., Ulaangerel T., Yi M., Zhao B., Hao A., Liu C., Wen S., Dugarzhav M., Bow G. Effect of interleukin-6 (IL-6) on in vitro cultured foal chorion cells. *Animals*. 2025. 15(3):450.

12. Antczak D.F., Allen W.R.T. Placement in ungulates. *Adv Anat Embryol Cell Biol*. 2021; 234:91-128. doi: 10.1007/978-3-030-77360-1_6.

13. Citation: Neto da Silva AC, Costa AL, Teixeira A, Alpoim-Moreira J, Fernandes C, Fradinho MJ, Rebordão MR, Silva E, Ferreira da Silva J, Bliernicht M, Alexandre-Pires G and Ferreira-Dias G (2022) Collagen and Microvascularization in Placentas from Young and Old Mares. *Vet. Sci*. 8:772658. doi: 10.3389/fvets.2021.772658.

14. The adaptive potential of newborn calves under conditions of technogenic anthropobio-cenosis / N. Saenko [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. No. 265.

15. Canisso I.F., Luks S.K., Lima F.S. Biomarkers of placental diseases in mares. *Theriogenology*. 2020 1; 150:302-307.

16. The adaptive potential of newborn calves under conditions of technogenic anthropobio-cenosis / N. Saenko [et al.] // E3S Web of Conferences. 2021. No. 265.



АКУШЕРСТВО, ГИНЕКОЛОГИЯ

УДК: 619:615.36:575.224.46

DOI:

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ КРИОФРАКЦИЙ СЕЛЕЗЕНКИ И ПЛАЦЕНТЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Востроилова Г.А. – д-р биол. наук, глав. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-2960-038X); **Паршин П.А.** – д-р ветеринар. наук, проф., директор (ORCID 0000-0002-8790-0540); **Шабанов Д.И.** – науч. сотр. (ORCID 0000-0002-1574-1317); **Хохлова Н.А.** – канд. ветеринар. наук, стар. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-6861-2554); **Корчагина А.А.** – канд. ветеринар. наук, стар. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-8561-417X); **Некрасов А.В.** – мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-5957-1583); **Нежинский А.А.** – мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0002-1141-8325)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии»

* am7d@mail.ru

Ключевые слова: криофракция селезенки крупного рогатого скота, криофракция плаценты крупного рогатого скота, циклофосфамид, окислительный стресс, антиоксидантная защита, лабораторные крысы.

Key words: bovine spleen cryofraction, bovine placenta cryofraction, cyclophosphamide, oxidative stress, antioxidant protection, laboratory rats.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00034, <https://rscf.ru/project/24-26-00034/>.

Поступила: 11.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Поддержание генетической стабильности сельскохозяйственных животных в условиях экологического неблагополучия часто связано с состоянием антиоксидантной системы и является актуальной задачей для ветеринарии. Полученные нами данные демонстрируют, что фармацевтические субстанции, содержащие гидрофильную криофракцию селезенки крупного рогатого скота (ГКСК), липофильную криофракцию селезенки крупного рогатого скота (ЛКСК) и смесь липофильной криофракции селезенки и плаценты крупного рогатого скота (ЛКСПК) оказывали антимуtagenное действие на организм животных, однако механизм этого явления изучен далеко не полностью. Поэтому целью настоящей работы явилось исследование влияния ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК на некоторые показатели пероксидного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной защиты (АОЗ) в крови крыс в условиях окислительного стресса, индуцированного циклофосфамидом (ЦФ). Исследовали влияние отдельного внутримышечного введения фармацевтических субстанций в дозе 0,5 мл/кг и их совместного

введения с внутрибрюшинной инъекцией ЦФ в дозе 40 мг/кг белым лабораторным крысам-самцам. Также исследовали влияние трехкратного введения ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК с интервалом в 24 ч перед инъекцией ЦФ в дозах аналогичных однократному применению. Установлено, что однократное введение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК не индуцировало статистически значимых изменений в показателях ПОЛ и АОЗ в крови крыс. Курсовое применение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК крысам приводило к снижению окислительного стресса, индуцированного ЦФ благодаря влиянию на ферменты антиоксидантной системы. Это выражалось в значительном (более чем в 2 раза) увеличении активности каталазы, а также активности глутатионпероксидазы (на 71-79%), снижении содержания внутриклеточных активных форм кислорода, диеновых конъюгатов и кетодиенов относительно животных группы позитивного контроля. Таким образом, ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК обладали антиоксидантным эффектом, проявляющимся благодаря модуляции активности ферментативного звена антиоксидантной системы.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Состояние антиоксидантной системы может выступать маркером множества биологических процессов в организме животных включая воспаление, степень тяжести различных заболеваний и динамики процессов выздоровления [1]. Поддержание цитогенетической стабильности в клетках сельскохозяйственных животных тесно связано с антиоксидантной системой и биохимической детоксикацией высокоактивных веществ экзогенного и эндогенного происхождения [2]. Среди молекул, обладающих антимутагенным и антигенотоксическим действием, значительная доля соединений реализует своё действие благодаря влиянию на антиоксидантную защиту организма (АОЗ) [3]. Поэтому поиск соединений, проявляющих антигенотоксическое действие благодаря способности модулировать АОЗ, представляет научный интерес. Ранее нами было показано, что липофильные и гидрофильные криофракции селезенки и плаценты крупного рогатого скота (КРС) проявляли антимутагенные свойства, однако механизм их действия не был полностью установлен [4, 5].

Кровь служит удобным инструментом для оценки антиоксидантной системы организма, поскольку содержит, как антиоксиданты, так и маркеры окислительного стресса, что позволяет оценить общий баланс этих процессов и отражает способность организма справляться с повреждениями, вызванными свободными радикалами. Измеряя антиоксидантную активность и продукты перекисного окисления

липидов в крови, можно оценить комплексное состояние здоровья и потенциальный риск развития заболеваний [1, 6].

В связи с задачей выявления возможных механизмов антигенотоксического действия гидрофильной и липофильной криофракции селезенки и плаценты крупного рогатого скота **целью** настоящей работы явилось исследование влияния гидрофильной и липофильной криофракции селезенки, а также смеси липофильных криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота на некоторые показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты в крови крыс в условиях окислительного стресса, индуцированного циклофосфамидом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В качестве объекта исследований использовали фармацевтические субстанции, содержащие гидрофильную криофракцию селезенки КРС (ГКСК), липофильную криофракцию селезенки КРС (ЛКСК) и смесь липофильных криофракций селезенки и плаценты КРС (ЛКСПК), которые были разработаны в лаборатории доклинических исследований и моделирования биологических систем ФГБНУ «ВНИВИПФиТ». «Эндоксан®» («Baxter Oncology GmbH», Германия), который содержит в качестве действующего вещества циклофосфида моногидрат (ЦФ), был использован нами ранее как индуктор цитогенетической нестабильности в клетках животных, а в данном исследовании применялся для генерации свободно-радикального стресса в организме крыс

[7].

Белые лабораторные беспородные крысы-самцы массой тела $220,0 \pm 20,0$ г разведения вивария ФГБНУ «ВНИИПФиТ» были использованы в эксперименте в качестве биологической тест-системы. Подопытные животные содержались в стандартных условиях вивария. Доступ к воде и корму был свободным. Дизайн эксперимента был предварительно одобрен на заседании комиссии по биоэтике института.

В ходе исследования были сформированы 11 групп экспериментальных животных по 6 крыс в каждой. Группой I являлись крысы из группы негативного контроля, которым внутримышечно однократно вводили изотонический раствор хлорида натрия в объеме 0,3 мл. Крысам из групп II, III, VI однократно внутримышечно применяли фармацевтические субстанции ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК, соответственно, в дозе 0,5 мл/кг в объеме 0,3 мл. Крысы из группы V выступали животными группы позитивного контроля, которым однократно внутрибрюшинно вводили ЦФ в дозе 40 мг/кг в объеме 0,5 мл. Животным из групп VI, VII и VIII вводили исследуемые субстанции аналогично группам II, III и IV, соответственно, одновременно с инъекцией ЦФ также, как и группе позитивного контроля. Крысам из групп IX, X и XI трехкратно с интервалом в 24 ч делали внутримышечные инъекции ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК в дозе 0,5 мл/кг объемом 0,3 мл, соответственно. Совместно с последней инъекцией фармацевтических субстанций животным внутрибрюшинно вводили ЦФ в дозе 40 мг/кг в объеме 0,5 мл. Через 24 ч после завершения введения веществ, крыс выводили из эксперимента путем передозировки углекислого газа в специальной камере. Проводили отбор проб крови из области сердца, часть крови использовали для получения сыворотки.

Исследование показателей пероксидного окисления липидов (ПОЛ) и системы антиоксидантной защиты (АОЗ) проводили согласно методическим рекомендациям [8]. С помощью спектрофотомет-

ра UV-1700 (Shimadzu, Япония) в крови крыс исследовали концентрацию малонового диальдегида (МДА) по продуктам его реакции с тиобарбитуровой кислотой (мкмоль/л), определяли содержание диеновых конъюгатов (ДК) и кетодиенов (КД) относительно концентрации общих липидов (отн. ед./мг липидов), а также активность антиоксидантных ферментов: каталазы (микромоляр восстановленного $\text{H}_2\text{O}_2/\text{л} \times \text{мин} \times 10^3$) и глутатионпероксидазы (микромоляр окисленного глутатиона (G-SH) $/\text{л} \times \text{мин} \times 10^3$) [8]. Помимо этого, исследовали уровень внутриклеточных активных форм кислорода (АФК) с помощью флуоресцентного зонда — 2',7'-дихлордигидрофлуоресцеиндиацетата («Sigma-Aldrich», США), который после окисления, образует флуоресцирующую форму (DCF), исследуемую помощью спектрофлуориметра RF-5301 («Shimadzu», Япония). Содержание внутриклеточных АФК выражали в относительных единицах (отн. ед.) интенсивности флуоресценции DCF (I_{DCF}) [9]. Кроме того, с помощью спектрофлуориметра в сыворотке крови определяли относительное содержание флуоресцирующих оснований Шиффа (ОШ, отн. ед./мл сыворотки) [8]. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов программы STATISTICA 10 («StatSoft, Inc.», США). Сравнение выборок осуществляли с использованием парного U-теста Мана-Уитни. Полученные результаты представляли как среднее арифметическое (M) и стандартная ошибка среднего ($\pm \text{SEM}$).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе работы нами были изучены показатели окислительного стресса, ПОЛ и АОЗ в крови крыс исследуемых групп (таблица 1). Однократное введение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК (группы II, III и IV, соответственно) не приводило к статистически значимому изменению всех исследуемых показателей относительно группы негативного контроля (группа I). Таким образом, отдельное введение исследуемых фармацевтических субстанций здоровым крысам не вызывало изменения

процессов свободнорадикального окисления и АОЗ крыс.

Введение крысам ЦФ в дозе 40 мг/кг (группа V) индуцировало развитие свободнорадикального окисления, интенсификацию процессов ПОЛ и снижение активности ферментативного звена антиоксидантной системы в крови крыс, что выражалось статистически значимым увеличением внутриклеточных АФК в клетках крови в 2,5 раза, возрастанием содержания конечных продуктов ПОЛ – ДК и КД на 33,3%, а также снижением активности каталазы и глутатионпероксидазы на 54,9 и 39,5%, соответственно, относительно группы негативного контроля (группа I).

Однократное введение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК совместно с ЦФ (группы VI, VII и VIII, соответственно) не оказывали значительного влияния на свободнорадикальное ЦФ-индуцированное окисление в организме крыс. Большинство исследуемых параметров значимо не отличались от таковых группы позитивного контроля. При этом, однократное введение ГКСК (группа VI) значимо снижало активность каталазы на 15,5% относительно группы V. Однако уровень внутриклеточных АФК в этой группе снижался на 44%, и, хотя изменение было статистически не значимо относительно группы V, этот показатель не отличался от такового в группе негативного контроля (группа I). Кроме того, однократное введение ЛКСПК перед инъекцией ЦФ приводило к значимому снижению КД на 25,0% относительно группы V, но не вызывало изменения в содержании ДК или других исследуемых показателей.

Курсовое введение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК перед применением ЦФ (группы IX, X и XI) в отличие от однократного использования исследуемых субстанций индуцировало снижение окислительного стресса в организме крыс, уменьшение процессов ПОЛ и модулировало активность ферментативного звена антиоксидантной системы. Так нами было выявлено значимое уменьшение I_{DCF} на 64,9, 63,7 и 72,3% в группах IX, X и XI, соответственно, относительно группы позитивного контроля.

Значимо снижалось и относительное содержание ДК и КД, так в группе IX уменьшение ДК составило 37,5, и 50,0% для КД. А в группах X и XI снижение составило 37,5 и 25,0% для ДК и 25,0 % для КД, соответственно. Также выявлено увеличение активности каталазы в крови крыс. Так в группах IX и X она увеличилась в 2,4 раза, а в группе XI в 2,5 раза относительно этого параметра в группе V. Возрастала активность глутатионпероксидазы на 78,7 % в группе IX, на 78,1% в группе X и на 71,0% в группе XI. Таким образом, курсовое применение исследуемых фармацевтических субстанций оказало модулирующее действие на ферментативное звено антиоксидантной системы, что в свою очередь привело к уменьшению свободнорадикального окисления в организме крыс.

Следует отметить, что в данном исследовании нами не было выявлено значимых отличий в концентрации МДА и содержании ОШ в крови и сыворотке крови крыс через 24 ч после введения ЦФ (группа V) относительно группы негативного контроля. Другие исследования при этом демонстрируют увеличение этих показателей в тканях человека и животных при использовании ЦФ [10]. При этом первичные продукты ПОЛ (ДК и КД), а также уровень внутриклеточных АФК, которые возникают при генерации окислительного стресса в нашем исследовании возрастали. Это преимущественно может свидетельствовать о начальных стадиях оксидативного стресса в организме экспериментальных крыс, что может быть связано с более низкой дозой – 40 мг/кг ЦФ, использованной нами в эксперименте. В то же время в других исследованиях, демонстрирующих увеличение содержания МДА и окислительных метаболитов, использовали дозы ЦФ в диапазоне 100 – 200 мг/кг, исследовали другие ткани и проводили отбор образцов через большие промежутки времени, что могло приводить к интенсивному протеканию окислительного стресса и накоплению промежуточных (МДА) и конечных (ОШ) метаболитов радикального окисления в тканях [11].

Таблица 1 – Показатели пероксидного окисления липидов и антиоксидантной защиты в крови крыс.

Гр уп па	I_{DCF} , усл. ед.	МДА, мкмоль/л	ДК, отн. ед./ мг липидов	КД, отн. ед./ мг липидов	ОШ, отн. ед./ мл сыв.	Активность каталазы, мкМ H_2O_2 / л×мин× 10^3	Активность глутатион- пероксидазы, мкМ G-SH/л× мин× 10^3
I	266,8±31,0	1,4±0,13	0,06±0,004	0,03±0,002	0,54±0,07	55,7±2,41	25,6±0,73
II	267,9±33,52	1,3±0,11	0,05±0,007	0,03±0,009	0,53±0,08	61,9±2,85	25,5±1,29
III	239,4±26,52	1,4±0,12	0,06±0,006	0,03±0,008	0,53±0,13	63,4±2,36	25,5±0,76
IV	246,3±25,08	1,3±0,06	0,05±0,012*	0,03±0,01*	0,64±0,23	63,5±3,54	25,3±0,90
V	659,3±123,77*	1,2±0,14	0,08±0,003*	0,04±0,002*	0,54±0,14	25,1±1,12*	15,5±2,60*
VI	369,0±63,87	1,6±0,06	0,08±0,007*	0,04±0,004*	0,63±0,18	21,2±1,08* ⁺	23,0±4,78*
VII	562,8±108,55*	1,6±0,16	0,11±0,033*	0,04±0,004*	0,49±0,10	22,7±1,24*	15,7±2,28*
VIII	561,3±83,33*	1,4±0,11	0,07±0,005	0,03±0,002 ⁺	0,78±0,16	23,2±1,17*	11,0±1,22*
IX	231,5±36,18 ⁺	1,4±0,04	0,05±0,002 ⁺	0,02±0,001 ⁺	0,58±0,20	61,2±0,93 ⁺	27,7±0,81 ⁺
X	239,3±16,86 ⁺	1,5±0,02	0,05±0,002 ⁺	0,03±0,001 ⁺	0,55±0,23	60,4±1,66 ⁺	27,6±0,62 ⁺
XI	182,5±40,47 ⁺	1,4±0,05	0,06±0,002 ⁺	0,03±0,002 ⁺	0,34±0,05	63,6±1,27* ⁺	26,5±0,76* ⁺

Примечание: * - статистически значимое отличие от группы I при $p < 0,05$; + - статистически значимое отличие от группы V при $p < 0,05$.

Снижение активности антиоксидантных ферментов в крови возможно в результате окислительного и токсического действия ЦФ [12]. Вероятно, курсовое применение исследуемых фармацевтических субстанций приводило к модулированию антиоксидантной системы крыс, что выражалось в увеличении активности каталазы и глутатионпероксидазы, которая при введении ЛКСПК даже превышала эти показатели у крыс из группы негативного контроля. Это вызывало снижение генерации АФК индуцированной ЦФ в клетках крови и приводило к обрыву цепей ПОЛ, что подтверждается результатами исследований, свидетельствующих об увеличении активности антиоксидантных ферментов после курсового введения препаратов, содержащих криофракцию селезенки, свиноматкам [13]. Другие исследования показывают снижение свободнорадикального окисления в тканях при использовании экстрактов селезенки и плаценты животных, которые оказывали антиоксидантное, антиоксическое и противовоспалительное действие [14, 15]. Таким образом, исследованные нами фармацевтические субстанции ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК оказали антиоксидантное действие в условиях окислительного стресса, индуцированного ЦФ, у подопытных крыс.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В результате проведенных исследований установлено, что однократное введение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК не индуцировало статистически значимых изменений в показателях ПОЛ и АОЗ в крови крыс. Курсовое применение ГКСК, ЛКСК и ЛКСПК крысам приводило к снижению окислительного стресса, индуцированного ЦФ благодаря влиянию на ферменты антиоксидантной системы. Это выражалось в значительном (более чем в 2 раза) увеличении активности каталазы, а также активности глутатионпероксидазы (на 71-79%), снижении содержания внутриклеточных АФК, ДК и КД относительно животных группы позитивного контроля. Таким образом, фармацевтические субстанции, содержащие гидрофильную

криофракцию селезенки КРС, липофильную криофракцию селезенки КРС и смесь липофильных криофракций селезенки и плаценты КРС обладали антиоксидантным эффектом, проявляющимся благодаря модуляции активности ферментативного звена антиоксидантной системы.

STUDY OF THE ANTIOXIDANT EFFECT OF CRYOFRACTIONS OF THE SPLEEN AND PLACENTA OF CATTLE

Vostroilova G.A. – doctor of Biological Sciences, Chief Researcher (ORCID 0000-0002-2960-038X), **Parshin P.A.** – doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of the All-Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy (ORCID 0000-0002-8790-0540), **Shabanov D.I.** – Researcher (ORCID 0000-0002-1574-1317), **Khokhlova N.A.** – candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0001-6861-2554), **Korchagina A.A.** – candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0002-8561-417X), **Nekrasov A.V.** – Junior Researcher (ORCID ID 0000-0002-5957-1583), **Nezhinsky A.A.** – Junior Researcher (ORCID 0009-0002-1141-8325)

All-Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy

*am7d@mail.ru

Financing: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-26-00034, <https://rscf.ru/project/24-26-00034/>.

ABSTRACT

Maintaining the genetic stability of farm animals under adverse environmental conditions is often associated with the state of the antioxidant system and is a pressing issue in veterinary medicine. Our data demonstrate that pharmaceutical substances containing hydrophilic bovine spleen cryofraction (HBSC), lipophilic bovine spleen cryofraction (LBSC), and a mixture of lipophilic bovine spleen and placenta cryofraction (LBSPC) exerted an antimutagenic effect on

the animals; however, the mechanism of this effect is far from fully understood. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of HBSC, LBSC, and LBSPC on certain parameters of lipid peroxidation (LPO) and antioxidant defense (AOD) in the blood of rats under conditions of oxidative stress induced by cyclophosphamide (CP). The effects of separate intramuscular administration of pharmaceutical substances at a dose of 0.5 ml/kg and their combined administration with an intraperitoneal injection of CP at a dose of 40 mg/kg in white laboratory male rats were studied. The effects of three doses of HBSC, LBSC, and LBSPC administered 24 hours apart before the CP injection were also studied. A single administration of HBSC, LBSC, and LBSPC did not induce statistically significant changes in lipid peroxidation and antioxidant protection in the blood of rats. A course of HBSC, LBSC, and LBSPC administered to rats reduced oxidative stress induced by CP due to its effect on antioxidant enzymes. This was reflected in a significant (more than 2-fold) increase in catalase activity, as well as glutathione peroxidase activity (by 71-79%), and a decrease in the levels of intracellular reactive oxygen species, diene conjugates, and ketodienes relative to animals in the positive control group. Thus, HBSC, LBSC, and LBSPC possessed an antioxidant effect, manifested by modulating the activity of the enzymatic component of the antioxidant system.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Krishnamurthy, H.K. Oxidative stress: fundamentals and advances in quantification techniques / H.K., Krishnamurthy, M., Pereira, I., Rajavelu, V., Jayaraman, K., Krishna, T., Wang, B., Bei, J.J., Rajasekaran // *Frontiers in chemistry*. – 2024. – Vol. 12. – 1470458. – DOI: 10.3389/fchem.2024.1470458. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39435263/>.
2. Kumaresan, A. Sperm DNA Integrity and Male Fertility in Farm Animals: A Review. / A., Kumaresan, M., Das Gupta, T.K., Datta, J.M., Morrell, // *Frontiers in veterinary science*. – 2020. – Vol.7. – 321. – DOI 10.3389/fvets.2020.00321. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32637425/>.
3. Al-Naqeb, G. Genotoxic and antigenotoxic medicinal plant extracts and their main phytochemicals: "A review" / G., Al-Naqeb, A., Kalmpourtzidou, F., Giampieri, R., De Giuseppe, H., Cena // *Frontiers in pharmacology*. – 2024. – Vol. 15. – 1448731. – DOI: 10.3389/fphar.2024.1448731. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39679368/>.
4. Востроилова, Г.А. Исследование антимутагенного действия гидрофильной криофракции селезенки крупного рогатого скота / Г. А. Востроилова, С. В. Шабунин, Д. И. Шабанов, Хохлова Н. А., Корчагина А. А., М. Ю. Сыромятников, А. В. Некрасов, М. А. Селютина, Д. Д. Морозова // *Сельскохозяйственная биология*. – 2024. – Т. 59. – № 6. – С. 1192-1203. – DOI 10.15389/agrobiology.2024.6.1192rus. Режим доступа: <https://agrobiology.ru/6-2024vostroilova.html>.
5. Востроилова, Г.А., Исследование влияния липофильных криофракций селезенки и плаценты крупного рогатого скота на мышей в условиях генотоксического действия митомицина / Г. А. Востроилова, Д. И. Шабанов, Н. А. Хохлова, А. А. Корчагина, А. В. Некрасов, М. Ю. Сыромятников, Н. А. Стрельников // *Аграрная наука*. – 2025. – Т. 398(09). – С. 22-29. – DOI 10.32634/0869-8155-2025-398-09-22-29. Режим доступа: <https://www.vetpress.ru/jour/issue/current>.
6. Veskoukis, A.S. Blood reflects tissue oxidative stress depending on biomarker and tissue studied / A. S. Veskoukis, M. Nikolaidis, A. Kyparos, D. Kouretas // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2009. – Vol. 47 (10). – P. 1371-1374. – DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2009.07.014. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19616614/>.
7. Шабунин, С.В. Антикластогенная активность аминоселетона при воздействии циклофосфида на костный мозг мышей / С. В. Шабунин, Г. А. Востроилова, П. А. Паршин, Д. И. Шабанов, Н. А. Хохлова // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56, № 4. – С. 763-771. – DOI:

- 10.15389/agrobiology.2021.4.763rus. Режим доступа: <https://agrobiology.ru/articles/4-2021shabunin.pdf>
8. Рецкий, М.И. Методические положения по изучению процессов свободнорадикального окисления и системы антиоксидантной защиты организма / М.И. Рецкий, С.В. Шабунин, Г.Н. Близнецова [и др.] – Воронеж, 2010. – 61с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22516952>.
9. Liu L. Two sesquiterpene aminoquinones protect against oxidative injury in HaCaT keratinocytes via activation of AMPK α /ERK-Nrf2/ARE/HO-1 signaling. / L., Liu, W., Wu, J., Li, W.H., Jiao, L.Y., Liu, J., Tang, L., Liu, F., Sun, B.N., Han, H.W., Lin // *Bio-medicine & pharmacotherapy*. – 2018. – Vol. 100. – P. 417-425. – DOI: 10.1016/j.biopha.2018.02.034. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29471244/>.
10. Khalaf, M.M., Salih R.A. Biochemical Effect Of The Protective Effect Of Quercetin After Induced Hepatotoxicity By Cyclophosphamide In Male Rats. / M.M., Khalaf, R.A., Salih // *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. – 2023. – Vol. 11(10). P. 1697-1707. – DOI: 10.17582/journal.aavs/2023/11.10.1697.1707. Режим доступа: <https://nexusacademicpublishers.com/journal/4>
11. Yadav, V. Amelioration of cyclophosphamide-induced DNA damage, oxidative stress, and hepato- and neurotoxicity by Piper longum extract in rats: The role of γ H2AX and 8-OHdG / V., Yadav, A., Krishnan, S., Zahiruddin, S., Ahmad, D., Vohora // *Frontiers in pharmacology*. – 2023. – Vol. 14. – 1147823. – DOI: 10.3389/fphar.2023.1147823. Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2023.1147823/full>
12. Olowe, T.G. Cytotoxic Properties of Cyclophosphamide: A Focus on Its Mechanistic Impacts on Male Gonadal Functions / T.G., Olowe, M.O., Oyovwi, K.E., Nwangwa, E.P., Ohwin, O.B. Oghenetega, // *J Explor Res Pharmacol*. – 2024. – Vol. 9(2). – P. 106–115. – DOI 10.14218/JERP.2023.00025S. – Режим доступа: <https://www.xiahepublishing.com/2572-5505/JERP-2023-00025S>
13. Шабунин, С.В. Влияние аминокислот на состояние прооксидантной и антиоксидантной систем крови у свиноматок / С. В. Шабунин, А. Г. Шахов, Г. А. Востроилова, П. А. Паршин, Т. Г. Ермолова, Н. А. Хохлова, Г. Н. Близнецова // *Достижения науки и техники АПК*. – 2019. – Т. 33(7). – С. 71-74. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10716. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39205932>.
14. Shen, L.H. Protective Effect and Mechanism of Placenta Extract on Liver / L.H., Shen, L., Fan, Y., Zhang, Y.K., Zhu, X.L., Zong, G.N., Peng, S.Z., Cao // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14(23). – 5071. – DOI: 10.3390/nu14235071. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36501102/>
15. Tu, G. Effects of extracts from soothing-liver and invigorating-spleen formulas on the injury induced by oxidative stress in the hepatocytes of rats with non-alcoholic fatty liver disease induced by high-fat diet / G., Tu, X., Gong, Q., Yang, Y., Li, G., Wang, Y., Liang, Y., Zhang, H., Yan, C., Lin, J., Zhang // *Journal of traditional Chinese medicine*. – 2018. – Vol. 38(4). – P. 535-547. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32186078/>

REFERENCES

1. Krishnamurthy H.K. Oxidative stress: fundamentals and advances in quantification techniques / H.K., Krishnamurthy, M., Pereira, I., Rajavelu, V., Jayaraman, K., Krishna, T., Wang, B., Bei, J.J., Rajasekaran // *Frontiers in chemistry*. 2024: 12: 1470458. DOI: 10.3389/fchem.2024.1470458. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39435263/>.
2. Kumaresan A. Sperm DNA Integrity and Male Fertility in Farm Animals: A Review./ A., Kumaresan, M., Das Gupta, T.K., Datta, J.M., Morrell, // *Frontiers in veterinary science*. 2020: 7: 321. DOI 10.3389/fvets.2020.00321. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32637425/>.
3. Al-Naqeb, G. Genotoxic and antigenotoxic medicinal plant extracts and their main phytochemicals: "A review" / G., Al-Naqeb, A., Kalmpourtzidou, F., Giampieri, R., De

- Giuseppe, H., Cena // *Frontiers in pharmacology*. 2024: 15: 1448731. DOI: 10.3389/fphar.2024.1448731. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39679368/>.
4. Vostroilova, G.A. Study of the antimutagenic effect of the hydrophilic cryofraction of the spleen of cattle / G. A. Vostroilova, S. V. Shabunin, D. I. Shabanov, N. A. Khokhlova, A. A. Korchagina, M. Yu. Syromyatnikov, A. V. Nekrasov, M. A. Sel'yutina, D. D. Morozova // *Agricultural biology*. 2024:59(6): 1192-1203. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-22-29. URL: <https://agrobiology.ru/6-2024vostroilova.html>. (in Rus.)
5. Vostroilova, G.A., Study of the influence of lipophilic cryofractions of spleen and placenta of cattle on mice under conditions of genotoxic action of mitomycin / G. A. Vostroilova, D. I. Shabanov, N. A. Khokhlova, A. A. Korchagina, A. V. Nekrasov, M. Yu. Syromyatnikov, N. A. Strelnikov // *Agrarian science*. 2025: 398(09): 22–29. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-22-29. URL: <https://www.vetpress.ru/jour/issue/current> (in Rus.).
6. Veskoukis, A.S. Blood reflects tissue oxidative stress depending on biomarker and tissue studied / A. S. Veskoukis, M. Nikolaidis, A. Kyparos, D. Kouretas // *Free Radical Biology and Medicine*. 2009: 47(10): 1371-1374. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2009.07.014. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19616614/>.
7. Shabunin S.V. Anticlastogenic activity of aminoseleuton under the influence of cyclophosphamide on the bone marrow of mice / S. V. Shabunin, G. A. Vostroilova, P. A. Parshin, D. I. Shabanov, N. A. Khokhlova // *Agricultural biology*. 2021. 56(4): 763-771. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.4.763rus. URL: <https://agrobiology.ru/articles/4-2021shabunin.pdf>
8. Retsky M.I. Methodological provisions for the study of free radical oxidation processes and the body's antioxidant defense system / M.I. Retsky, S.V. Shabunin, G.N. Bliznetsova et al. - Voronezh, 2010: p. 61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22516952> (in Rus.).
9. Liu L. Two sesquiterpene aminoquinones protect against oxidative injury in HaCaT keratinocytes via activation of AMPK α /ERK-Nrf2/ARE/HO-1 signaling. / L., Liu, W., Wu, J., Li, W.H., Jiao, L.Y., Liu, J., Tang, L., Liu, F., Sun, B.N., Han, H.W., Lin // *Bio-medicine & pharmacotherapy*. 2018: 100: 417-425. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.02.034. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29471244/>.
10. Khalaf M.M., Salih R.A. Biochemical Effect Of The Protective Effect Of Quercetin After Induced Hepatotoxicity By Cyclophosphamide In Male Rats. / M.M., Khalaf, R.A., Salih // *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2023:11(10): 1697-1707. DOI: 10.17582/journal.aavs/2023/11.10.1697.1707. URL: <https://nexusacademicpublishers.com/journal/4>
11. Yadav, V. Amelioration of cyclophosphamide-induced DNA damage, oxidative stress, and hepato- and neurotoxicity by Piper longum extract in rats: The role of γ H2AX and 8-OHdG / V., Yadav, A., Krishnan, S., Zahiruddin, S., Ahmad, D., Vohora // *Frontiers in pharmacology*. 2023: 14. 1147823. DOI: 10.3389/fphar.2023.1147823. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2023.1147823/full>.
12. Olowe, T.G. Cytotoxic Properties of Cyclophosphamide: A Focus on Its Mechanistic Impacts on Male Gonadal Functions / T.G., Olowe, M.O., Oyovwi, K.E., Nwangwa, E.P., Ohwin, O.B. Oghenetega, // *J Explor Res Pharmacol*. 2024: 9(2): 106–115. DOI: 10.14218/JERP.2023.00025S. URL: <https://www.xiahepublishing.com/2572-5505/JERP-2023-00025S>
13. Shabunin S.V. The influence of aminoseleuton on the state of the prooxidant and antioxidant systems of the blood in sows / S. V. Shabunin, A. G. Shakhov, G. A. Vostroilova, P. A. Parshin, T. G. Ermolova, N. A. Khokhlova, G. N. Bliznetsova // *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2019: 33(7). 71-74. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10716. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39205932> (in Rus.).
14. Shen L.H. Protective Effect and Mecha-

nism of Placenta Extract on Liver / L.H., Shen, L., Fan, Y., Zhang, Y.K., Zhu, X.L., Zong, G.N., Peng, S.Z., Cao // *Nutrients*. 2022: 14(23): 5071. DOI: 10.3390/nu14235071. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36501102/>
15. Tu G. Effects of extracts from soothing-liver and invigorating-spleen formulas on the

injury induced by oxidative stress in the hepatocytes of rats with non-alcoholic fatty liver disease induced by high-fat diet / G., Tu, X., Gong, Q., Yang, Y., Li, G., Wang, Y., Liang, Y., Zhang, H., Yan, C., Lin, J., Zhang // *Journal of traditional Chinese medicine*. 2018: 38(4): 535-547. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32186078/>.

УДК: 575.174.4

DOI:10.52419/issn2072-2419.2026.1.323

АНАЛИЗ ГОМОЗИГОТНЫХ РАЙОНОВ В ГЕНОМЕ КУР ПОРОДЫ КИТАЙСКАЯ ШЕЛКОВАЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕНОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА АДАПТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА ПТИЦЫ

Дементьева Н.В.* – канд. биол. наук, зав. лаборатории молекулярной генетики (ORCID 0000-0003-0210-9344); Щербаков Ю.С. – канд. биол. наук, мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-6434-6287); Николаева О.А. – аспирант (ORCID 0000-0003-3828-1111); Вахрамеев А.Б. – вед. зоотехник (ORCID 0000-0001-5166-979X); Митрофанова О.В., канд. биол. наук, вед. биолог (ORCID 0000-0003-4702-2736)

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста»

*dementevan@mail.ru

Ключевые слова: гомозиготные районы, полногеномное секвенирование, китайская шелковая порода кур, следы селекции, ROH

Key words: homozygous regions, whole genome sequencing, Chinese Silkie chicken breed, selection traces, ROH

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-16-00174, <https://rscf.ru/project/24-16-00174/>, с использованием популяций кур «Генетической коллекции редких и исчезающих пород кур» (ВНИИГРЖ, Санкт-Петербург, Пушкин).

Поступила: 01.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Гомозиготные районы в геноме являются маркерами регионов, испытывающих селекционное давление. Предположительно в этих регионах находятся гены, отвечающие за проявление целевых признаков отбора. В нашей работе было проведено полногеномное генотипирование с 30-кратным покрытием ДНК, выделенной из крови кур породы китайская шелковая (n=20), содержащихся в ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» (ВНИИГРЖ, г. Санкт-Петербург - Пушкин). Цель данного исследования – выявление в исследуемой выборке регионов гомозиготности с поиском в этих регионах генов, связанных с адаптационными свойствами и иммунной резистентностью. После фильтрации в анализе использовались 10593367 SNP. Обнаружены гомозиготные районы на первой, третьей, четвертой, седьмой и девятой хромосомах. Выявлено 9 регионов, которые суммарно содержат 40 генов. Нами были аннотированы 25 генов, из которых в текущем исследовании будут рассмотрены гены, которые прямо или опосредовано оказывают влияние на адаптационные свойства кур и иммунный ответ: ген *HAAO*, на хромосоме 3; гены *ATP5G3*, *ATF2*, *WIPF1*, *SCRN3*, *CIRI1*, *OLA1* на хромосоме 7. Функциональная аннотация этих генов показала их связь с адаптивными и физиологическими процессами у кур. Ген

НААО выполняет ряд функций, среди которых реакция на тепловой стресс. Гены *ATF2*, *ATP5G3*, *OLA1*, *WIPF1*, *SCRN3* и *CIR1* формируют район, связанный со стресс-реактивностью, иммунным ответом, митохондриальной функцией и клеточным гомеостазом. Эти гены регулируют энергетический обмен, окислительный стресс, воспалительные сигналы, заживление тканей и межклеточную коммуникацию. Совокупно они отражают значимость метаболической устойчивости, иммунной защиты и стресс-адаптации для фенотипических особенностей изучаемой популяции. Предположительно, гомозиготное состояние вышеперечисленных генов имеет влияние на выносливость и высокую приспособленность к разным условиям жизни китайских шелковых кур.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Селекция в искусственно сформированных популяциях направлена на закрепление хозяйственно значимых фенотипов, однако её последствия наиболее отчетливо проявляются на уровне генома. Одним из наиболее информативных индикаторов селекционного давления являются районы гомозиготности (runs of homozygosity, ROH), которые отражают историю инбридинга и могут включать гены, связанные с характерными признаками изучаемой породы [1-3]. Считается, что протяжённость ROH-фрагментов отражает давность формирования гомозиготных участков: длинные регионы свидетельствуют о недавнем инбридинге, тогда как короткие указывают на более древние события [4]. Для китайских шелковых кур характерны сниженное генетическое разнообразие и высокий уровень инбридинга, проявляющиеся в большом количестве ROH разной длины [5]. Эта порода известна со времён Китая XII века и обладает рядом уникальных признаков — пушистым оперением без крючков, напоминающим кошачий мех, оперенными голеньями, полидактилией и выраженной гиперпигментацией тканей. Особенности меланиновой пигментации связаны с повышенным содержанием белка в мышцах и низким уровнем жира, а также с антиоксидантными и глюкозосвязывающими свойствами мяса [5-6]. Специфической особенностью породы является «шелковистое» оперение, которое характеризуется нарушением аппарата сцепления крючков и бородок пера [7]. Был идентифицирован кандидатный ген *PDSS2*, влияющий на структуру пера [8]. К характеристикам породы также отно-

сятся такие морфологические особенности, как полидактилия. Ранее был идентифицирован кандидатный ген *LMBR1*, влияющий на этот признак у кур [9].

Разнообразие фенотипических и физиологических свойств делает китайских шелковых кур ценным объектом для изучения генетических механизмов пигментации, адаптации и метаболизма [10–11].

Цель настоящего исследования - выявление ROH-регионов в геноме китайских шелковых кур и поиск генов, потенциально связанных с адаптационными свойствами и иммунным ответом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

У кур, породы китайская шелковая в возрасте 52 недель были отобраны образцы крови из подкрыльцовой вены (n=20). Выделение ДНК проводилось стандартным методом с использованием фенольной экстракции. Чистоту и концентрацию ДНК образцов оценивали на спектрофотометре NanoDrop 2000c (ThermoFisher Scientific Inc., США).

Образцы с хорошим качеством ДНК направлялись на полногеномное секвенирование с 30-кратным покрытием. В результате было детектировано 11788716 SNP. Оценку качества и фильтрации ридов проводили в программах FastQC и FastP. В качестве референсного генома был взят геном из международной базы Ensembl *Gallus_gallus_gca000002315v5.GRCg6a*.

Для фильтрации SNP использовались параметры: --maf 0.05, --geno 0.02, --hwa 0.0001, в результате чего в анализе осталось 10 593 367 SNP. Для исключения влияния пола, исключались SNP на половых хромосомах.

Анализ ROH-регионов проводили при помощи программного обеспечения PLINK 1.9 и пакета detectRuns в среде программирования R по следующим параметрам: размер окна – 150 SNPs; порог перекрытия окна – 0,1; минимальное количество SNPs в регионе – 200; максимальное количество гетерозиготных SNPs в окне – 1. Границы выявленных ROH-регионов определяли по сборке референсного генома GRCg6a. Для обнаружения перспективных генов-кандидатов проводили аннотирование генов в рамках обнаруженных районов в геномном браузере Ensembl.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате полногеномного поиска ассоциаций у кур породы китайская шелковая обнаружены гомозиготные районы на первой, третьей, четвертой, седьмой и девятой хромосомах. В общей сложности в этих ROH-регионах сосредоточены 40 генов, из которых аннотированы 25 и представлены в таблице 1.

На первой хромосоме ген *FBXO18* участвует в поддержании целостности генома, действуя как антирекомбинагенная хеликаза, что можно отнести к процессам гомеостаза и адаптации. Однако, исследований, подтверждающих его влияние на способность к адаптации у птиц, не было обнаружено.

В ROH-регионе третьей хромосомы был аннотирован ген *НААО*. Ген *НААО* вовлечен в метаболизм триптофана и участвует у птиц в синтезе хинолиновой кислоты (QUIN) из 3-гидроксиантраниловой кислоты, необходимой для поддержки иммунной системы и нормального функционирования нервной системы. Ген *НААО* необходим для синтеза НАД (никотинамидадениндинуклеотида) – критически значимого кофермента для энергетического метаболизма, включенного почти во все метаболические пути, связанные с выработкой энергии. Действие НАД у птиц способствует адаптации к жарким климатическим условиям [12]. В других исследованиях в ответ на тепловой стресс транскриптомный про-

филь печени бройлеров показал повышенный уровень экспрессии *НААО*, что являлось следствием повышенного метаболизма триптофана и производства ниацина [13]. Также фермент *НААО* регулирует содержание промежуточного триптофанового соединения – 5-гидроксииндола, что приводит к образованию более интенсивной желтой окраски абдоминального жира у кур. [14].

В гомозиготном регионе седьмой хромосомы выявлен пул генов, участвующих в регуляции иммунной системы. Иммуномодулирующими функциями обладают белковые продукты гена *ATF2*, которые участвуют в иммунном ответе, реагируя на стресс-индуцированные изменения экспрессии генов [15-16]. Транскрипционно неактивный вариант *ATF2* способен вызывать меланогенез у человека, при этом данный ген у китайской шелковой породы кур может быть связан с темным окрасом мяса и кожи [17]. В иммунный ответ у кур также может быть вовлечен ген *ATP5G3* [18], хотя данный ген главным образом обеспечивает синтез АТФ, так как кодирует субъединицу митохондриальной АТФ-синтазы, что критически важно для энергоснабжения клеток, особенно в условиях иммунной активации [19-20]. Ген *OLA1*, также связанный с митохондриальной функцией, регулирует клеточный ответ на окислительный стресс, влияет на пролиферацию и миграцию эндотелиальных и гладкомышечных клеток аорты [21-22]. Косвенное участие в иммунитете птиц также имеет ген *WIPF1*, который главным образом участвует в организации актинового цитоскелета, но одновременно с этим влияет на развитие тканей и заживление ран [23-24]. *SCRN3* регулируется воспалительными сигналами и участвует в белковой сортировке [25-26]. Экспрессия гена *SCRN3* регулируется провоспалительными сигналами путями, а белковый продукт *SCRN3* участвует в тепловой ноцицепции, что подразумевает физиологический механизм восприятия, передачи и обработки сигналов, поступающих на сенсорные рецепторы боли. [25-26]. Мутантный

вариант гена *CIR1* демонстрирует зависимость от салициловой кислоты экспрессию защитных генов и повышенную устойчивость к биотрофным патогенам [27]. Основная же функция *CIR1* - участие в пути

межклеточной коммуникации - Notch, который запускает плеiotропные эффекты и влияет на регуляцию генов в контексте роста и развития клетки [28].

Таблица 1 – Найденные локусы генов в соответствии с указанной хромосомой и районом их расположения

Chr	Регион	Идентификаторы генов
GGA1	1642728-1744426	<i>ENSGALT00000008153</i> , <i>FBXO18</i> , <i>ANKRD16</i> , <i>GDII</i> , <i>TASOR2</i> , <i>ENSGALT00000053060</i>
GGA3	108318347-108543422	Не обнаружены
	37471654-37550492	<i>RYR2</i> , <i>gga-mir-135b</i>
	33332041-33383830	Не обнаружены
	24173262 - 24252795	<i>HAAO (3-hydroxyanthranilate 3,4-dioxygenase)</i> , <i>ENSGALG00000052550</i>
GGA4	6235738-62489447	Не обнаружены
	63720064 - 64060662	<i>TUSC3</i> , <i>ENSGALG00000053101</i> , <i>ENSGALG00000048353</i> , <i>SGCZ</i> , <i>gga-mir-383</i>
GGA7	16518016-16977688	<i>ENSGALG00000048418</i> , <i>ATP5G3 (ATP synthase, H⁺ transporting, mitochondrial Fo complex subunit C3)</i> , <i>ATF2 (activating transcription factor 2)</i> , <i>ENSGALG00000026082</i> , <i>CHN1 (chimerin 1)</i> , <i>gga-mir-1570</i> , <i>CHRNA1 (cholinergic receptor nicotinic alpha 1 subunit)</i> , <i>WIPF1 (WAS/WASL interacting protein family member 1)</i> , <i>GPR155 (WAS/WASL interacting protein family member 1)</i> , <i>SCRN3 (secernin 3)</i> , <i>CIR1 (corepressor interacting with RBPJ, 1)</i> , <i>SP9 (Sp9 transcription factor)</i> , <i>OLA1 (Obg like ATPase 1)</i>
GGA9	205119430 - 20921299	<i>ENSGALG00000009458</i> , <i>gga-mir-551</i> , <i>ENSGALG00000048084</i> , <i>GOLIM4</i> , <i>ENSGALG00000009468</i> , <i>PDCD10</i> , <i>ENSGALG00000052998</i> , <i>ENSGALG00000054350</i> , <i>ENSGALG00000028207</i> , <i>ENSGALG00000049546</i> , <i>ENSGALG00000051084</i> , <i>ENSGALG00000048817</i>

Примечание: Жирным шрифтом обозначены гены-кандидаты иммунной устойчивости и влияющие на адаптацию к условиям внешней среды; Chr-хромосома.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В ходе анализа данных полногеномного генотипирования, проведенного на ДНК кур породы китайская шелковая, разводимых в рамках ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» (ВНИИГРЖ, г. Санкт-Петербург – Пушкин) обнаружены гомозиготные районы на первой, третьей, четвертой, седьмой и девятой хромосомах. Выявлено 9

регионов гомозиготности, три из них не содержат гены. Всего в данных регионах было аннотировано 25 генов. Из них к генам, которые опосредовано оказывают влияние на адаптационные свойства кур и иммунный ответ на хромосоме 3 обнаружен ген *HAAO*; на хромосоме 7 - гены *ATF2*, *ATP5G3*, *OLA1*, *WIPF1*, *SCRN3* и *CIR1*. Учитывая, что регионы гомозиготности находятся под селекционным дав-

лением, можно предположить, что у китайских шелковых кур произошло накопление данных генов, что способствовало их высокой приспособленности к разным условиям жизни.

ANALYSIS OF HOMOZYGOUS REGIONS IN THE GENOME OF CHINESE SILKIE CHICKENS TO IDENTIFY GENES AFFECTING ADAPTIVE PROPERTIES

Dementieva N.V.* – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Molecular Genetics (ORCID 0000-0003-0210-9344); **Shcherbakov Yu.S.** – Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics (ORCID 0000-0001-6434-6287); **Nikolaeva O.A.** – Postgraduate Student Of The Laboratory Of Molecular Genetics (ORCID 0000-0003-3828-1111); **Vakhrameev A.B.** – Leading Livestock Specialist (ORCID 0000-0001-5166-979X); **Mitrofanova O.V.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Biologist of the Molecular Genetics Laboratory (ORCID 0000-0003-4702-2736)

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

*dementevan@mail.ru

Funding: The study was supported by grant No. 24-16-00174 from the Russian Science Foundation, <https://rscf.ru/project/24-16-00174/>, using chicken populations from the Genetic Collection of Rare and Endangered Chicken Breeds (VNIIGRZH, St. Petersburg, Pushkin).

ABSTRACT

Homozygous regions in the genome serve as markers of areas under selective pressure. These regions likely harbor genes responsible for key production traits targeted in breeding programs. For this study, we performed whole-genome genotyping at 30×coverage on DNA extracted from blood samples of Chinese Silk chicken (n=20) maintained at the Center for Genetic Collections of Rare and Endangered Chicken

Breeds (Pushkin, St. Petersburg, Russia). Our aim was to identify runs of homozygosity (ROH) in this population and pinpoint genes within them that relate to adaptive traits and immune resilience. After quality filtering, we analyzed 10,593,367 SNPs. We detected ROH on chromosomes 1, 3, 4, 7, and 9, encompassing nine regions that collectively contain 40 genes. Of these, we annotated 25 genes; here, we focus on those that directly or indirectly influence adaptive capacity and immune responses in chickens: *HAAO* gene on chromosome 3, and *ATP5G3*, *ATF2*, *WIPF1*, *SCRN3*, *CIR1*, and *OLA1* genes on chromosome 7. Functional annotation links these genes to adaptive and physiological processes in chickens. The *HAAO* gene contributes to multiple roles, including the heat stress response. Meanwhile, *ATF2*, *ATP5G3*, *OLA1*, *WIPF1*, *SCRN3*, and *CIR1* form a cluster associated with stress reactivity, immune function, mitochondrial activity, and cellular homeostasis. Together, they modulate energy metabolism, oxidative stress, inflammatory signaling, tissue repair, and intercellular communication. This gene set underscores the importance of metabolic robustness, immune defense, and stress adaptation to the distinctive phenotype of the Chinese Silk chicken population. We posit that homozygosity at these loci enhances the breed's hardiness and adaptability across diverse rearing conditions.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kirin M., McQuillan R., Franklin C. S. et al. Genomic runs of homozygosity record population history and consanguinity. *PloS one*. 2010; 5(11):e13996. doi: 10.1371/journal.pone.0013996
2. Dementieva N.V., Kudinov A.A., Larkina T.A., et al. Genetic Variability in Local and Imported Germplasm Chicken Populations as Revealed by Analyzing Runs of Homozygosity. *Animals*. 2020;10. doi:10.3390/ani10101887.
3. Fedorova E.S., Dementieva N.V., Shcherbakov Y.S., Stanishkevskaya O.I. Identification of Key Candidate Genes in Runs of Homozygosity of the Genome of Two Chicken

- Breeds, Associated with Cold Adaptation. *Biology* (Basel) 2022;11. doi: 10.3390/biology11040547.
4. Dementieva N.V., Shcherbakov Y.S., Stanishevskaya O.I., et al. Large-scale genome-wide SNP analysis reveals the rugged (and ragged) landscape of global ancestry, phylogeny, and demographic history in chicken breeds. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2024 Apr 15;25(4):324-340. doi:10.1631/jzus.B2300443.
5. Huang R., Zhu C., Zhen Y. Genetic diversity, demographic history, and selective signatures of Silkie chicken. *BMC genomics*. 2024; 25(1):754. doi: 10.1186/s12864-024-10671-x
6. Prakash A., Singh Y., Chatli M., et al. Review of the black meat chicken breeds: Kadaknath, Silkie, and Ayam Cemani. *World's Poultry Science Journal*. 2023;79(4):879–891. doi: 10.1080/00439339.2023.225032
7. Вахрамеев, А. Б. Экстерьерная оценка кур / А. Б. Вахрамеев, А. В. Макарова. – Дубровицы: Эрнста, 2021. – 227 с. – ISBN 978-5-902483-64-9.
8. Feng C., Gao Y., Dorshorst B. et al. A cis-regulatory mutation of PDSS2 causes silky-feather in chickens. *PLoS genetics*. 2014;10(8):e1004576. doi: 10.1371/journal.pgen.1004576
9. He C., Chen Y., Yang K. et al. Genetic pattern and gene localization of polydactyly in Beijing fatty chicken. *PLoS One*. 2017;12(5):e0176113. doi: 10.1371/journal.pone.0176113
10. Yang X, Ma B, Zhao Q, et al. High temporal-resolution transcriptome landscape reveals the biological process and regulatory genes of melanin deposition in breast muscle of Silkie chickens during embryonic development. *BMC Genomics*. 2025.13;26(1):476. doi:10.1186/s12864-025-11654-2
11. Shao B, Wang Z, Luo P, et al. Identifying insulin-responsive circRNAs in chicken pectoralis. *BMC Genomics*. 2025 Feb 15;26(1):148. doi: 10.1186/s12864-025-11347-w.
12. Jamshed L., Debnat A., Jamshed, S., et al. (2022). An Emerging Cross-Species Marker for Organismal Health: Tryptophan-Kynurenine Pathway. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), 6300. doi: 10.3390/ijms23116300
13. Kim D. Y., Han G. P., Lim C., Kim J. M., Kil D. Y. (2023). Effect of dietary betaine supplementation on the liver transcriptome profile in broiler chickens under heat stress conditions. *Animal bioscience*, 36(11), 1632–1646. doi: 10.5713/ab.23.0228
14. Liu X., Men L., Chen Y., et al (2024). Tryptophan Promotes the Production of Xanthophyll Compounds in Yellow Abdominal Fat through HAAO. *Animals: an open access journal from MDPI*, 14(11), 1555. doi: 10.3390/ani14111555
15. Wang Y. (2020). Research Progress on MicroRNAs Involved in the Regulation of Chicken Diseases. *The journal of poultry science*, 57(1), 7–17. doi: 10.2141/jpsa.0190073
16. Bhoulmik A., Ronai Z. (2008). ATF2: a transcription factor that elicits oncogenic or tumor suppressor activities. *Cell cycle* (Georgetown, Tex.), 7(15), 2341–2345. doi: 10.4161/cc.6388
17. Claps G., Cheli Y., Zhang T., et al. (2016). A Transcriptionally Inactive ATF2 Variant Drives Melanomagenesis. *Cell reports*, 15(9), 1884–1892. doi: 10.1016/j.celrep.2016.04.072
18. Wang Y., Miao X., Li H., et al. (2020). The correlated expression of immune and energy metabolism related genes in the response to *Salmonella enterica* serovar Enteritidis inoculation in chicken. *BMC veterinary research*, 16(1), 257. doi: 10.1186/s12917-020-02474-5
19. Yan W. L., Lerner T. J., Haines J. L., Gusella J. F. (1994). Sequence analysis and mapping of a novel human mitochondrial ATP synthase subunit 9 cDNA (ATP5G3). *Genomics*, 24(2), 375–377. doi: 10.1006/geno.1994.1631
20. Huang Y., Wang L., Bennett B., et al. (2013). Potential role of Atp5g3 in epigenetic regulation of alcohol preference or obesity from a mouse genomic perspective. *Genetics and molecular research: GMR*, 12(3), 3662–3674. doi: 10.4238/2013.September.18.1
21. Zhang J., Rubio V., Lieberman M. W., Shi Z. Z. (2009). OLA1, an Olg-like ATPase, suppresses antioxidant response via

nontranscriptional mechanisms. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(36), 15356–15361. doi: 10.1073/pnas.0907213106

22. Lin T. F., Chou C. L., Hsieh C. J., Wu Y. J., Chen Y. C., Wu T. W., Lu S. X., Juang Y. L., Wang L. Y. (2022). Association of Common Variants in OLA1 Gene with Preclinical Atherosclerosis. International journal of molecular sciences, 23(19), 11511. doi: 10.3390/ijms231911511

23. Qian A., Di S., Gao X., et al. (2009). cDNA microarray reveals the alterations of cytoskeleton-related genes in osteoblast under high magneto-gravitational environment. Acta biochimica et biophysica Sinica, 41(7), 561–577. doi: 10.1093/abbs/gmp041

24. Su F., Xiao R., Chen R., et al. (2023). WIPF1 promotes gastric cancer progression by regulating PI3K/Akt signaling in a myocardin-dependent manner. iScience, 26(11), 108273. doi: 10.1016/j.isci.2023.108273

25. Abbasi A. A. (2010). Unraveling ancient segmental duplication events in human genome by phylogenetic analysis of multigene families residing on HOX-cluster paralogs. Molecular phylogenetics and evolution, 57(2), 836–848. doi: 10.1016/j.ympev.2010.07.021

26. Bustin K. A., Shishikura K., Chen I., et al. (2023). Phenelzine-based probes reveal Secernin-3 is involved in thermal nociception. Molecular and cellular neurosciences, 125, 103842. doi: 10.1016/j.mcn.2023.103842

27. Carstens M., McCrindle T. K., Adams N., et al. (2014). Increased resistance to biotrophic pathogens in the Arabidopsis constitutive induced resistance 1 mutant is EDS1 and PAD4-dependent and modulated by environmental temperature. PloS one, 9(10), e109853. doi: 10.1371/journal.pone.0109853

28. Contreras-Cornejo H., Saucedo-Correa G., Oviedo-Boyso J., et al. (2016). The CSL proteins, versatile transcription factors and context dependent corepressors of the notch signaling pathway. Cell division, 11, 12. doi: 10.1186/s13008-016-0025-2

REFERENCES

1. Kirin M., McQuillan R., Franklin C. S. et al. Genomic runs of homozygosity record population history and consanguinity. PloS one. 2010; 5(11):e13996. doi: 10.1371/journal.pone.0013996
2. Dementieva N.V., Kudinov A.A., Larkina T.A., et al. Genetic Variability in Local and Imported Germplasm Chicken Populations as Revealed by Analyzing Runs of Homozygosity. Animals. 2020;10. doi:10.3390/ani10101887.
3. Fedorova E.S., Dementieva N.V., Shcherbakov Y.S., Stanishevskaya O.I. Identification of Key Candidate Genes in Runs of Homozygosity of the Genome of Two Chicken Breeds, Associated with Cold Adaptation. Biology (Basel) 2022;11. doi: 10.3390/biology11040547.
4. Dementieva N.V., Shcherbakov Y.S., Stanishevskaya O.I., et al. Large-scale genome-wide SNP analysis reveals the rugged (and ragged) landscape of global ancestry, phylogeny, and demographic history in chicken breeds. J Zhejiang Univ Sci B. 2024 Apr 15;25(4):324-340. doi:10.1631/jzus.B2300443.
5. Huang R., Zhu C., Zhen Y. Genetic diversity, historical demographics, and selective signatures of Silkies chicken. BMC genomics. 2024; 25(1):754. doi: 10.1186/s12864-024-10671-x
6. Prakash A., Singh Y., Chatli M., et al. Review of the black meat chicken breeds: Kadaknath, Silkie, and Ayam Cemani. World's Poultry Science Journal. 2023; 79 (4):879–891. doi: 10.1080/00439339.2023.225032
7. Vakhrameev, A. B. Exterior evaluation of chickens / A. B. Vakhrameev, A. V. Makarova. – Dubrovitsy: Ernsta, 2021. – 227 p. – ISBN 978-5-902483-64-9.
8. Feng C., Gao Y., Dorshorst B. et al. A cis-regulatory mutation of PDSS2 causes silky-feather in chickens. PLoS genetics. 2014;10 (8):e1004576. doi: 10.1371/journal.pgen.1004576
9. He C., Chen Y., Yang K. et al. Genetic pattern and gene localization of polydactyly in Beijing fatty chicken. PLoS One. 2017;12 (5):e0176113. doi: 10.1371/

- journal.pone.0176113
10. Yang X, Ma B, Zhao Q, et al. High temporal-resolution transcriptome landscape reveals the biological process and regulatory genes of melanin deposition in breast muscle of Silkie chickens during embryonic development. *BMC Genomics*. 2025.13;26(1):476. doi:0.1186/s12864-025-11654-2
11. Shao B, Wang Z, Luo P, et al. Identifying insulin-responsive circRNAs in chicken pectoralis. *BMC Genomics*. 2025 Feb 15;26(1):148. doi: 10.1186/s12864-025-11347-w.
12. Jamshed L., Debnat A., Jamshed, S., et al. (2022). An Emerging Cross-Species Marker for Organismal Health: Tryptophan-Kynurenine Pathway. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), 6300. doi: 10.3390/ijms23116300
13. Kim D. Y., Han G. P., Lim C., Kim J. M., Kil D. Y. (2023). Effect of dietary betaine supplementation on the liver transcriptome profile in broiler chickens under heat stress conditions. *Animal bioscience*, 36(11), 1632–1646. doi: 10.5713/ab.23.0228
14. Liu X., Men L., Chen Y., et al (2024). Tryptophan Promotes the Production of Xanthophyll Compounds in Yellow Abdominal Fat through HAAO. *Animals: an open access journal from MDPI*, 14(11), 1555. doi: 10.3390/ani14111555
15. Wang Y. (2020). Research Progress on MicroRNAs Involved in the Regulation of Chicken Diseases. *The journal of poultry science*, 57(1), 7–17. doi: 10.2141/jpsa.0190073
16. Bhoomik A., Ronai Z. (2008). ATF2: a transcription factor that elicits oncogenic or tumor suppressor activities. *Cell cycle (Georgetown, Tex.)*, 7(15), 2341–2345. doi: 10.4161/cc.6388
17. Claps G., Cheli Y., Zhang T., et al. (2016). A Transcriptionally Inactive ATF2 Variant Drives Melanomagenesis. *Cell reports*, 15(9), 1884–1892. doi: 10.1016/j.celrep.2016.04.072
18. Wang Y., Miao X., Li H., et al. (2020). The correlated expression of immune and energy metabolism related genes in the response to *Salmonella enterica* serovar Enteritidis inoculation in chicken. *BMC veterinary research*, 16(1), 257. doi: 10.1186/s12917-020-02474-5
19. Yan W. L., Lerner T. J., Haines J. L., Gusella J. F. (1994). Sequence analysis and mapping of a novel human mitochondrial ATP synthase subunit 9 cDNA (ATP5G3). *Genomics*, 24(2), 375–377. doi: 10.1006/geno.1994.1631
20. Huang Y., Wang L., Bennett B., et al. (2013). Potential role of Atp5g3 in epigenetic regulation of alcohol preference or obesity from a mouse genomic perspective. *Genetics and molecular research: GMR*, 12(3), 3662–3674. doi: 10.4238/2013.September.18.1
21. Zhang J., Rubio V., Lieberman M. W., Shi Z. Z. (2009). OLA1, an Ogb-like ATPase, suppresses antioxidant response via nontranscriptional mechanisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(36), 15356–15361. doi: 10.1073/pnas.0907213106
22. Lin T. F., Chou C. L., Hsieh C. J., Wu Y. J., Chen Y. C., Wu T. W., Lu S. X., Juang Y. L., Wang L. Y. (2022). Association of Common Variants in OLA1 Gene with Preclinical Atherosclerosis. *International journal of molecular sciences*, 23(19), 11511. doi: 10.3390/ijms231911511
23. Qian A., Di S., Gao X., et al. (2009). cDNA microarray reveals the alterations of cytoskeleton-related genes in osteoblast under high magneto-gravitational environment. *Acta biochimica et biophysica Sinica*, 41(7), 561–577. doi: 10.1093/abbs/gmp041
24. Su F., Xiao R., Chen R., et al. (2023). WIPF1 promotes gastric cancer progression by regulating PI3K/Akt signaling in a myocardium-dependent manner. *iScience*, 26(11), 108273. doi: 10.1016/j.isci.2023.108273
25. Abbasi A. A. (2010). Unraveling ancient segmental duplication events in human genome by phylogenetic analysis of multigene families residing on HOX-cluster paralogons. *Molecular phylogenetics and evolution*, 57(2), 836–848. doi: 10.1016/j.ympev.2010.07.021
26. Bustin K. A., Shishikura K., Chen I., et al. (2023). Phenelzine-based probes reveal Secernin-3 is involved in thermal nociception. *Molecular and cellular neurosciences*, 125, 103842. doi: 10.1016/j.mcn.2023.103842

27. Carstens M., McCrindle T. K., Adams N., et al. (2014). Increased resistance to biotrophic pathogens in the Arabidopsis constitutive induced resistance 1 mutant is EDS1 and PAD4-dependent and modulated by environmental temperature. PloS one, 9(10), e109853. doi: 10.1371/journal.pone.0109853
28. Contreras-Cornejo H., Saucedo-Correa G., Oviedo-Boyso J., et al. (2016). The CSL proteins, versatile transcription factors and context dependent corepressors of the notch signaling pathway. Cell division, 11, 12. doi: 10.1186/s13008-016-0025-2

УДК: 636.22 /.28.03

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.332

ПРОДУКТИВНЫЕ КАЧЕСТВА ДОЧЕРЕЙ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ, ОЦЕНЁННЫХ ПО ПРИЗНАКУ «ЖИЗНЕСТОЙКОСТЬ ТЁЛОК» (HLIV)

Ковалева Г.П. – канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., доц. (ORCID 0000-0002-6655-2225); Лапина М.Н. – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-7651-8450); Витол В.А. – канд. с.-х. наук, стар. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-5254-5200); Сулыга Н.В. – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-9724-6271)

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

*skotovodstvo-sniizhk.@yandex.ru

Ключевые слова: признак «Жизнестойкость тёлочек» (HLIV), голштинская порода, быки-производители, живая масса, молочная продуктивность.

Key words: trait "Heifer Livability" (HLIV), Holstein breed, bulls, live weight, milk production.

Поступила: 12.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В оценке быков-производителей голштинской породы признак «Жизнестойкость тёлочек» (HLIV- Heifer Livability) относится к показателям здоровья. Селекция по данному признаку позволяет сократить падёж животных, снизить затраты на ремонт стада. Прогнозируемая передающая способность HLIV положительно коррелирует с молочной продуктивностью, с признаками «Продолжительность продуктивной жизни», «Легкость отёла» и «Приближением первого отёла». Однако уровень реализации генетического потенциала хозяйственно-полезных признаков у дочерей разных быков-производителей отличаются большой вариабельностью. Цель исследований: провести сравнительную оценку сохранности, роста и развития, молочной продуктивности, а также реализации прогнозируемой передающей способности HLIV у потомства быков-производителей голштинской породы с равной величиной HLIV, находящихся в одинаковых условиях содержания, кормления и эксплуатации. Исследования проводились в племенном заводе Ставропольского края на животных голштинской породы в период от рождения до завершения первой лактации. По данным первичной зоотехнической и ветеринарной отчётности были изучены живая масса, сохранность опытных животных от рождения до 18 месяцев, удой, процентное содержание жира и белка в молоке за 305 дней первой лактации. Установлено, что при одинаковой оценке быков-производителей по признаку HLIV, их потомство имело существенные различия по изученным показателям. Тёлки I опытной группы превосходили сверстниц II опытной группы по живой массе во все периоды выращивания. Наибольшая разница по этому показателю была в возрасте 18 месяцев – 39,0 кг. Сохранность поголовья в I опытной группе составила 94,7 % против 88,5 % во II опытной группе, удой в этих опытных группах соответственно 7869,9 и 6683,0 кг.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Основная роль в селекционном процессе с крупным рогатым скотом молочного направления продуктивности принадлежит быкам-производителям. В настоящее время в стадах голштинской породы широко используется биоматериал быков-производителей североамериканской селекции, прошедших индексную оценку согласно требованиям Американской Ассоциации голштинской породы. В племенных карточках быков-производителей содержится информация о передающей способности продуктивных качеств конкретного животного, а также индексы и признаки, характеризующие уровень здоровья и воспроизводительных качеств потомства [1-5]. Одним из таких признаков, введенных в 2020 году в оценку быков-производителей голштинской и джерсейской пород США, является HLIV – Heifer Livability, который в разных источниках интерпретируется как «Жизнестойкость тёлочек», «Жизнеспособность тёлочек» или «Выживаемость тёлочек» [3-5]. Наиболее частые причины выбытия молодняка – болезни пищеварительной и дыхательной систем [6]. Предполагается, что селекция по признаку HLIV улучшит здоровье и благополучие животных, снизив частоту этих заболеваний. Значение прогнозируемой передающей способности признака HLIV представляет собой ожидаемый процент сохранности тёлочек из числа потомства оцениваемого животного в период жизни от 2 дней до 18 месяцев в стаде со средними условиями содержания. Средняя оценка HLIV в голштинской и джерсейской породах в США составляет 96 % [4].

Практическая и экономическая значимость использования в селекции данного индекса заключается в том, что на этапе отбора быков и подбора родительских пар, позволяет запрограммировать

В Российской Федерации, по данным за 2024 год, крупный рогатый скот молочного направления продуктивности, в своём большинстве, представлен животными голштинской породы – 71,59 % [7]. Одна-

ко скот голштинской породы является не только лидером по продуктивности среди других молочных пород, разводимых на территории Российской Федерации, но и отличается наименьшим возрастом выбытия, который составляет 2,96 отёла, что на 0,09 отёла меньше, чем в среднем по всем молочным породам. Такая же тенденция прослеживается и в Ставропольском крае – коровы всех молочных пород выбывают в возрасте 2,54 отёла, а голштинской породы – 2,34 отёла [7].

Использование быков-производителей, оцененных по признаку HLIV, позволяет сократить падёж животных, снизить затраты на ремонт стада и повысить прибыльность. Также установлены положительные корреляции прогнозируемой передающей способности HLIV с признаками молочной продуктивности (0,34-0,36), «Продолжительностью продуктивной жизни» (0,44), «Легкостью отёла» (0,37) и «Приближением первого отёла» [4]. Однако уровень реализации генетического потенциала хозяйственно-полезных признаков у дочерей разных быков-производителей отличаются большой вариабельностью. В связи с чем, актуальной является сравнительная оценка сохранности, роста и развития, молочной продуктивности, а также реализация прогнозируемой передающей способности HLIV у потомства быков-производителей голштинской породы с равной величиной HLIV, находящихся в одинаковых условиях содержания, кормления и эксплуатации. Решение данных задач и явилось целью проведённых нами исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены в СПК колхоз-племзавод «Казьминский» Кочубеевского района Ставропольского края. Данное хозяйство специализируется на разведении крупного рогатого скота голштинской породы. Для эксперимента были отобраны все рождённые живыми тёлки, отцами которых являлись быки-производители голштинской породы. Быки-производители имели одинаковую оценку по признаку «Жизнестойкость

тёлок»: + 1,4 и + 1,4 %. Дочери быка-производителя Альта Джонах 73752888 линия Вис Бэк Айдиал 1013415 составили I опытную группу (n = 395), дочери быка-производителя Альта Гефен 3013023071 линия Рефлекшин Соверинг 0198998 – II опытную группу (n = 191). Все животные находились в одинаковых условиях содержания и кормления.

На основании данных информационно-аналитической системы СПК колхоз-племзавод «Казьминский» «СЕЛЭКС. Молочный скот. Архив. Стадо», в опытных группах изучили следующие показатели: количество тёлочек родившихся живыми, живую массу при рождении, в возрасте 6, 10, 12, 18 месяцев и при первом осеменении, выбытие в период от 2 дня жизни до 18 месяцев, удой, процентное содержание жира, белка за 305 дней первой лактации.

Процент выбывших опытных животных в период от 2 дня жизни до 18 месяцев сравнили с базисной величиной признака «Жизнестойкость тёлочек», которая для голштинской породы составляет 96,0 % и индексной оценки по этому показателю быков-отцов [4].

Полученный цифровой материал обработали биометрическим методом в программе Microsoft Excel. Из статистических показателей рассчитали среднюю арифметическую (M) и ошибку средней арифметической (m).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Уровень молочной продуктивности коров формируется в раннем возрасте, задолго до начала первой лактации. Живая масса ремонтных тёлочек оказывает существенное влияние на их последующую молочную продуктивность, являясь интегральным показателем общего физиологического развития и крепости животного. Наиболее важные изменения в организме телёнка происходят с шестимесячного возраста, когда начинается половое созревание, а также полноценное развитие железистой ткани вымени. С увеличением живой массы тёлочек в возрасте 6 месяцев и старше увеличивается молочная продуктивность, и различия между

животными наблюдаются уже по результатам первой лактации [8].

По данным таблицы 1 животные I опытной группы превосходили сверстниц II опытной группы по живой массе во все периоды выращивания. Наибольшая разница по этому показателю была в возрасте 18 месяцев – 39,0 кг.

Не только живая масса ремонтных тёлочек, но и показатели здоровья оказывают непосредственное влияние на их дальнейшую молочную продуктивность и продолжительность хозяйственного использования. Несмотря на одинаковое значение признака «Жизнестойкость тёлочек», который у отцов животных I и II опытных групп составил + 1,4 %, то есть сохранность их потомства должна быть 97,4 % при базисе по голштинской породе 96,0 %, в ходе исследований были установлены значительные различия по данному показателю (таблица 2).

В I опытной группе выбытие животных от 2 дня жизни до 18 месяцев составило 5,3 %, во II опытной группе – 11,5 %. Сохранность поголовья в опытных группах была 94,7 и 88,5 %, что меньше базиса голштинской породы на 1,3 % и 7,51 %. Реализация генетического потенциала прогнозируемой передающей способности признака «Жизнестойкость тёлочек» у потомства составила 97,2 и 90,9 %.

Следующим этапом наших исследований было определение взаимосвязи между сохранностью животных в группах и молочной продуктивностью за 305 дней первой лактации. Их количество в группах соответствовало тому поголовью, которое завершило первую лактацию. Разницу между родившимися и завершившими первую лактацию составили особи, выбывшие в этот период по различным причинам (таблица 3).

Утверждение о положительной корреляции молочной продуктивности с индексом «Жизнестойкость тёлочек» [4] нашло подтверждение и в наших исследованиях по результатам первой лактации.

Телки I опытной группы превосходили особей II опытной группы по удою, и это преимущество было значительным –

1186,6 кг. Поголовье СПК колхоз-племзавод «Казьминский» консолидировано по содержанию жира и белка в моло-

ке, в связи с этим различий между опытными группами по данным показателям не установлено.

Таблица 1 – Живая масса опытных животных по периодам выращивания

Живая масса, кг	Группа животных	
	I опытная (n = 395)	II опытная (n = 191)
При рождении	29,1±0,3	28,5±0,5
В 6 месяцев	183,0±1,7	180,3±1,6
В 10 месяцев	303,0±3,4	291,5±3,5**
В 12 месяцев	365,6±3,8	347,8±2,5***
При первом осеменении	448,0±6,5	432,5±3,8*
В 18 месяцев	541,4±5,0	502,4±5,8***

Примечание: * – $P \geq 0,95$; ** – $P \geq 0,99$; *** – $P \geq 0,999$ относительно I опытной группы.

Таблица 2 – Реализация генетического потенциала сохранности

Группа животных	Выбыло		Сохранность	± к базису	Реализация генетического потенциала
	n	%			
I опытная (n=395)	21	5,3	94,7 %	- 1,3 %	97,2 %
II опытная (n=191)	22	11,5	88,5 %	- 7,5 %	90,9 %

Таблица 3 – Продуктивные качества опытных животных

Показатели	Группа животных	
	I опытная (n=243)	II опытная (n=148)
Удой, кг	7869,6±154,0	6683,0±116,4***
Жир, %	3,87±0,01	3,88±0,01
Белок, %	3,15±0,01	3,15±0,01

Примечание: *** – $P \geq 0,999$ относительно I опытной группы.

ВЫВОДЫ/CONCLUSION

Таким образом, в результате проведённых исследований установлено, что сохранность опытных животных в период от рождения до 18-ти месячного возраста была меньше, чем базисное значение для тёлоч голштинской породы. При одинаковых условиях содержания и кормления, дочери быков-производителей с равной величиной признака «Жизнестойкость тёлоч» различались по этому показателю. В опытной группе с меньшей сохранностью поголовья также установлен и меньший удой за первую лактацию.

PRODUCTIVE QUALITIES OF DAUGHTERS OF BULLS-PRODUCERS EVALUATED BY THE "LIFE OF CALVES" (HLIV)

Kovaleva G.P. – PhD (Agriculture), leading searcher, Associate Professor (ORCID 0000-0002-6655-2225); **Lapina M.N.** – PhD (biological), leading searcher (ORCID 0000-0002-7651-8450); **Sulyga N.V.** – PhD (biological), leading searcher (ORCID 0000-0002-9724-6271); **Vitol V.A.** – PhD (Agriculture), leading searcher (ORCID 0000-0002-5254-5200).

Federal State Budgetary Scientific Insti-

tution «North Caucasian Scientific Agrarian Center»

*skotovodstvo-sniizhk.@yandex.ru

ABSTRACT

In the evaluation of Holstein bulls, the "Heifer Life Expectancy" (HLIV) trait is a health indicator. Selecting for this trait can reduce animal mortality and lower herd replacement costs. The predicted HLIV transmission capacity is positively correlated with milk production, as well as with the traits "Productive Life Expectancy," "Easy Calving," and "Approaching First Calving." However, the level of genetic potential realization for these traits varies significantly among the daughters of different bulls. The purpose of the research is to conduct a comparative assessment of the preservation, growth, and development, as well as the milk production and the implementation of the predicted HLIV transmission capacity in the offspring of Holstein bulls with equal HLIV values, which are kept under the same conditions of housing, feeding, and operation. The research was conducted at a breeding farm in the Stavropol Territory on Holstein animals from birth to the end of their first lactation. According to the primary zootechnical and veterinary reports, the live weight, survival rate of the experimental animals from birth to 18 months, milk yield, and percentage of fat and protein in milk during the first 305 days of lactation were studied. It was found that, despite the similar evaluation of the bulls based on HLIV, their offspring had significant differences in the studied parameters. It was found that, with the same evaluation of bulls-producers by the HLIV trait, their offspring had significant differences in the studied indicators. The heifers of the I experimental group exceeded the heifers of the II experimental group in live weight at all periods of cultivation. The greatest difference in this indicator was at the age of 18 months – 39.0 kg. The survival rate in the first experimental group was 94.7%, compared to 88.5% in the second experimental group, with milk yields of 7869.9 and 6683.0 kg, respectively.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сводные селекционные индексы Голштинской Ассоциации США. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mkg-nn.ru/index.php/genetika/2-uncategorised/190-svodnye-selektionnye-indeksy> (дата обращения 10.02.25).
2. BULL селектсервис. Что означают показатели в каталоге быков? Североамериканская оценка. Читать и интерпретировать информацию о быках голштинской породы в каталоге. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://bullselect.ru/stati/chto-oznachajut-pokazateli-v-kataloge-bykov-severoamerikanskaja-ocenka/> (дата обращения 10.02.25).
3. Подробная расшифровка индексов и показателей, применяемые Советом по селекции молочных пород КРС США (CDCB) при оценке быков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.altagenetics.ru/information/spravochnik/> (дата обращения 10.02.25).
4. Новый признак «Жизнеспособность тёлочек» (HLIV) в оценке быков. Создано: 09.12.2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mkg-nn.ru/index.php/o-kompanii/novosti/263-novyyj-priznak-zhiznesposobnost-telok-hliv-v-otsenke-bykov> (дата обращения 10.02.25).
5. Будущее нового поколения. Выживаемость тёлочек. Данила Суслов генеральный директор ООО «Центрплем» 10 июня 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://cplem.seoexpert.by/information/stati/budushchee-sleduyushchego-pokoleniya> (дата обращения 10.02.25).
6. Антонов М.В., Крупин Е.О. Анализ причин выбраковки молодняка крупного рогатого скота и установление взаимосвязи с возрастом // Учёные записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. – Т. 262. – № 2. – С. 86-92.
7. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2024). Москва: Издательство ФГБНУ ВНИИплем. – 2025. – 274 с.

8. Молочная продуктивность и племенная ценность коров-первотёлок разного происхождения / С.Л. Карпеня, В.Н. Подрез, А.М. Карпеня, Л.В. Антипова // зоотехническая наука Беларуси. – 2023. – № 58 (1). – С. 86-95.

REFERENCES

1. Summary of the selection indices of the US Holstein Association. [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://mkg-nn.ru/index.php/genetika/2-uncategorised/190-svodnye-selektionnye-indeksy> (date of access: 10.02.25).
2. BULL selectservice. What do the indicators in the bull catalog mean? North American evaluation. Read and interpret information about Holstein bulls in the catalog. [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://mkg-nn.ru/index.php/genetika/2-uncategorised/190-svodnye-selektionnye-indeksy> (accessed on 10.02.25).
3. Detailed interpretation of the indices and indicators used by the US Dairy Cattle Breeding Council (CDCB) in the evaluation of bulls. [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://www.altagenetics.ru/information/spravochnik/> (accessed on 10.02.25).

4. New feature "Viability of heifers" (HLIV) in the evaluation of bulls. Created: 09.12.2020. [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://mkg-nn.ru/index.php/o-kompanii/novosti/263-novyj-priznak-zhiznesposobnost-telok-hliv-v-otsenke-bykov...> (accessed on 10.02.25).
5. The future of a new generation. The survival rate of heifers. Danila Suslov, General Director of LLC "Tsentrplem", June 10, 2022. [Electronic resource]. Access mode: <https://cplem.seoexpert.by/information/stati/budushchee-sleduyushchego-pokoleniya>
6. Antonov M.V., Krupin E.O. Analysis of the reasons for culling of young cattle and establishing a relationship with age // Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2025. – Vol. 262. – No. 2. – Pp. 86-92.
7. Yearbook on Breeding Work in Dairy Farming in the Russian Federation (2024). Moscow: Publishing House of the All-Russian Research Institute of Animal Breeding. – 2025. – 274 p.
8. Milk Productivity and Breeding Value of First-Calf Cows of Different Origins / S.L. Karpenya, V.N. Podrez, A.M. Karpenya, L.V. Antipova // Zootechnical Science of Belarus. – 2023. – No. 58 (1). – Pp. 86-95.

УДК: 575.113:577.21:636.5

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.338

РЕДАКТИРОВАНИЕ ГЕНОМА КУР: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И БИОМЕДИЦИНЕ

Крутикова А.А. * – канд. биол. наук, доц. каф. генетических и репродуктивных биотехнологий (ORCID 0000-0003-2561-145x); **Племяшов К.В.** – д-р ветеринар. наук, проф., член-корр. РАН, ректор (ORCID 0000-0002-3658-5886)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

* anntim2575@mail.ru

Ключевые слова: редактирование генома, CRISPR/Cas9, примордиальные половые клетки, куры, генетическая модификация, устойчивость к патогенам.

Key words: genome editing, CRISPR/Cas9, primordial germ cells, chickens, genetic modification, pathogen resistance.

Поступила: 12.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026

РЕФЕРАТ

Редактирование генома животных, в частности, кур – активно развивающееся направление биотехнологии в области сельского хозяйства, фундаментальной науки и медицинских исследований. Домашняя курица является модельным объектом в области иммунологии, эмбриологии и инфекционных заболеваний. Появление современных технологий редактирования генов, включая систему CRISPR/Cas9, TALEN и гомологичную рекомбинацию, расширило потенциал для точной целевой модификации куриного генома. Технологии редактирования генома кур демонстрируют стремительный прогресс в период 2019–2025 гг., охватывая как селекционные, так и природоохранные задачи, что открыло новые перспективы одновременно в нескольких направлениях. С практической стороны, селекционеры получили возможность создавать птицу с повышенной устойчивостью к распространённым инфекциям. Не менее важным стало применение методов геномного редактирования для решения природоохранных задач. Криоконсервация первичных зародышевых клеток от кур редких и исчезающих пород позволяет сохранять полный набор генетической информации – включая митохондриальную ДНК и уникальную для самок W-хромосому – недоступную при замораживании только спермы. Венгерские коллеги создали функционирующий криобанк шести национальных пород с показателями приживления трансплантированных клеток до 100%. Благодаря этим технологиям было успешно восстановлено несколько исчезающих пород кур в Китае и Японии. Такая комбинация прикладных и природоохранных аспектов делает технологии редактирования генома птицы перспективным направлением современной биотехнологии. Данная работа представляет комплексный анализ текущего состояния технологий редактирования генома птиц, рассматривая основные подходы к генетической модификации, включая работу с примордиальными половыми клетками, применение вирусных

векторов и прямое редактирование эмбрионов. Особое внимание уделяется достижениям в создании устойчивых к патогенам линий кур, получении моделей с нокаутом генов для изучения их функций и разработке биотехнологических систем для производства терапевтических белков. Анализируются перспективы использования генетически модифицированных кур в биомедицинских исследованиях и производстве биофармацевтических препаратов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Домашняя курица занимает особое место среди сельскохозяйственных животных, являясь не только важным, а в некоторых случаях лидирующим, источником белка для населения планеты (Burt, 2007), но и ценным модельным организмом для научных исследований в области эмбриологии, иммунологии, генетики, вирусологии и онкологии (Stern, 2005). Курица стала первым видом сельскохозяйственных животных, геном которого был полностью секвенирован в 2004 году международным консорциумом исследователей (International Chicken Genome Sequencing Consortium, 2004), что позволило использовать методы реверсивной генетики для изучения роли генов (Burt, 2007; Stern, 2005). Традиционные методы селекции кур требуют значительных временных затрат и не позволяют вносить точные изменения в геном на молекулярном уровне. Появление технологий целенаправленного редактирования генома ознаменовало начало новой эры в птицеводстве и биомедицинских исследованиях с использованием кур как модельного объекта. Эти технологии предоставляют исследователям инструменты для точной модификации специфических генов, что невозможно достичь классическими методами селекции.

Актуальность редактирования генома кур обусловлена несколькими факторами. Домашняя, а особенно промышленная птица постоянно подвергаются воздействию целого спектра патогенов, угрожающих здоровью человека и животных. Например, высокопатогенные вирусы гриппа А подтипа H5N1, могут передаваться людям при контакте с инфицированной птицей и иметь летальные последствия. С момента первого выявления случаев заражения людей вирусом H5N1 в 1997 году в Гонконге было зарегистриро-

вано более 900 случаев заболевания человека с показателем летальности около 52% (Petersen et al., 2024). В 2024–2025 годах в США было подтверждено 70 случаев заражения людей высокопатогенным птичьим гриппом A(H5N1), преимущественно связанных с профессиональным контактом с инфицированной птицей и молочным скотом, при этом зарегистрирован один летальный исход (Garg et al., 2025). Бактериальные агенты, включая *Campylobacter jejuni* и *Salmonella enteritidis*, являются ведущими причинами пищевых заболеваний у человека. Кампилобактериоз остается наиболее часто регистрируемым зоонозным заболеванием в Европейском Союзе с более чем 150 тысячами подтвержденными случаями в 2024 году, при этом птица рассматривается как основной резервуар инфекции. Сальмонеллез занимает второе место среди пищевых инфекций, причём *Salmonella enteritidis* остается наиболее частым возбудителем вспышек пищевого происхождения (EFSA & ECDC, 2024).

Развитие методов редактирования генома кур актуально и с точки зрения уникальности кур как модельного организма для изучения иммунологии, особенностей развития В-клеток и процессов созревания антител. Также генетически модифицированные куры могут служить в качестве биореакторов для производства терапевтических белков в яйцах, что представляет экономически эффективный подход.

За последние десятилетия был достигнут значительный прогресс в разработке методов генетической модификации кур. Создание протокола культивирования примордиальных половых клеток кур (PGC) с сохранением их способности к передаче по зародышевой линии упростило работу с куриными эмбрионами. В 2024–25 гг. на базе ВНИИГРЖ был

разработан метод наименее травматичного получения PGC из эмбрионов кур *in ovo* (Патент на изобретение RU 2832977 C1, 2025). Технологии культивирования PGC позволяют применять методы гомологичной рекомбинации для создания точных модификаций генома. Последующее внедрение нуклеаз с программируемой специфичностью, таких как TALEN и система CRISPR/Cas9, значительно повысило эффективность целенаправленного редактирования генов и расширило возможности для создания генетически модифицированных кур и других видов сельскохозяйственных птиц с заданными свойствами (Ветох и др., 2021). Важным достижением последних лет стала модификация технологии CRISPR для снижения нежелательных мутаций при редактировании генома примордиальных зародышевых клеток. Kim с соавторами (2020) эффективно применил CRISPR-никазы (D10A-Cas9) для создания кур с нокаутом гена миостатина. В отличие от стандартного Cas9, который вносит двухцепочечные разрывы ДНК, никаза D10A-Cas9 создаёт только одноцепочечные разрезы, что значительно снижает частоту нецелевых мутаций и нежелательных крупных делеций в геноме. Использование пары направляющих РНК позволило достичь высокой точности редактирования при сохранении жизнеспособности и нормальной функции примордиальных половых клеток. Полученные куры с нокаутом гена миостатина демонстрировали увеличенную мышечную массу при нормальной плодовитости. Этот подход открывает перспективы для более безопасного и точного геномного редактирования сельскохозяйственной птицы с минимизацией нецелевых эффектов. Разработка и совершенствование технологий редактирования генома кур позволяет решать вопросы пищевой безопасности продуктов, в частности проблему аллергенности белка куриных яиц. Так, белок овомукоид (OVM) составляет около 11% белков яичного белка и является наиболее аллергенным компонентом, вызывающим реакцию у 0,5-2,5% детей. Благодаря высокой

устойчивости к термической обработке и действию протеаз, овомукоид сложно удалить физико-химическими методами. Технологии геномного редактирования предложили принципиально новое решение этой проблемы. Oishi et al. (2016) впервые применили CRISPR/Cas9 для создания кур с нокаутом гена *OVM*, достигнув эффективности мутагенеза более 90% в примордиальных половых клетках. Последующие исследования (Mukae et al., 2021) показали, что гомозиготные *OVM*-knockout куры производят яйца с нормальными показателями яйценоскости, не содержащие зрелого овомукоида, хотя и характеризующиеся более водянистой консистенцией яичного белка.

Критически важная оценка безопасности геномного редактирования (Ezaki et al., 2023) с использованием полногеномного секвенирования позволила выявить, что потенциальные off-target эффекты локализованы исключительно в межгенных и интронных областях, не затрагивая белок-кодирующие последовательности, а плазмидные векторы, используемые в качестве генетических конструкций для доставки в клетки компонентов системы CRISPR, не интегрировались в геном. Функциональный анализ показал, что *OVM*-null яйца сохраняют достаточные технологические свойства для пищевой переработки. Эти результаты открывают перспективу создания гипоаллергенных яиц для людей с пищевой аллергией, хотя требуются дополнительные клинические исследования для полной валидации безопасности и эффективности.

При обсуждении перспектив применения генно-редактированных кур необходимо рассмотреть потенциальные экологические риски, связанные с возможным распространением модифицированных генов в домашние и дикие популяции кур. Теоретически, случайные скрещивания особей с отредактированным геномом с дикими и домашними популяциями кур могут привести к интрогрессии модифицированных аллелей в нативных представителей *Gallus gallus*, изменяя их генетическое разнообразие и локальную адап-

тацию. Однако, в отличие от некоторых других видов сельскохозяйственных животных, для кур эти риски оцениваются как относительно низкие, поскольку промышленное птицеводство является преимущественно закрытой системой с минимальным контактом с дикой фауной. Также существует значительная географическая изоляция между большинством птицеводческих регионов и естественными ареалами диких форм кур в Юго-Восточной Азии. Кроме того, современные методы редактирования через примордиальные зародышевые клетки не используют механизмы «gene drive», способные к самостоятельному распространению в популяциях. Однако, по мнению Ballantyne и соавторов (2021), эти аспекты не снижают необходимости соблюдения строгих мер биобезопасности, включая физическую изоляцию производственных объектов и создание стерильных суррогатных линий. Перспективным направлением может стать внедрение непосредственно в геном систем генетической биобезопасности с индуцируемыми «suicide genes», которые кодируют неактивный или безвредный в норме белок, при активации которого запускаются процессы контролируемого самоуничтожения клеток целых организмов при необходимости.

Важным аспектом является регуляторный контроль: геномно-редактированные животные подпадают под действие международных соглашений, таких как Картахенский протокол по биобезопасности, и национальных регуляций, требующих независимой оценки экологических рисков до коммерческого использования. Также рекомендуется проведение долгосрочного мониторинга диких популяций *Gallus gallus* в регионах, где осуществляется выращивание редактированных кур, для раннего выявления возможных случаев интрогрессии и разработка чётких протоколов действий при случайном выпуске модифицированных особей в окружающую среду.

Редактирование генома кур является перспективной технологией также и для

решения вызовов глобального изменения климата и расширения птицеводства в тропические регионы, когда на первом плане оказывается проблема теплового стресса у кур, приводящего к значительному снижению продуктивности и экономическим потерям. В этом контексте разработка геномных ресурсов для идентификации генетических детерминант термостойкости приобретает критическое значение. Геномный проект Chicken Genotype-Tissue Expression (ChickenGTEx), завершённый в 2025 году, интегрирует в себе данные о порядка 7 тысячах образцов RNA-seq из 28 разных типов тканей, около 3 тысячах полногеномных последовательностей кур 123 пород мира и порядка 180 тысячах одноклеточных профилей экспрессии (Guan et al., 2025; Hou et al., 2025). Проект ChickenGTEx позволил идентифицировать около 2,2 миллиона молекулярных локусов количественных признаков (QTL), включая контекст-зависимые эффекты (sex-biased, tissue-biased и cell type-biased eQTL), что позволяет выявлять регуляторные варианты, ассоциированные с 108 экономически важными признаками. Особое значение имеет возможность идентификации генов-кандидатов для улучшения термостойкости, включая гены семейства heat shock proteins (*HSP70*, *HSP90*, *GRP78*), метаболические и иммунные гены, участвующие в ответе на тепловой стресс. ChickenGTEx позволяет не только выявлять благоприятные аллели в аборигенных термостойких породах для их последующей интрогрессии через геномное редактирование, но и определять оптимальные регуляторные элементы для тканеспецифичного редактирования генов теплового ответа. Интеграция подходов, сочетающих данные ChickenGTEx с технологиями CRISPR/Cas9, открывают перспективы создания линий кур устойчивых к экстремальным климатическим условиям и способных поддерживать продуктивность в условиях повышенных температур, что критически важно для обеспечения глобальной продовольственной безопасности в условиях изменяющегося климата.

Целью данной работы является анализ современных технологий редактирования генома кур, оценка достигнутых результатов и перспектив их практического применения в сельском хозяйстве и биомедицине.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Исторически первые генетически модифицированные куры были получены в 1987 году с использованием ретровирусных векторов на основе вируса лейкоза птиц, который успешно интегрировался в зародышевую линию после инъекции в желточный мешок развивающейся бластомеры (Salter et al., 1987). Подход выявил принципиальную возможность трансгеноза у кур, но имел существенные ограничения, включая риск рекомбинации с вирусами дикого типа и репликацию дефектных вирусных частиц.

Альтернативой стала микроинъекция плазмидной ДНК непосредственно в зародышевый диск куриной зиготы. В 1994 году данный метод позволил получить трансгенных кур, экспрессирующих гены устойчивости к неомицину и репортерный ген *lacZ*, однако эффективность трансмиссии трансгена в потомство составила всего около 3,4% (Love et al., 1994). Существенное улучшение эффективности было достигнуто в 2004 году при использовании лентивирусных векторов, обеспечивающих трансмиссию от 4 до 45% в зависимости от используемого клона первичных половых клеток (McGrew et al., 2004).

Знаковым моментом в технологии создания генетически модифицированных кур стала возможность культивирования их примордиальных половых клеток (PGC) с сохранением их функциональных характеристик. Как описывал Fujimoto с коллегами еще в 1976 году, PGC являются предшественниками гамет и критическим элементом для развития сперматозоидов и ооцитов. На ранних стадиях эмбрионального развития эти клетки обнаруживаются в герминальном серпе и впоследствии мигрируют (50-55 часов инкубации) к гонадам под влиянием хемокина CXCL12 и его рецептора

CXCR4 (Kim et al., 2010; Kang et al., 2015; Lee et al., 2017c). Эта особенность усложняет процесс получения примордиальных половых клеток кур из крови эмбрионов, снижая сроки взятия крови до 24-48 часов с момента, когда дорсальная аорта достаточно сформирована для микроинъекции до полного перемещения PGC в гонады.

Установление условий долгосрочного культивирования примордиальных половых клеток представляло техническую проблему, решение которой стало значимым шагом для модификации генома кур. В 2006 году первоначально для культивирования использовались фидерные клетки BRL или STO, на которых PGC могли культивироваться до 217 дней с сохранением экспрессии герминальных маркеров, включая куриный гомолог белка *vasa* (CVH), и успешно криоконсервировались. Принципиально важным открытием стала демонстрация того, что примордиальные половые клетки после генетической модификации и длительного культивирования сохраняют способность колонизировать гонады и передавать модифицированный геном потомству. Это было подтверждено экспериментами, в которых культивированные в течение 35–110 дней мужские PGC трансфецировали конструкцией с геном *GFP* и затем инъекцировали в сосудистую систему эмбрионов белых леггорнов на стадии 13-15 по классификации Гамбургера и Гамильтона. Эффективность трансмиссии в зародышевую линию варьировала от 0,1 до 48% в зависимости от используемого клона первичных половых клеток (Van De Lavoie et al., 2006). Дальнейшая оптимизация, проведенная Whyte с соавторами в 2015 году, привела к разработке бессывороточных условий культивирования без фидерных клеток, учитывающих специфические сигнальные пути (FGF, инсулин и SMAD), необходимые для пролиферации примордиальных половых клеток кур.

Следует отметить, что методы культивирования PGC значительно различаются по эффективности трансмиссии в зародышевую линию (от 0,1% до 100% в зависимости от клона). Основным ограни-

чением остаётся необходимость длительного скрининга (до 6 месяцев на генерацию) и вариабельность между клональными линиями.

Перспективным инновационным подходом к повышению эффективности трансмиссии в зародышевую линию является использование стерилизованных петухов в качестве реципиентов для экзогенного переноса генетически модифицированных примордиальных половых клеток. По данным Trefil и коллег (2017) такой подход может повысить эффективность трансмиссии PGC до 100%, что сокращает время и количество используемых животных.

Стерилизация петухов-реципиентов на стадии эмбриона, до введения донорских примордиальных половых клеток, позволяет избежать конкурирующего взаимодействия между нативными и донорскими PGC, а также получить петухов, производящих сперматозоиды только с целевым модифицированным геномом.

В работах Nakamura и соавторов (2010) куриные эмбрионы и взрослые петухи были химически или физически стерилизованы с целью получения суррогатов для внешних доноров PGC клеток. Частичная стерилизация куриных эмбрионов путем инъекции бусульфана в желток оплодотворенных яиц перед инкубацией приводила к значительному снижению эндогенных PGC. Nakamura с коллегами (2010), а позднее Trefil с соавторами (2017) убедительно доказали, что стерилизованные эмбрионы могут быть использованы для экзогенного переноса примордиальных половых клеток с высокой эффективностью трансмиссии в зародышевую линию.

Альтернативой химической стерилизации стало использование гамма-облучения, приводящего к стерилизации петухов. Инъекция донорских сперматогониальных клеток приводила к восстановлению мужской функции у 50% петухов всего через 5 недель после инъекции. По данным Trefil с соавторами (2017) трансплантация PGC восстанавливала сперматогенез на 4 недели позже по срав-

нению со сперматогониальными клетками, однако PGC демонстрировали более высокую эффективность репопуляции семенного эпителия. Трансплантация генетически модифицированных примордиальных половых клеток, экспрессирующих гены GFP или mCherry, во взрослых петухов после полного облучения приводила к восстановлению мужской фертильности с почти 100% трансмиссией в зародышевую линию. Основное преимущество этого метода заключается в гарантированной трансмиссии в зародышевую линию и низком числе животных, используемых в эксперименте, что снижает время и затраты на тестирование большого числа химерных петухов.

Чтобы избежать трудоёмких процедур культивирования примордиальных половых клеток был разработан метод *in vivo* геномного редактирования эмбрионов птиц: Lee с соавторами (2022) успешно создали линии кур и уток с модифицированным геномом путём прямой инъекции аденовируса, содержащего систему CRISPR/Cas9, в бластомеру эмбрионов, что значительно упрощает и ускоряет процесс создания геномно-редактированных птиц и расширяет возможности применения технологии на виды, для которых культивирование примордиальных зародышевых клеток затруднено.

Технология трансплантации первичных половых клеток также была успешно применена для сохранения редких видов птиц. Межвидовая трансмиссия примордиальных зародышевых клеток дрофы-красотки *Chlamydotis undulata* посредством трансформации в эмбрионы кур позволяет получить последовательное потомство исчезающего вида: гонадная ткань эмбрионов дрофы-красотки, содержащая примордиальные зародышевые клетки, была инъецирована в эмбрионы кур породы Белый Леггорн, в результате чего были получены петухи, сперма которых после искусственного осеменения самок дрофы-красотки дала независимых птенцов донорского вида, демонстрируя потенциал этой технологии для сохране-

ния биоразнообразия (Wernery et al., 2010).

Одно из самых распространенных направлений генной инженерии животных – это целевой нокаут генов, позволяющий изучать функции нокаутированных генов, блокировать рецепторы взаимодействия вирус-хозяин, совершенствовать продуктивные качества животных. Например, нокаутировав ген миостатина можно получить животное с двойной мышечной массой. Методы гомологичной рекомбинации, успешно применяемые для создания нокаутных мышей, были адаптированы и для работы с куриными PGC. Первые специфические генные нокауты у кур были получены в 2013 году путем целенаправленного воздействия на локусы иммуноглобулиновых генов. При таргетировании J-сегмента тяжелой цепи иммуноглобулинов из 27 клонов примордиальных половых клеток 7 (28%) содержали целевую модификацию в геноме, что демонстрировало высокую эффективность, сопоставимую с эмбриональными стволовыми клетками мыши. Гомозиготные куры с нокаутом J-сегмента тяжелой цепи иммуноглобулинов демонстрировали истощение периферических В-клеток и отсутствие антител, став первыми позвоночными, не относящимися к классу млекопитающих с нокаутом, полученным методом гомологичной рекомбинации (Schusser et al., 2013).

Важным техническим требованием для успешной гомологичной рекомбинации в PGC является использование изогенной ДНК, поскольку несоответствия в областях гомологии не распознаются системой репарации (Schusser et al., 2016).

Способом повышения эффективности целенаправленного редактирования генома стало внедрение программируемых нуклеаз. Транскрипционные активатор-подобные эффекторные нуклеазы (TALEN) состоят из серии повторов, слитых с неспецифическими доменами расщепления *FokI*, индуцирующими двухцепочечные разрывы ДНК при димеризации (Gaj et al., 2013). TALEN до настоящего момента остается самой точной системой

редактирования генома, однако сложность дизайна направляющей конструкции, ее громоздкость и дороговизна исполнения снижает частоту ее использования, несмотря на высокий уровень специфичности.

Система редактирования генома CRISPR/Cas9 упростила процесс специфической таргетной модификации ДНК за счет использования одиночных направляющих РНК. Система CRISPR/Cas9 – это адаптированная иммунная система бактерий и архей, использующая малые некодирующие РНК для направления нуклеазы Cas9 к целевым участкам, что приводит к двухцепочечному разрыву ДНК (Jinek et al., 2012). Применение CRISPR/Cas9 в комбинации с гомологично направленной репарацией значительно повысило эффективность генного таргетирования в примордиальных половых клетках кур. При введении сайта loxP в локус тяжелой цепи иммуноглобулинов с использованием таргетирующего вектора с 2 kb плечами гомологии в комбинации с CRISPR/Cas9, нацеленной на область выше единственной вариабельной области тяжелой цепи иммуноглобулинов, все отобранные лекарственно-устойчивые клоны PGC содержали корректное целевое событие, а эффективность трансмиссии в зародышевую линию, по данным Dimitrov с соавторами (2016), варьировала от 0 до 100% в зависимости от используемой линии клеток.

В экспериментальной работе Taylor и коллег (2017) модификация локуса гена *DDX4*, расположенного на Z-хромосоме, с использованием редактирующей системы TALEN в комбинации с таргетирующим вектором показало возможную роль этого гена в формировании герминативной клеточной линии. Эффективность трансмиссии в зародышевую линию от основателей при этом составила 6%. Гемизиготные самки поколения G1 с нокаутом *DDX4* не откладывали яйца и не имели желтых или белых фолликулов в яичниках, что контрастирует с фенотипом нокаутных по *DDX4* самок мышей, которые не утратили фертильность. Это может свиде-

тельствовать о более сложных и многоуровневых механизмах формирования репродуктивной функции у млекопитающих, о наличии компенсаторных механизмов либо различной роли генов-ортологов у птиц и у млекопитающих.

Для изучения функций генов и взаимодействий хозяин-патоген можно использовать не только животных с отредактированным соответственно целям геномом, но и клеточные линии, в том числе и птиц, которые предоставляют ценные модели для исследований *in vitro*. Так линия клеток DT-40, представляющая собой индуцированную вирусом лейкоза бурсальную В-клеточную лимфому, использовалась в работах Arakawa и Buerstedde (2004) для исследования иммунологии В-клеток, регуляции клеточного цикла и апоптоза. Большое количество мутантных DT-40 было создано для понимания биологии В-клеток, включая демонстрацию того, что активированная цитидиндезаминаза (AID) инициирует диверсификацию генов иммуноглобулинов посредством генной конверсии, описанной Buerstedde с соавторами в 1990 году.

Линия клеток DF-1, представляющая собой иммортализованные куриные фибробласты (Foster, 1998), установилась как эффективная модель для изучения взаимодействий хозяин-патоген различных авиальных патогенов, включая вирусы гриппа А, вирус болезни Ньюкасла и ретровирусы. Применение системы CRISPR/Cas9 сделало клеточные культуры значительно более полезными благодаря возможности легкого нокаута различных генов.

Лее с соавторами (2017) использовали систему CRISPR/Cas9 для внесения целевых модификаций в куриный ген *NHE1* с целью генерации устойчивости клеток DF-1 к инфицированию подгруппой J вируса лейкоза птиц. Редактирование проводилось посредством гомологичной направленной репарации, комбинирующей векторы CRISPR/Cas9 с одноцепочечными олигонуклеотидами. Исследования были основаны на экспери-

ментальных данных, показывающих, что мутация в положении триптофана 38 является критической для инфекции вирусом (Kučerová et al., 2013; Lee et al., 2017). Альтернативно, негомологичное соединение концов было также установлено в клетках DF-1, где модификация гена *TVB* привела к мутациям со сдвигом рамки считывания, что обеспечило устойчивость против подгруппы В вируса лейкоза птиц (Lee et al., 2017b).

Эффективность индукции мутаций при таргетировании широкого спектра генов в клетках DF-1, включая *DROSHA*, *DICER*, *MBD3*, *KIAA1279*, *CDKN1B*, *EZH2*, *HIRA*, *TYRP1*, *STMN2*, *RET* и *DGCR*, играющих роль в эмбриональном развитии и патогенезе эмбриональных заболеваний, варьировала от 20 до 65% (Abu-Bonsrah et al., 2016). Дальнейшие исследования Bai с коллегами (2016) показали, что селекция пуромицином увеличивает частоту мутаций при таргетировании гена *PPAR-γ* с 0,75% до 60,7%, гена *ATP5E* с 0,5% до 61,3% и гена *OVA* с 3,0% до 47,3% соответственно.

Изучение процессов эмбрионального развития организмов и взаимодействий хозяин-патоген успешно осуществляется на хорошо зарекомендовавших себя в качестве модели куриных эмбрионах. В течение последних десятилетий были разработаны различные методы внедрения редактирующих генетических конструкций в клетки куриных эмбрионов, включая электропорацию конструкций с чужеродной ДНК и трансдукцию ретровирусами в комбинации с системой CRISPR/Cas9.

Система ретровирусных векторов RCAS, полученная из вируса саркомы Рауса штамма SR-A, по данным Bell and Brickell (1997), широко использовалась в качестве встраиваемого вектора для стабильной трансдукции развивающихся куриных эмбрионов и клеточных культур. Инъекция векторов RCAS, несущих различные изоформы гена цитокина *MX*, в желточный мешок трехдневных оплодотворенных яиц с последующей оценкой защиты против вируса гриппа А показала,

что гиперэкспрессия различных изоформ *MX* в эмбрионированных яйцах не обеспечивала защиты против инфекции вирусами H1N1, H7N1 и VSV, что согласовалось с результатами, полученными на куриных фибробластах (Schusser et al., 2011).

Роль интерферона лямбда была исследована Reuter и его коллегами (2014) путем создания мозаичных куриных эмбрионов с гиперэкспрессией этого цитокина. Ученые фиксировали снижение вирусных титров в эмбрионах при заражении вирусами гриппа А, болезни Ньюкасла (NDV Herts-33) или инфекционного бронхита (IBV M-41) через аллантоисную полость как минимум на четыре логарифмических единицы по сравнению с инокулированными яйцами с пустым вектором RCAS, что показало защитный эффект куриного интерферона лямбда против различных вирусов.

Применение технологий редактирования генов посредством прямой доставки редактирующих генетических конструкций в куриные эмбрионы методом электропорации *in ovo* оказалось весьма эффективным. Использование плазмид на основе мРНК для подавления генной экспрессии в нервной трубке кур (Wilson and Stoeckli, 2012) и *in ovo* электропорация, в качестве способа их доставки в эмбрион, для нокаута генов ключевых транскрипционных факторов нервного гребня *PAX7* и *SOX10* продемонстрировали возможность применения этого подхода для изучения функций генов на различных стадиях эмбрионального развития (Gandhi et al., 2017).

Одним из наиболее перспективных практических применений редактирования генома кур является создание линий, невосприимчивых к специфическим патогенам. Если при создании трансгенных эмбрионов с помощью вирусных векторов, например вируса саркомы Рауса, как указано выше, акцент был на встраивание дополнительных генов, экспрессирующих агенты иммунного ответа, то в дальнейшем внимание было перенесено на дезактивацию генов поверхностных клеточных

рецепторов, посредством которых вирус проникает в клетку.

Наиболее распространенным ретровирусом у кур является вирус лейкоза птиц (ALV), индуцирующий различные неопластические повреждения и вызывающий потери продуктивности в пораженных стадах (Fadly, 2000). Мутации, ответственные за ингибирование проникновения подгруппы А вируса лейкоза в клетки, были идентифицированы и включали вставку четырех пар оснований и замену одной пары оснований в локусе гена *TVA*-рецептора (Klucking et al., 2002), который используется вирусом птичьего лейкоза и саркомы подгруппы А (ALV-A) для проникновения в клетки птиц.

Высокая эффективность таргетирования и простота системы CRISPR/Cas9 позволяют нокаутировать гены в специфических тканях и органах развивающегося куриного эмбриона без необходимости создания полностью генетически модифицированных линий кур. Применение технологии CRISPR/Cas9 позволило создать кур с целенаправленным нокаутом гена *TVA* путём введения сдвига рамки считывания в примордиальных зародышевых клетках. Полученные гомозиготные *TVA* $-/-$ куры показали полную резистентность к инфекции ALV подгрупп А и К как *in vitro*, так и *in vivo*, в отличие от восприимчивых кур с генотипом *TVA* $+/+$ и *TVA* $+/-$ особей. Важно отметить, что нокаут *TVA* приводит к специфическому нарушению метаболизма кобаламина (витамина B12), что согласуется с недавно установленной физиологической функцией *TVA* как рецептора для кобаламина в комплексе с транскобаламиновым транспортером (Koslová et al., 2021).

Для *TVB*-рецептора, взаимодействующего с вирусом лейкоза птиц подгруппы В, одиночная замена пары оснований в богатом цистеином домене также приводила к снижению восприимчивости клеток DF-1 к инфекции подгруппой В вируса лейкоза по данным Klucking с коллегами (2002) и Reinisová с коллегами (2008).

Подгруппа J вируса лейкоза (ALV-J) использует мультимембранный поверх-

ностный белок клетки, куриный Na⁺/H⁺ обменник типа 1 (NHE1), в качестве рецептора (Barnard et al., 2006). Функциональная важность остатка триптофана в положении 38 (Trp38) для проникновения вируса была установлена с использованием мутагенеза субгенного фрагмента NHE1 (Kučerová et al., 2013). Точное редактирование гена *NHE1* с использованием системы CRISPR/Cas9 привело к устойчивости клеток против инфекции, подтверждая критическую роль этой позиции (Lee et al., 2017).

Однако важно отметить потенциальные ограничения стратегии минимального редактирования рецепторов. Так оказалось, что вирус ALV-J способен к быстрой адаптивной эволюции в ответ на единичную аминокислотную делецию W38, при этом, по данным Matoušková с соавторами (2024) адаптированные варианты вируса с мутациями в гене оболочки (N311D и A432T) могут преодолевать резистентность NHE1ΔW38 клеток. Эти данные подчёркивают необходимость более комплексных стратегий геномного редактирования, таких как множественные делеции в критическом регионе рецептора, для создания устойчивой долгосрочной резистентности и минимизации риска вирусной адаптации.

Можно отметить значительный прогресс в создании кур устойчивых к вирусу гриппа. В 2011 году были получены трансгенные куры, которые экспрессируют короткие шпилечные РНК, функционирующие как ловушка для взаимодействия и блокирования полимеразы вируса гриппа А, хотя и не были устойчивы к начальной инфекции, предотвращали вирусную трансмиссию (Lyll et al., 2011). Группа исследователей во главе с June Yuun (2017) выявила возможность подавления трансмиссии вируса гриппа А у трансгенных птиц, экспрессирующих одноцепочечный переменный фрагмент 3D8 (scFv), взаимодействующий с вирусным геномом и приводящий к подавлению вирусного выделения (et al., 2017).

Создание генетической устойчивости к высокопатогенному вирусу гриппа птиц

представляет критически важное направление для глобальной продовольственной безопасности: Idoko-Akoh et al. (2023) применили CRISPR/Cas9 для создания гомозиготных кур с аминокислотными заменами (N129I и D130N) в гене ANP32A, предотвращающими взаимодействие с вирусной полимеразой, что обеспечило устойчивость к птичьему гриппу 9 из 10 отредактированных кур при низкой дозе вируса, хотя при высокой дозе наблюдались прорывные инфекции адаптированными вариантами вируса, использующими альтернативные белки ANP32B и ANP32E, что подчёркивает необходимость множественного редактирования генов семейства ANP32 для предотвращения вирусной адаптации.

Перспективным подходом является использование кур в качестве биореакторов для производства терапевтических белков человека. Замена переменных областей куриных иммуноглобулинов человеческими V-областями и синтетическими псевдогенными массивами позволяет производить созревшие по аффинности человеческие антитела у кур. По мнению Ching и соавторов (2018) платформа OmniChicken компании Ligand Pharmaceuticals является уникальной в мировом масштабе системой, использующей филогенетическую разницу между млекопитающими и птицами для производства человеческих моноклональных антител.

В 2018 году ген человеческого интерферона бета (*hIFN-β*) был успешно интегрирован в локус гена овальбумина кур для производства данного белка в яичном белке. Это демонстрирует способность производства чужеродных белков в яйцах, что имеет промышленное и терапевтическое значение (Oishi et al., 2018). Производство антител в куриных яйцах также является экономичным и не вызывающим стресс методом получения специфических антител.

Геномное редактирование также открывает перспективы для снижения экологического следа птицеводства через улучшение конверсии корма, снижение выделений азота и фосфора, создание

термостойких линий для адаптации к климатическим изменениям, а также для биофармацевтических применений, включая производство гипоаллергенных яиц и создание платформ для производства терапевтических рекомбинантных белков и антител в яичном белке.

Особо следует отметить, что применение технологий геномной модификации в птицеводстве и не только требует тщательной предварительной оценки возможных рисков. Нецелевые мутации (нецелевые эффекты) могут возникать в геномных локусах со сходной нуклеотидной последовательностью с целевым сайтом, что может повлечь за собой нокаут нецелевых функционально значимых генов и привести к непредсказуемым изменениям фенотипа вплоть до серьезных физиологических дефектов и летальности. Использование в качестве контроля полногеномного секвенирования отредактированных линий позволит выявить такие нежелательные модификации и опасность дальнейшей работы.

Плейотропные эффекты генов-мишеней также заслуживают пристального внимания. Примером может послужить описанный выше нокаут гена рецептора TVA, обеспечивающий устойчивость к вирусу лейкоза птиц подгруппы А и К, но при этом одновременно снижающий синтез кобаламина, поскольку эти рецепторы захватывают комплекс витамина B12 с транскобаламином. Аналогично, модификация гена *NHE1* для защиты от вируса лейкоза подгруппы J может затрагивать множество последовательных процессов, связанных с регуляцией pH в клетках. Комплексный фенотипический анализ отредактированных птиц необходимо проводить в нескольких поколениях для выявления отсроченных эффектов модификаций, которые могут не проявляться у первого поколения, но влиять на продуктивность или устойчивость потомства.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Редактирование генома кур прошло путь от первых экспериментов с ретровирусными векторами до высокоточных технологий на основе системы CRISPR/

Cas9, открывающих широкие возможности для фундаментальной науки и практических применений. Ключевыми достижениями в этой области стали разработка методов культивирования и генетической модификации примордиальных половых клеток с сохранением их способности к трансмиссии в зародышевую линию, создание эффективных систем для целенаправленного редактирования генома, особенно CRISPR/Cas9, и получение первых кур с точными генетическими модификациями.

Перспективы дальнейшего развития технологий редактирования генома кур включают создание устойчивых к различным патогенам линий, что может революционизировать птицеводство и снизить необходимость применения антибиотиков. Использование кур как биореакторов для производства терапевтических белков человека представляет экономически привлекательную альтернативу существующим системам экспрессии. Платформы для производства человеческих моноклональных антител в курах демонстрируют коммерческий потенциал этой технологии.

Несмотря на значительные успехи, остаются задачи, требующие дальнейших исследований. Необходима идентификация новых генов-мишеней, связанных с восприимчивостью к заболеваниям, для расширения спектра устойчивых к патогенам линий кур. Требуется развитие методов для более сложных геномных модификаций, включая вставку больших фрагментов ДНК и множественные одновременные редактирования. Важным аспектом является также решение регуляторных и этических вопросов, связанных с использованием животных с измененным геномом в производстве продуктов питания.

Споры об использовании животных с отредактированным геномом в пищевой промышленности продолжаются, технология действительно требует доработки в плане уменьшения непредсказуемых нецелевых эффектов и разработки систем контроля биобезопасности. Однако

накопленные научные данные свидетельствуют о том, что редактирование генома кур, в отличие от переноса чужеродных генов в геном, имеет значительный потенциал для улучшения благополучия животных, снижения использования фармацевтических препаратов в птицеводстве и создания новых биотехнологических платформ.

CHICKEN GENOME EDITING: MODERN TECHNOLOGIES, ACHIEVEMENTS, AND PROSPECTS FOR APPLICATION IN AGRICULTURE AND BIOMEDICINE

Krutikova A.A.* – PhD, Associate Professor, Department of Genetic and Reproductive Biotechnology (ORCID 0000-0003-2561-145x); **Plemyashov K.V.** – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector (ORCID 0000-0002-3658-5886)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* anntim2575@mail.ru

ABSTRACT

Animal genome editing, particularly in chickens, is a rapidly developing field of biotechnology with significant implications for agriculture, fundamental science, and medical research. The domestic chicken is a model animal in immunology, embryology, and infectious diseases. The advent of modern gene editing technologies, including the CRISPR/Cas9 system, TALENs, and homologous recombination, has opened new possibilities for precise modification of the chicken genome. Chicken genome editing technologies are demonstrating rapid progress between 2019 and 2025, spanning both breeding and conservation applications, opening new prospects in several areas simultaneously. From a practical perspective, breeders have gained the opportunity to create poultry with increased resistance to common infections. Equally important is the application of genome editing methods to address conservation issues. Cryopreservation of primordial germ cells from rare and

endangered chicken breeds allows for the preservation of a full set of genetic information—including mitochondrial DNA and the W chromosome, unique to females—that is inaccessible when freezing sperm alone. Hungarian colleagues have created a functioning cryobank of six national breeds with engraftment rates of up to 100%. These technologies have successfully restored several endangered chicken breeds in China and Japan. This combination of applied and conservation aspects makes avian genome editing technologies a promising area of modern biotechnology. This paper presents a comprehensive analysis of the current state of avian genome editing technologies, examining the main approaches to genetic modification, including work with primordial germ cells, the use of viral vectors, and direct embryo editing. Particular attention is given to advances in the creation of pathogen-resistant chicken lines, the development of gene knockout models for studying their functions, and the development of biotechnological systems to produce therapeutic proteins. The prospects for using genetically modified chickens in biomedical research and the production of biopharmaceuticals are analysed.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abu-Bonsrah K. D. CRISPR/Cas9 targets chicken embryonic somatic cells in vitro and in vivo and generates phenotypic abnormalities / K. D. Abu-Bonsrah, D. Zhang, D. F. Newgreen // *Scientific Reports*. – 2016. – Vol. 6. – Art. 34524. DOI: 10.1038/srep34524. URL: <https://doi.org/10.1038/srep34524>.
2. Arakawa H. Immunoglobulin gene conversion: insights from bursal B cells and the DT40 cell line / H. Arakawa, J. M. Buerstedde // *Developmental Dynamics*. – 2004. – Vol. 229, № 3. – P. 458–464. DOI: 10.1002/dvdy.20003, URL: <https://doi.org/10.1002/dvdy.20003>.
3. Bai Y. Efficient genome editing in chicken DF-1 cells using the CRISPR/Cas9 system / Y. Bai, L. He, P. Li, K. Xu, S. Shao, C. Ren, Z. Liu, Z. Wei // *G3: Genes, Genomes, Genetics*. – 2016. – Vol. 6, № 4. – P. 917–

923. DOI: 10.1534/g3.115.026102, URL: <https://doi.org/10.1534/g3.115.026102>.
4. Ballantyne M. Direct allele introgression into pure chicken breeds using Sire Dam Surrogate (SDS) mating / M. Ballantyne, M. Woodcock, D. Doddamani, T. Hu, L. Taylor, R. J. Hawken, M. J. McGrew // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 659. DOI: 10.1038/s41467-020-20812-x, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20812-x>.
5. Barnard R. J. Avian sarcoma and leukosis virus-receptor interactions: from classical genetics to novel insights into virus-cell membrane fusion / R. J. Barnard, D. Elleder, J. A. Young // *Virology*. – 2006. – Vol. 344, № 1. – P. 25–29. DOI: 10.1016/j.virol.2005.09.006, URL: <https://doi.org/10.1016/j.virol.2005.09.006>.
6. Bell E. J. Replication-competent retroviral vectors for expressing genes in avian cells in vitro and in vivo / E. J. Bell, P. M. Brickell // *Molecular Biotechnology*. – 1997. – Vol. 7, № 3. – P. 289–298. DOI: 10.1007/BF02787935, URL: <https://doi.org/10.1007/BF02787935>.
7. Buerstedde J. M. Light chain gene conversion continues at high rate in an ALV-induced cell line / J. M. Buerstedde, C. A. Reynaud, E. H. Humphries, W. Olson, D. L. Ewert, J. C. Weill // *The EMBO Journal*. – 1990. – Vol. 9, № 3. – P. 921–927. DOI: 10.1002/j.1460-2075.1990.tb08103.x, URL: <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1990.tb08103.x>.
8. Burt D. W. Emergence of the chicken as a model organism: implications for agriculture and biology / D. W. Burt // *Poultry Science*. – 2007. – Vol. 86, № 7. – P. 1460–1471. DOI: 10.1093/ps/86.7.1460, URL: <https://doi.org/10.1093/ps/86.7.1460>.
9. Ching K. H. Chickens with humanized immunoglobulin genes generate antibodies with high affinity and broad epitope coverage to conserved targets / K. H. Ching, E. J. Collarini, Y. N. Abdiche, D. Bedinger, D. Pedersen, S. Izquierdo, W. Harriman, S. Kusugal, D. Reilly, K. Lewis, J. Lutz, A. C. Lim, R. Etches, M. C. Van De Lavoie, A. Thiel, B. Harriman, P. A. Leighton // *mAbs*. – 2018. – Vol. 10, № 1. – P. 71–80. DOI: 10.1080/19420862.2017.1389365, URL: <https://doi.org/10.1080/19420862.2017.1389365>.
10. Dimitrov L. Germline gene editing in chickens by efficient CRISPR-mediated homologous recombination in primordial germ cells / L. Dimitrov, D. Pedersen, K. H. Ching, H. Yi, E. J. Collarini, S. Izquierdo, M. C. Van De Lavoie, P. A. Leighton // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol. 11, № 5. – Art. e0154303. DOI: 10.1371/journal.pone.0154303, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154303>.
11. EFSA, ECDC. The European Union One Health 2024 Zoonoses Report / EFSA, ECDC // *EFSA Journal*. – 2024. – Vol. 22, № 12. – Art. e9106. DOI: 10.2903/j.efsa.2024.9106, URL: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106>.
12. Ezaki R. Transcription activator-like effector nuclease-mediated deletion safely eliminates the major egg allergen ovomucoid in chickens / R. Ezaki, T. Sakuma, D. Kodama, T. Mukae, K. Yoshii, T. Takahama, T. Yamamoto, I. Oishi // *Food and Chemical Toxicology*. – 2023. – Vol. 175. – Art. 113703. DOI: 10.1016/j.fct.2023.113703, URL: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113703>.
13. Fadly A. M. Isolation and identification of avian leukosis viruses: a review / A. M. Fadly // *Avian Pathology*. – 2000. – Vol. 29, № 6. – P. 529–535. DOI: 10.1080/03079450020016808, URL: <https://doi.org/10.1080/03079450020016808>.
14. Foster D. Development of a spontaneously immortalized chicken embryo fibroblastic cell line / D. Foster // *Virology*. – 1998. – Vol. 248, № 2. – P. 305–311. DOI: 10.1006/viro.1998.9273, URL: <https://doi.org/10.1006/viro.1998.9273>.
15. Fujimoto T. Observations of the primordial germ cells in blood samples from the chick embryo / T. Fujimoto, T. Ninomiya, A. Ukeshima // *Developmental Biology*. – 1976. – Vol. 49, № 2. – P. 278–282. DOI: 10.1016/0012-1606(76)90208-0, URL: [https://doi.org/10.1016/0012-1606\(76\)90208-0](https://doi.org/10.1016/0012-1606(76)90208-0).
16. Gaj T. ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering / T. Gaj, C. A. Gersbach, C. F. Barbas III //

- Trends in Biotechnology. – 2013. – Vol. 31, № 7. – P. 397–405. DOI: 10.1016/j.tibtech.2013.04.004, URL: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.04.004>.
17. Gandhi S. Optimization of CRISPR/Cas9 genome editing for loss-of-function in the early chick embryo / S. Gandhi, M. L. Piacentino, F. M. Vieceli, M. E. Bronner // *Developmental Biology*. – 2017. – Vol. 432, № 1. – P. 86–97. DOI: 10.1016/j.ydbio.2017.09.027, URL: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.09.027>.
18. Garg S. Human infections with highly pathogenic avian influenza A(H5N1) viruses in the United States from March 2024 to May 2025 / S. Garg, A. L. Garg, T. Surie, et al. // *Emerging Infectious Diseases*. – 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12477757/>.
19. Guan D. Genetic regulation of gene expression across multiple tissues in chickens / D. Guan, Y. Hou, D. Zou, et al. // *Nature Genetics*. – 2025. – Vol. 57. – P. 606–622. DOI: 10.1038/s41588-025-02155-9, URL: <https://doi.org/10.1038/s41588-025-02155-9>.
20. Hou Y. The ChickenGTEx portal: a pan-tissue catalogue of regulatory variants shaping transcriptomic and phenotypic diversity / Y. Hou, D. Zou, Q. Chu, et al. // *Nucleic Acids Research*. – 2025. – Art. gkaf731. DOI: 10.1093/nar/gkaf731, URL: <https://doi.org/10.1093/nar/gkaf731>.
21. Idoko-Akoh A. Creating resistance to avian influenza infection through genome editing of the ANP32 gene family / A. Idoko-Akoh, D. H. Goldhill, C. M. Sheppard, D. Bialy, J. L. Quantrell, K. Sukhova, J. C. Brown, S. Richardson, C. Campbell, L. Taylor, A. Sherman, S. Nazki, J. S. Long, M. A. Skinner, H. Shelton, H. M. Sang, W. S. Barclay, M. J. McGrew // *Nature Communications*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 6136. DOI: 10.1038/s41467-023-41476-3, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41476-3>.
22. International Chicken Genome Sequencing Consortium. Sequence and comparative analysis of the chicken genome provide unique perspectives on vertebrate evolution / International Chicken Genome Sequencing Consortium // *Nature*. – 2004. – Vol. 432, № 7018. – P. 695–716. DOI: 10.1038/nature03154, URL: <https://doi.org/10.1038/nature03154>.
23. Jinek M. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity / M. Jinek, K. Chylinski, I. Fonfara, M. Hauer, J. A. Doudna, E. Charpentier // *Science*. – 2012. – Vol. 337, № 6096. – P. 816–821. DOI: 10.1126/science.1225829, URL: <https://doi.org/10.1126/science.1225829>.
24. June Byun S. Transgenic chickens expressing the 3D8 single chain variable fragment protein suppress avian influenza transmission / S. June Byun, S. S. Yuk, Y. J. Jang, H. Choi, M. H. Jeon, T. Erdene-Ochir, B. Y. Yun, J. K. Oem, Y. J. Kim, H. Kim // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7. – Art. 5938. DOI: 10.1038/s41598-017-06206-3, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06206-3>.
25. Kang K. S. Spatial and temporal action of chicken primordial germ cells during initial migration / K. S. Kang, H. C. Lee, H. J. Kim, H. G. Lee, Y. M. Kim, H. J. Lee, Y. H. Park, J. Y. Shin, H. Kim, J. T. Do, C. Park, J. H. Kim, J. Y. Han // *Reproduction*. – 2015. – Vol. 149, № 2. – P. 179–187. DOI: 10.1530/REP-14-0420, URL: <https://doi.org/10.1530/REP-14-0420>.
26. Kim J. N. Migration and proliferation of intact and genetically modified primordial germ cells and the generation of a transgenic chicken / J. N. Kim, T. S. Park, S. H. Park, K. J. Park, T. M. Kim, S. K. Lee, J. M. Lim, J. Y. Han // *Biology of Reproduction*. – 2010. – Vol. 82, № 2. – P. 257–262. DOI: 10.1095/biolreprod.109.079095, URL: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.079095>.
27. Kim G. D. Generation of myostatin-knockout chickens mediated by D10A-Cas9 nickase / G. D. Kim, J. H. Lee, S. Song, S. W. Kim, J. S. Han, S. P. Shin, B. C. Park, T. S. Park // *FASEB Journal*. – 2020. – Vol. 34, № 4. – P. 5688–5696. DOI: 10.1096/fj.201903035R, URL: <https://doi.org/10.1096/fj.201903035R>.
28. Klucking S. Resistance to infection by subgroups B, D, and E avian sarcoma and leukosis viruses is explained by a premature stop codon within a resistance allele of the

- tvb receptor gene / S. Klucking, H. B. Adkins, J. A. Young // *Journal of Virology*. – 2002. – Vol. 76, № 15. – P. 7918–7921. DOI: 10.1128/JVI.76.15.7918-7921.2002, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.76.15.7918-7921.2002>.
29. Koslová A. Knock-Out of Retrovirus Receptor Gene TVA in the Chicken Confers Resistance to Avian Leukosis Virus Subgroups A and K and Affects Cobalamin (Vitamin B12)-Dependent Level of Methylmalonic Acid / A. Koslová, P. Trefil, J. Mucksová, J. Reinišová, B. Dvořák, J. Plachý, D. Kučerová, Z. Geryk, J. Kalina, D. Elleder, J. Hejnar // *Viruses*. – 2021. – Vol. 13, № 12. – Art. 2504. DOI: 10.3390/v13122504, URL: <https://doi.org/10.3390/v13122504>.
30. Kučerová D. Nonconserved tryptophan 38 of the cell surface receptor for subgroup J avian leukosis virus discriminates sensitive from resistant avian species / D. Kučerová, J. Plachý, M. Reinišová, F. Šenigl, K. Trejbalová, J. Geryk, J. Hejnar // *Journal of Virology*. – 2013. – Vol. 87, № 15. – P. 8399–8407. DOI: 10.1128/JVI.00869-13, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.00869-13>.
31. Lee J. Generation of genome-edited chicken and duck lines by adenovirus-mediated in vivo genome editing / J. Lee, D. H. Kim, M. C. Karolak, S. Shin, K. Lee // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2022. – Vol. 119, № 45. – Art. e2214344119. DOI: 10.1073/pnas.2214344119, URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2214344119>.
32. Lee H. J. Precise gene editing of chicken Na⁺/H⁺ exchange type 1 (chNHE1) confers resistance to avian leukosis virus subgroup J (ALV-J) / H. J. Lee, K. Y. Lee, K. M. Jung, K. J. Park, K. O. Lee, J. Y. Suh, Y. Yao, V. Nair, J. Y. Han // *Developmental & Comparative Immunology*. – 2017. – Vol. 77. – P. 340–349. DOI: 10.1016/j.dci.2017.08.016, URL: <https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.08.016>.
33. Lee H. J. Acquisition of resistance to avian leukosis virus subgroup B through mutations on tvb cysteine-rich domains in DF-1 chicken fibroblasts / H. J. Lee, K. Y. Lee, Y. H. Park, H. J. Choi, Y. Yao, V. Nair, J. Y. Han // *Veterinary Research*. – 2017. – Vol. 48. – Art. 48. DOI: 10.1186/s13567-017-0454-1, URL: <https://doi.org/10.1186/s13567-017-0454-1>.
34. Lee J. H. CXC chemokine receptor type 4 (CXCR4) is a key receptor for chicken primordial germ cell migration / J. H. Lee, J. W. Park, S. W. Kim, J. Park, T. S. Park // *Journal of Reproduction and Development*. – 2017. – Vol. 63, № 6. – P. 555–562. DOI: 10.1262/jrd.2017-074, URL: <https://doi.org/10.1262/jrd.2017-074>.
35. Love J. Transgenic birds by DNA microinjection / J. Love, C. Gribbin, C. Mather, H. Sang // *Bio/Technology*. – 1994. – Vol. 12. – P. 60–63. DOI: 10.1038/nbt0194-60, URL: <https://doi.org/10.1038/nbt0194-60>.
36. Lyall J. Suppression of avian influenza transmission in genetically modified chickens / J. Lyall, R. M. Irvine, A. Sherman, T. J. McKinley, A. Núñez, A. Purdie, L. Oakes, S. Ravipati, I. H. Brown, G. Rolleston-Smith, H. M. Sang, L. Tiley // *Science*. – 2011. – Vol. 331, № 6014. – P. 223–226. DOI: 10.1126/science.1198020, URL: <https://doi.org/10.1126/science.1198020>.
37. Matoušková M. Rapid adaptive evolution of avian leukosis virus subgroup J in response to biotechnologically induced host resistance / M. Matoušková, J. Plachý, D. Kučerová, E. Pecnová, M. Reinišová, J. Geryk, J. Hejnar // *PLoS Pathogens*. – 2024. – Vol. 20, № 8. – Art. e1012468. DOI: 10.1371/journal.ppat.1012468, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1012468>.
38. McGrew M. J. Efficient production of germline transgenic chickens using lentiviral vectors / M. J. McGrew, A. Sherman, F. M. Ellard, S. G. Lillico, H. J. Gilhooley, A. J. Kingsman, K. A. Mitrophanous, H. Sang // *EMBO Reports*. – 2004. – Vol. 5, № 7. – P. 728–733. DOI: 10.1038/sj.embor.7400181, URL: <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400181>.
39. Mukae T. Production and characterization of eggs from hens with ovomucoid gene mutation / T. Mukae, K. Yoshii, T. Watanobe, T. Tagami, I. Oishi // *Poultry Science*. – 2021. – Vol. 100, № 1. – P. 452–460. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.088, URL: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.088>.

40. Nakamura Y. Germline replacement by transfer of primordial germ cells into partially sterilized embryos in the chicken / Y. Nakamura, F. Usui, T. Ono, K. Takeda, K. Nirasawa, H. Kagami, T. Tagami // *Biology of Reproduction*. – 2010. – Vol. 83, № 1. – P. 130–137. DOI: 10.1095/biolreprod.109.082537, URL: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.082537>.
41. Oishi I. Efficient production of human interferon beta in the white of eggs from ovalbumin gene-targeted hens / I. Oishi, K. Yoshii, D. Miyahara, T. Tagami // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8. – Art. 10203. DOI: 10.1038/s41598-018-28478-2, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28478-2>.
42. Oishi I. Targeted mutagenesis in chicken using CRISPR/Cas9 system / I. Oishi, K. Yoshii, D. Miyahara, H. Kagami, T. Tagami // *Scientific Reports*. – 2016. – Vol. 6. – Art. 23980. DOI: 10.1038/srep23980, URL: <https://doi.org/10.1038/srep23980>.
43. Petersen E. Mortality of H5N1 human infections might be due to H5N1 virus pneumonia and could decrease by switching receptor / E. Petersen, N. Lee, I. J. Sikkema, S. Peiris, G. M. Ippolito, N. Beeching, A. Zumla // *The Lancet Infectious Diseases*. – 2024. – Vol. 24, № 9. – P. e527–e528. DOI: 10.1016/S1473-3099(24)00460-2, URL: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(24\)00460-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(24)00460-2).
44. Reinisová M. A single-amino-acid substitution in the TvbS1 receptor results in decreased susceptibility to infection by avian sarcoma and leukosis virus subgroups B and D and resistance to infection by subgroup E in vitro and in vivo / M. Reinisová, F. Senigl, X. Yin, J. Plachy, J. Geryk, D. Elleder, J. Hejnar // *Journal of Virology*. – 2008. – Vol. 82, № 4. – P. 2097–2105. DOI: 10.1128/JVI.01995-07, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.01995-07>.
45. Reuter A. Antiviral activity of lambda interferon in chickens / A. Reuter, S. Soubies, S. Härtle, B. Schusser, B. Kaspers, P. Staeheli, T. C. Mettenleiter // *Journal of Virology*. – 2014. – Vol. 88, № 5. – P. 2835–2843. DOI: 10.1128/JVI.03360-13, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.03360-13>.
46. Salter D. W. Transgenic chickens: insertion of retroviral genes into the chicken germ line / D. W. Salter, E. J. Smith, S. H. Hughes, S. E. Wright, L. B. Crittenden // *Virology*. – 1987. – Vol. 157, № 1. – P. 236–240. DOI: 10.1016/0042-6822(87)90332-1, URL: [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(87\)90332-1](https://doi.org/10.1016/0042-6822(87)90332-1).
47. Schusser B. Immunoglobulin knockout chickens via efficient homologous recombination in primordial germ cells / B. Schusser, E. J. Collarini, H. Yi, S. Izquierdo, J. Fesler, D. Pedersen, W. D. Harriman, M. C. Van De Lavoie, R. J. Etches // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2013. – Vol. 110, № 50. – P. 20170–20175. DOI: 10.1073/pnas.1312715110, URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1312715110>.
48. Schusser B. Expression of heavy chain-only antibodies can support B-cell development in light chain knockout chickens / B. Schusser, E. J. Collarini, D. Pedersen, H. Yi, K. H. Ching, S. Izquierdo, A. L. Thuckava Doss, W. Harriman, M. C. Van De Lavoie, R. J. Etches // *European Journal of Immunology*. – 2016. – Vol. 46, № 9. – P. 2137–2148. DOI: 10.1002/eji.201646402, URL: <https://doi.org/10.1002/eji.201646402>.
49. Schusser B. Mx is dispensable for interferon-mediated resistance of chicken cells against influenza A virus / B. Schusser, A. Reuter, A. Von Der Malsburg, N. Penski, S. Weigend, B. Kaspers, S. Härtle, P. Staeheli, P. M. Schneider // *Journal of Virology*. – 2011. – Vol. 85, № 16. – P. 8307–8315. DOI: 10.1128/JVI.00521-11, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.00521-11>.
50. Stern C. D. The chick: a great model system becomes even greater / C. D. Stern // *Developmental Cell*. – 2005. – Vol. 8, № 1. – P. 9–17. DOI: 10.1016/j.devcel.2004.11.018, URL: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2004.11.018>.
51. Taylor L. Efficient TALEN-mediated gene targeting of chicken primordial germ cells / L. Taylor, D. F. Carlson, S. Nandi, A. Sherman, S. C. Fahrenkrug, M. J. McGrew // *Development*. – 2017. – Vol. 144, № 5. – P. 928–934. DOI: 10.1242/dev.145367, URL: <https://doi.org/10.1242/dev.145367>.
52. Trefil P. Male fertility restored by trans-

planting primordial germ cells into testes: a new way towards efficient transgenesis in chicken / P. Trefil, D. Aumann, A. Koslová, J. Mucksová, B. Benešová, J. Kalina, C. Wurmser, R. Fries, D. Elleder, B. Schusser, J. Hejnar // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7. – Art. 14246. DOI: 10.1038/s41598-017-14526-2, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14526-2>.

53. Van De Lavoie M. C. Germline transmission of genetically modified primordial germ cells / M. C. Van De Lavoie, J. H. Diamond, P. A. Leighton, C. Mather-Love, B. S. Heyer, R. Bradshaw, A. Kerchner, L. T. Hooi, T. M. Gessaro, S. E. Swanberg, M. E. Delany, R. J. Etches // *Nature*. – 2006. – Vol. 441, № 7094. – P. 766–769. DOI: 10.1038/nature04831, URL: <https://doi.org/10.1038/nature04831>.

54. Wernery U. Primordial germ cell-mediated chimera technology produces viable pure-line Houbara bustard offspring: potential for repopulating an endangered species / U. Wernery, C. Liu, V. Baskar, Z. Guerineche, K. A. Khazanehdari, S. Saleem, J. Kinne, R. Wernery, D. K. Griffin, I. K. Chang // *PLoS ONE*. – 2010. – Vol. 5, № 12. – Art. e15824. DOI: 10.1371/journal.pone.0015824, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015824>.

55. Whyte J. FGF, insulin, and SMAD signaling cooperate for avian primordial germ cell self-renewal / J. Whyte, J. D. Glover, M. Woodcock, J. Brzeszczynska, L. Taylor, A. Sherman, P. Kaiser, M. J. McGrew // *Stem Cell Reports*. – 2015. – Vol. 5, № 6. – P. 1171–1182. DOI: 10.1016/j.stemcr.2015.10.015, URL: <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2015.10.015>.

56. Wilson N. H. In ovo electroporation of miRNA-based plasmids in the developing neural tube and assessment of phenotypes by DiI injection in open-book preparations / N. H. Wilson, E. T. Stoeckli // *Journal of Visualized Experiments*. – 2012. – № 68. – Art. 4384. DOI: 10.3791/4384, URL: <https://doi.org/10.3791/4384>.

57. Ветох А. Н. Создание систем редактирования генома на основе CRISPR-Cas9 для нокаута генов FGF20 и HR в эмбриональных и генеративных клетках кур и

перепелов / А. Н. Ветох, П. В. Сергиев, М. П. Рубцова, Н. А. Волкова, Е. К. Томгорова, Л. А. Волкова, Н. А. Зиновьева // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56, № 6. – С. 1099–1110. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1099rus, URL: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1099rus>.

58. Крутикова А. А. Способ получения примордиальных половых клеток птиц / А. А. Крутикова, Г. К. Пегливанян : патент РФ 2832977 С1. Заявка № 2024110980 от 22.04.2024. – Оpubл. 13.01.2025. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2832977C1/ru>.

REFERENCES

1. Abu-Bonsrah K. D. CRISPR/Cas9 targets chicken embryonic somatic cells in vitro and in vivo and generates phenotypic abnormalities / K. D. Abu-Bonsrah, D. Zhang, D. F. Newgreen // *Scientific Reports*. – 2016. – Vol. 6. – Art. 34524. DOI: 10.1038/srep34524. URL: <https://doi.org/10.1038/srep34524>.

2. Arakawa H. Immunoglobulin gene conversion: insights from bursal B cells and the DT40 cell line / H. Arakawa, J. M. Buerstedde // *Developmental Dynamics*. – 2004. – Vol. 229, No. 3. – P. 458–464. DOI: 10.1002/dvdy.20003, URL: <https://doi.org/10.1002/dvdy.20003>.

3. Bai Y. Efficient genome editing in chicken DF-1 cells using the CRISPR/Cas9 system / Y. Bai, L. He, P. Li, K. Xu, S. Shao, C. Ren, Z. Liu, Z. Wei // *G3: Genes, Genomes, Genetics*. – 2016. – Vol. 6, No. 4. – P. 917–923. DOI: 10.1534/g3.115.026102, URL: <https://doi.org/10.1534/g3.115.026102>.

4. Ballantyne M. Direct allele introgression into pure chicken breeds using Sire Dam Surrogate (SDS) mating / M. Ballantyne, M. Woodcock, D. Doddamani, T. Hu, L. Taylor, R. J. Hawken, M. J. McGrew // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 659. DOI: 10.1038/s41467-020-20812-x, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20812-x>.

5. Barnard R. J. Avian sarcoma and leukosis virus-receptor interactions: from classical genetics to novel insights into virus-cell

- membrane fusion / R. J. Barnard, D. Elleder, J. A. Young // *Virology*. – 2006. – Vol. 344, No. 1. – P. 25–29. DOI: 10.1016/j.virol.2005.09.006, URL: <https://doi.org/10.1016/j.virol.2005.09.006>.
6. Bell E. J. Replication-competent retroviral vectors for expressing genes in avian cells in vitro and in vivo / E. J. Bell, P. M. Brickell // *Molecular Biotechnology*. – 1997. – Vol. 7, No. 3. – P. 289–298. DOI: 10.1007/BF02787935, URL: <https://doi.org/10.1007/BF02787935>.
7. Buerstedde J. M. Light chain gene conversion continues at high rate in an ALV-induced cell line / J. M. Buerstedde, C. A. Reynaud, E. H. Humphries, W. Olson, D. L. Ewert, J. C. Weill // *The EMBO Journal*. – 1990. – Vol. 9, No. 3. – P. 921–927. DOI: 10.1002/j.1460-2075.1990.tb08103.x, URL: <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1990.tb08103.x>.
8. Burt D. W. Emergence of the chicken as a model organism: implications for agriculture and biology / D. W. Burt // *Poultry Science*. – 2007. – Vol. 86, No. 7. – P. 1460–1471. DOI: 10.1093/ps/86.7.1460, URL: <https://doi.org/10.1093/ps/86.7.1460>.
9. Ching K. H. Chickens with humanized immunoglobulin genes generate antibodies with high affinity and broad epitope coverage to conserved targets / K. H. Ching, E. J. Collarini, Y. N. Abdiche, D. Bedinger, D. Pedersen, S. Izquierdo, W. Harriman, S. Kusugal, D. Reilly, K. Lewis, J. Lutz, A. C. Lim, R. Etches, M. C. Van De Lavoie, A. Thiel, B. Harriman, P. A. Leighton // *mAbs*. – 2018. – Vol. 10, No. 1. – P. 71–80. DOI: 10.1080/19420862.2017.1389365, URL: <https://doi.org/10.1080/19420862.2017.1389365>.
10. Dimitrov L. Germline gene editing in chickens by efficient CRISPR-mediated homologous recombination in primordial germ cells / L. Dimitrov, D. Pedersen, K. H. Ching, H. Yi, E. J. Collarini, S. Izquierdo, M. C. Van De Lavoie, P. A. Leighton // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol. 11, No. 5. – Art. e0154303. DOI: 10.1371/journal.pone.0154303, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154303>.
11. EFSA, ECDC. The European Union One Health 2024 Zoonoses Report / EFSA, ECDC // *EFSA Journal*. – 2024. – Vol. 22, No. 12. – Art. e9106. DOI: 10.2903/j.efsa.2024.9106, URL: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106>.
12. Ezaki R. Transcription activator-like effector nuclease-mediated deletion safely eliminates the major egg allergen ovomucoid in chickens / R. Ezaki, T. Sakuma, D. Kodama, T. Mukae, K. Yoshii, T. Takahama, T. Yamamoto, I. Oishi // *Food and Chemical Toxicology*. – 2023. – Vol. 175. – Art. 113703. DOI: 10.1016/j.fct.2023.113703, URL: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113703>.
13. Fadly A. M. Isolation and identification of avian leukosis viruses: a review / A. M. Fadly // *Avian Pathology*. – 2000. – Vol. 29, No. 6. – P. 529–535. DOI: 10.1080/03079450020016808, URL: <https://doi.org/10.1080/03079450020016808>.
14. Foster D. Development of a spontaneously immortalized chicken embryo fibroblastic cell line / D. Foster // *Virology*. – 1998. – Vol. 248, No. 2. – P. 305–311. DOI: 10.1006/viro.1998.9273, URL: <https://doi.org/10.1006/viro.1998.9273>.
15. Fujimoto T. Observations of the primordial germ cells in blood samples from the chick embryo / T. Fujimoto, T. Ninomiya, A. Ukeshima // *Developmental Biology*. – 1976. – Vol. 49, No. 2. – P. 278–282. DOI: 10.1016/0012-1606(76)90208-0, URL: [https://doi.org/10.1016/0012-1606\(76\)90208-0](https://doi.org/10.1016/0012-1606(76)90208-0).
16. Gaj T. ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering / T. Gaj, C. A. Gersbach, C. F. Barbas III // *Trends in Biotechnology*. – 2013. – Vol. 31, No. 7. – P. 397–405. DOI: 10.1016/j.tibtech.2013.04.004, URL: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.04.004>.
17. Gandhi S. Optimization of CRISPR/Cas9 genome editing for loss-of-function in the early chick embryo / S. Gandhi, M. L. Piacentino, F. M. Vieceli, M. E. Bronner // *Developmental Biology*. – 2017. – Vol. 432, No. 1. – P. 86–97. DOI: 10.1016/j.ydbio.2017.09.027, URL: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.09.027>.
18. Garg S. Human infections with highly

- pathogenic avian influenza A(H5N1) viruses in the United States from March 2024 to May 2025 / S. Garg, A. L. Garg, T. Surie, et al. // *Emerging Infectious Diseases*. – 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12477757/>.
19. Guan D. Genetic regulation of gene expression across multiple tissues in chickens / D. Guan, Y. Hou, D. Zou, et al. // *Nature Genetics*. – 2025. – Vol. 57. – P. 606–622. DOI: 10.1038/s41588-025-02155-9, URL: <https://doi.org/10.1038/s41588-025-02155-9>.
20. Hou Y. The ChickenGTEx portal: a pan-tissue catalog of regulatory variants shaping transcriptomic and phenotypic diversity / Y. Hou, D. Zou, Q. Chu, et al. // *Nucleic Acids Research*. – 2025. – Art. gkaf731. DOI: 10.1093/nar/gkaf731, URL: <https://doi.org/10.1093/nar/gkaf731>.
21. Idoko-Akoh A. Creating resistance to avian influenza infection through genome editing of the ANP32 gene family / A. Idoko-Akoh, D. H. Goldhill, C. M. Sheppard, D. Bialy, J. L. Quantrell, K. Sukhova, J. C. Brown, S. Richardson, C. Campbell, L. Taylor, A. Sherman, S. Nazki, J. S. Long, M. A. Skinner, H. Shelton, H. M. Sang, W. S. Barclay, M. J. McGrew // *Nature Communications*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 6136. DOI: 10.1038/s41467-023-41476-3, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41476-3>.
22. International Chicken Genome Sequencing Consortium. Sequence and comparative analysis of the chicken genome provide unique perspectives on vertebrate evolution / International Chicken Genome Sequencing Consortium // *Nature*. – 2004. – Vol. 432, No. 7018. – P. 695–716. DOI: 10.1038/nature03154, URL: <https://doi.org/10.1038/nature03154>.
23. Jinek M. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity / M. Jinek, K. Chylinski, I. Fonfara, M. Hauer, J. A. Doudna, E. Charpentier // *Science*. – 2012. – Vol. 337, No. 6096. – P. 816–821. DOI: 10.1126/science.1225829, URL: <https://doi.org/10.1126/science.1225829>.
24. June Byun S. Transgenic chickens expressing the 3D8 single chain variable fragment protein suppress avian influenza transmission / S. June Byun, S. S. Yuk, Y. J. Jang, H. Choi, M. H. Jeon, T. Erdene-Ochir, B. Y. Yun, J. K. Oem, Y. J. Kim, H. Kim // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7. – Art. 5938. DOI: 10.1038/s41598-017-06206-3, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06206-3>.
25. Kang K. S. Spatial and temporal action of chicken primordial germ cells during initial migration / K. S. Kang, H. C. Lee, H. J. Kim, H. G. Lee, Y. M. Kim, H. J. Lee, Y. H. Park, J. Y. Shin, H. Kim, J. T. Do, C. Park, J. H. Kim, J. Y. Han // *Reproduction*. – 2015. – Vol. 149, No. 2. – P. 179–187. DOI: 10.1530/REP-14-0420, URL: <https://doi.org/10.1530/REP-14-0420>.
26. Kim J. N. Migration and proliferation of intact and genetically modified primordial germ cells and the generation of a transgenic chicken / J. N. Kim, T. S. Park, S. H. Park, K. J. Park, T. M. Kim, S. K. Lee, J. M. Lim, J. Y. Han // *Biology of Reproduction*. – 2010. – Vol. 82, No. 2. – P. 257–262. DOI: 10.1095/biolreprod.109.079095, URL: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.079095>.
27. Kim G. D. Generation of myostatin-knockout chickens mediated by D10A-Cas9 nickase / G. D. Kim, J. H. Lee, S. Song, S. W. Kim, J. S. Han, S. P. Shin, B. C. Park, T. S. Park // *FASEB Journal*. – 2020. – Vol. 34, No. 4. – P. 5688–5696. DOI: 10.1096/fj.201903035R, URL: <https://doi.org/10.1096/fj.201903035R>.
28. Klucking S. Resistance to infection by subgroups B, D, and E avian sarcoma and leukosis viruses is explained by a premature stop codon within a resistance allele of the tvb receptor gene / S. Klucking, H. B. Adkins, J. A. Young // *Journal of Virology*. – 2002. – Vol. 76, No. 15. – P. 7918–7921. DOI: 10.1128/JVI.76.15.7918-7921.2002, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.76.15.7918-7921.2002>.
29. Koslová A. Knock-Out of Retrovirus Receptor Gene TVA in the Chicken Confers Resistance to Avian Leukosis Virus Subgroups A and K and Affects Cobalamin (Vitamin B12)-Dependent Level of Methylmalonic Acid / A. Koslová, P. Trefil, J. Mucksová, J. Reinišová, B. Dvořák, J.

- Plachý, D. Kučerová, Z. Geryk, J. Kalina, D. Elleder, J. Hejnar // *Viruses*. – 2021. – Vol. 13, No. 12. – Art. 2504. DOI: 10.3390/v13122504, URL: <https://doi.org/10.3390/v13122504>.
30. Kučerová D. Nonconserved tryptophan 38 of the cell surface receptor for subgroup J avian leukosis virus discriminates sensitive from resistant avian species / D. Kučerová, J. Plachý, M. Reinišová, F. Šenigl, K. Trejbalová, J. Geryk, J. Hejnar // *Journal of Virology*. – 2013. – Vol. 87, No. 15. – P. 8399–8407. DOI: 10.1128/JVI.00869-13, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.00869-13>.
31. Lee J. Generation of genome-edited chicken and duck lines by adenovirus-mediated in vivo genome editing / J. Lee, D. H. Kim, M. C. Karolak, S. Shin, K. Lee // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2022. – Vol. 119, No. 45. – Art. e2214344119. DOI: 10.1073/pnas.2214344119, URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2214344119>.
32. Lee H. J. Precise gene editing of chicken Na⁺/H⁺ exchange type 1 (chNHE1) confers resistance to avian leukosis virus subgroup J (ALV-J) / H. J. Lee, K. Y. Lee, K. M. Jung, K. J. Park, K. O. Lee, J. Y. Suh, Y. Yao, V. Nair, J. Y. Han // *Developmental & Comparative Immunology*. – 2017. – Vol. 77. – P. 340–349. DOI: 10.1016/j.dci.2017.08.016, URL: <https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.08.016>.
33. Lee H. J. Acquisition of resistance to avian leukosis virus subgroup B through mutations on tvb cysteine-rich domains in DF-1 chicken fibroblasts / H. J. Lee, K. Y. Lee, Y. H. Park, H. J. Choi, Y. Yao, V. Nair, J. Y. Han // *Veterinary Research*. – 2017. – Vol. 48. – Art. 48. DOI: 10.1186/s13567-017-0454-1, URL: <https://doi.org/10.1186/s13567-017-0454-1>.
34. Lee J. H. CXCR4 chemokine receptor type 4 (CXCR4) is a key receptor for chicken primordial germ cell migration / J. H. Lee, J. W. Park, S. W. Kim, J. Park, T. S. Park // *Journal of Reproduction and Development*. – 2017. – Vol. 63, No. 6. – P. 555–562. DOI: 10.1262/jrd.2017-074, URL: <https://doi.org/10.1262/jrd.2017-074>.
35. Love J. Transgenic birds by DNA microinjection / J. Love, C. Gribbin, C. Mather, H. Sang // *Bio/Technology*. – 1994. – Vol. 12. – P. 60–63. DOI: 10.1038/nbt0194-60, URL: <https://doi.org/10.1038/nbt0194-60>.
36. Lyall J. Suppression of avian influenza transmission in genetically modified chickens / J. Lyall, R. M. Irvine, A. Sherman, T. J. McKinley, A. Núñez, A. Purdie, L. Oakes, S. Ravipati, I. H. Brown, G. Rolleston-Smith, H. M. Sang, L. Tiley // *Science*. – 2011. – Vol. 331, No. 6014. – P. 223–226. DOI: 10.1126/science.1198020, URL: <https://doi.org/10.1126/science.1198020>.
37. Matoušková M. Rapid adaptive evolution of avian leukosis virus subgroup J in response to biotechnologically induced host resistance / M. Matoušková, J. Plachý, D. Kučerová, E. Pecnová, M. Reinišová, J. Geryk, J. Hejnar // *PLoS Pathogens*. – 2024. – Vol. 20, No. 8. – Art. e1012468. DOI: 10.1371/journal.ppat.1012468, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1012468>.
38. McGrew M. J. Efficient production of germline transgenic chickens using lentiviral vectors / M. J. McGrew, A. Sherman, F. M. Ellard, S. G. Lillico, H. J. Gilhooley, A. J. Kingsman, K. A. Mitrophanous, H. Sang // *EMBO Reports*. – 2004. – Vol. 5, No. 7. – P. 728–733. DOI: 10.1038/sj.embor.7400181, URL: <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400181>.
39. Mukae T. Production and characterization of eggs from hens with ovomucoid gene mutation / T. Mukae, K. Yoshii, T. Watanobe, T. Tagami, I. Oishi // *Poultry Science*. – 2021. – Vol. 100, No. 1. – P. 452–460. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.088, URL: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.088>.
40. Nakamura Y. Germline replacement by transfer of primordial germ cells into partially sterilized embryos in the chicken / Y. Nakamura, F. Usui, T. Ono, K. Takeda, K. Nirasawa, H. Kagami, T. Tagami // *Biology of Reproduction*. – 2010. – Vol. 83, No. 1. – P. 130–137. DOI: 10.1095/biolreprod.109.082537, URL: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.082537>.
41. Oishi I. Efficient production of human interferon beta in the white of eggs from ovalbumin gene-targeted hens / I. Oishi, K. Yoshii, D. Miyahara, T. Tagami // *Scientific*

- Reports. – 2018. – Vol. 8. – Art. 10203. DOI: 10.1038/s41598-018-28478-2, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28478-2>.
42. Oishi I. Targeted mutagenesis in chicken using CRISPR/Cas9 system / I. Oishi, K. Yoshii, D. Miyahara, H. Kagami, T. Tagami // Scientific Reports. – 2016. – Vol. 6. – Art. 23980. DOI: 10.1038/srep23980, URL: <https://doi.org/10.1038/srep23980>.
43. Petersen E. Mortality of H5N1 human infections might be due to H5N1 virus pneumonia and could decrease by switching receptor / E. Petersen, N. Lee, I. J. Sikkema, S. Peiris, G. M. Ippolito, N. Beeching, A. Zumla // The Lancet Infectious Diseases. – 2024. – Vol. 24, No. 9. – P. e527–e528. DOI: 10.1016/S1473-3099(24)00460-2, URL: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(24\)00460-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(24)00460-2).
44. Reinisová M. A single-amino-acid substitution in the TvbS1 receptor results in decreased susceptibility to infection by avian sarcoma and leukosis virus subgroups B and D and resistance to infection by subgroup E in vitro and in vivo / M. Reinisová, F. Senigl, X. Yin, J. Plachy, J. Geryk, D. Elleder, J. Hejnar // Journal of Virology. – 2008. – Vol. 82, No. 4. – P. 2097–2105. DOI: 10.1128/JVI.01995-07, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.01995-07>.
45. Reuter A. Antiviral activity of lambda interferon in chickens / A. Reuter, S. Soubies, S. Härtle, B. Schusser, B. Kaspers, P. Staeheli, T. C. Mettenleiter // Journal of Virology. – 2014. – Vol. 88, No. 5. – P. 2835–2843. DOI: 10.1128/JVI.03360-13, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.03360-13>.
46. Salter D. W. Transgenic chickens: insertion of retroviral genes into the chicken germ line / D. W. Salter, E. J. Smith, S. H. Hughes, S. E. Wright, L. B. Crittenden // Virology. – 1987. – Vol. 157, No. 1. – P. 236–240. DOI: 10.1016/0042-6822(87)90332-1, URL: [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(87\)90332-1](https://doi.org/10.1016/0042-6822(87)90332-1).
47. Schusser B. Immunoglobulin knockout chickens via efficient homologous recombination in primordial germ cells / B. Schusser, E. J. Collarini, H. Yi, S. Izquierdo, J. Fesler, D. Pedersen, W. D. Harriman, M. C. Van De Lavoie, R. J. Etches // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2013. – Vol. 110, No. 50. – P. 20170–20175. DOI: 10.1073/pnas.1312715110, URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1312715110>.
48. Schusser B. Expression of heavy chain-only antibodies can support B-cell development in light chain knockout chickens / B. Schusser, E. J. Collarini, D. Pedersen, H. Yi, K. H. Ching, S. Izquierdo, A. L. Thuckava Doss, W. Harriman, M. C. Van De Lavoie, R. J. Etches // European Journal of Immunology. – 2016. – Vol. 46, No. 9. – P. 2137–2148. DOI: 10.1002/eji.201646402, URL: <https://doi.org/10.1002/eji.201646402>.
49. Schusser B. Mx is dispensable for interferon-mediated resistance of chicken cells against influenza A virus / B. Schusser, A. Reuter, A. Von Der Malsburg, N. Penski, S. Weigend, B. Kaspers, S. Härtle, P. Staeheli, P. M. Schneider // Journal of Virology. – 2011. – Vol. 85, No. 16. – P. 8307–8315. DOI: 10.1128/JVI.00521-11, URL: <https://doi.org/10.1128/JVI.00521-11>.
50. Stern C. D. The chick: a great model system becomes even greater / C. D. Stern // Developmental Cell. – 2005. – Vol. 8, No. 1. – P. 9–17. DOI: 10.1016/j.devcel.2004.11.018, URL: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2004.11.018>.
51. Taylor L. Efficient TALEN-mediated gene targeting of chicken primordial germ cells / L. Taylor, D. F. Carlson, S. Nandi, A. Sherman, S. C. Fahrenkrug, M. J. McGrew // Development. – 2017. – Vol. 144, No. 5. – P. 928–934. DOI: 10.1242/dev.145367, URL: <https://doi.org/10.1242/dev.145367>.
52. Trefil P. Male fertility restored by transplanting primordial germ cells into testes: a new way towards efficient transgenesis in chicken / P. Trefil, D. Aumann, A. Koslová, J. Mucksová, B. Benešová, J. Kalina, C. Wurmser, R. Fries, D. Elleder, B. Schusser, J. Hejnar // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7. – Art. 14246. DOI: 10.1038/s41598-017-14526-2, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14526-2>.
53. Van De Lavoie M. C. Germline transmission of genetically modified primordial germ cells / M. C. Van De Lavoie, J. H. Diamond, P. A. Leighton, C. Mather-Love, B. S. Hey-

- er, R. Bradshaw, A. Kerchner, L. T. Hooi, T. M. Gessaro, S. E. Swanberg, M. E. Delany, R. J. Etches // *Nature*. – 2006. – Vol. 441, No. 7094. – P. 766–769. DOI: 10.1038/nature04831, URL: <https://doi.org/10.1038/nature04831>.
54. Wernery U. Primordial germ cell-mediated chimera technology produces viable pure-line Houbara bustard offspring: potential for repopulating an endangered species / U. Wernery, C. Liu, V. Baskar, Z. Guerineche, K. A. Khazanehdari, S. Saleem, J. Kinne, R. Wernery, D. K. Griffin, I. K. Chang // *PLoS ONE*. – 2010. – Vol. 5, No. 12. – Art. e15824. DOI: 10.1371/journal.pone.0015824, URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015824>.
55. Whyte J. FGF, insulin, and SMAD signaling cooperate for avian primordial germ cell self-renewal / J. Whyte, J. D. Glover, M. Woodcock, J. Brzeszczynska, L. Taylor, A. Sherman, P. Kaiser, M. J. McGrew // *Stem Cell Reports*. – 2015. – Vol. 5, No. 6. – P. 1171–1182. DOI: 10.1016/j.stemcr.2015.10.015, URL: <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2015.10.015>.
56. Wilson N. H. In ovo electroporation of miRNA-based plasmids in the developing neural tube and assessment of phenotypes by DiI injection in open-book preparations / N. H. Wilson, E. T. Stoeckli // *Journal of Visualized Experiments*. – 2012. – No. 68. – Art. 4384. DOI: 10.3791/4384, URL: <https://doi.org/10.3791/4384>.
57. Vetokh A. N. Creation of genome editing systems based on CRISPR-Cas9 for knock-out of the FGF20 and HR genes in embryonic and generative cells of chickens and quails / A. N. Vetokh, P. V. Sergiev, M. P. Rubtsova, N. A. Volkova, E. K. Tomgorova, L. A. Volkova, N. A. Zinovieva // *Agricultural biology*. – 2021. – T. 56, No. 6. – P. 1099–1110. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1099rus, URL: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1099rus>.
58. Krutikova A. A. Method for obtaining primordial germ cells of birds / A. A. Krutikova, G. K. Peglivanyan: Russian Federation Patent 2832977 C1. Application No. 2024110980 dated 04.22.2024. – Published 01.13.2025. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2832977C1/ru>.

УДК: 636.5.

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.360

ВЛИЯНИЕ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ И МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ СПЕРМАТОЗОИДОВ ПЕТУХОВ

Курочкин А.А.* – науч. сотр. лаборатории биологии развития (ORCID 0000-0003-4430-4770); Кузьмина Т.И. – д-р биол. наук, проф., глав. науч. сотрудник, зав. лабораторией биологии развития (ORCID 0000-0002-4218-6080); Плешанов Н.В. – биолог лаборатории биологии развития (ORCID 0000-0002-4634-7515); Притужалова А.О. – науч. сотр. лаборатории биологии развития (ORCID 0000-0002-2865-9582).

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста».

*kurochkin.anton.66@gmail.com

Ключевые слова: криоустойчивость, сперма петухов, индивидуальный эякулят, митохондриальная активность, жизнеспособность, криоконсервация.

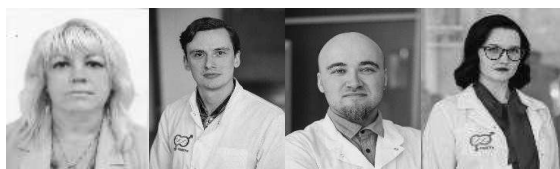
Key words: cryostability, rooster sperm, individual ejaculate, mitochondrial activity, viability, cryopreservation.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке РНФ номер проекта 25-16-00131.

Поступила: 16.08.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В исследовании рассматривается влияние цикла криоконсервации на показатели жизнеспособности и функциональной активности сперматозоидов в индивидуальных эякулятах петухов. Анализ экспериментов выявил, что в свежей сперме доля живых сперматозоидов составляет в среднем $77,16 \pm 1,93\%$, при этом процент клеток с высоким митохондриальным мембранным потенциалом ($\Delta\Psi_m$) остается высоким и составил в среднем значении $81,07 \pm 1,52\%$ при низком коэффициенте корреляции ($5,93\%$), что свидетельствует о высокой жизнеспособности и энергетической активности клеток. После криоконсервации наблюдается существенное снижение процента живых клеток (до $52,12 \pm 3,99\%$), а также снижение доли клеток с высоким митохондриальным потенциалом (на $33,41\%$), и увеличение доли клеток с признаками некроза (на $12,37\%$). Взаимосвязь между показателями активности митохондрий и жизнеспособности указывает на важную роль митохондриального мембранного потенциала, как прогностического маркера качества заморожено/оттаянного семени. Высокая индивидуальная вариативность показателей после цикла замораживания-

ния/оттаивания свидетельствует о гетерогенности популяции петухов породы царско-сельская по криоустойчивости, что важно учитывать при разработке эффективных методов криоконсервации. Результаты подчеркивают целесообразность использования показателей жизнеспособности и функциональной активности (митохондриальный мембранный потенциал) при оценке качества и прогнозировании эффективности криосохранности спермы петухов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Криоконсервация мужских гамет сельскохозяйственных животных и птиц на сегодняшний день является одним из самых эффективных методов сохранения генетических ресурсов, а для птиц - единственным возможным способом хранения репродуктивных клеток. Несмотря на многолетние исследования, направленные на разработку, совершенствование и внедрение протоколов долговременного хранения спермы в условиях сверхнизких температур, показатели жизнеспособности, функциональной активности заморожено/оттаянного семени петухов остаются на низком уровне в сравнении с другими видами сельскохозяйственных животных, что сказывается на фертильности оттаянных сперматозоидов [1]. При этом рядом исследований отмечено, что, помимо особей с высокими показателями заморожено/оттаянного семени, выявлены производители, чья сперма имеет низкую криоустойчивость, что характеризуется снижением общей подвижности сперматозоидов вследствие нарушений морфофункциональных характеристик (митохондриальная активность) и целостности мембраны (жизнеспособность) [2,3].

На сегодняшний день существующие рутинные методы оценки, используемые при анализе свежеполученных эякулятов, не позволяют в полной мере спрогнозировать качество заморожено/оттаянного семени, а также выявить ранние признаки дефектов, которые, при отсутствии видимых внешних повреждений мужской гаметы, могут указывать на начальные стадии внутриклеточных патологий [4]. Выявление морфофункциональных характеристик жизнеспособности мужских гамет, коррелирующих с криоустойчивостью спермы, позволит совершенствовать уже имеющиеся протоколы криоконсервации,

что, в свою очередь, даст возможность улучшить показатели жизнеспособности и оплодотворяющей способности заморожено-оттаянной спермы птиц.

Цель исследования – с использованием комплексной сравнительной морфофункциональной оценки показателей жизнеспособности (целостность плазматических мембран) и митохондриальной активности нативных и заморожено/оттаянных сперматозоидов индивидуальных эякулятов петухов проанализировать деструктивные процессы в сперматозоидах, вызванные циклом криоконсервации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось на базе ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур», ВНИИГРЖ в 2025 году. Объектом исследования служила сперма петухов (*Gallus gallus domesticus*), ($\sigma^n = 10$) породы царскосельская (селекция ВНИИГРЖ) в возрасте 61–63 недель. Сперму собирали методом абдоминального массажа (Burrows and Quinn) [5] в пенициллиновые флаконы дважды в неделю в течение двух недель. Объем эякулята составлял от 0,14 до 0,67 мл. Образцы нативной спермы с общей подвижностью сперматозоидов ниже 80% не использовали. Для криоконсервации к эякулятам добавляли разбавитель ЛКС-1 в соотношении 1:1, после чего образцы разбавленного семени эквивилибировали при $t = 5^\circ\text{C}$ в течение 40 мин. Затем в каждый образец вносили N, N-диметилацетамид (DMA) (Sigma Aldrich, США) до конечной концентрации 6%, и производили криоконсервацию в гранулах по методике, разработанной Л.Е. Нарубиной, А.Д. Курбатовым и др., путем прямого накопления семени в жидкий азот [6, 7]. Размораживание гранул производили на нагретой металлической пластине ($t = 60^\circ\text{C}$), после чего про-

изводили анализ сперматозоидов.

Жизнеспособность клеток оценивали с помощью набора для определения апоптотических клеток (Annexin V-AF488 Apoptosis Detection Kit, Lumiprobe, Россия) в соответствии с инструкцией производителя. Данный набор позволяет разделить популяцию сперматозоидов в образце на 4 субпопуляции (живые клетки, мертвые клетки, некротические клетки, апоптотические клетки).

Долю клеток с высоким мембранным потенциалом митохондрий ($\Delta\Psi_m$) в мужских гаметах определяли с помощью флуоресцентного красителя тетраметилродамина (TMRE). Для этого к образцам семени с концентрацией сперматозоидов 3×10^6 /мл добавляли раствор TMRE до конечной концентрации 1 мкМ и инкубировали в темноте 20 мин при $t=25^\circ\text{C}$, после чего дважды отмывали образцы клеток от остатков флуорохрома (1200 об./мин в течение 7 мин).

Оценку клеточных показателей нативных и заморожено/оттаянных сперматозоидов проводили с использованием проточного цитометра Cytotflex (Beckman Coulter Inc., США). Для каждого образца исследовали не менее 2000 событий при скорости потока 50 клеток/сек. Популяцию сперматозоидов отбирали с помощью бокового светорассеяния (SSC-A) и малоуглового светорассеяния (FSC-A) для исключения посторонних клеток и конгломератов сперматозоидов. Для анализа данных, полученных на проточном цитофлуориметре, использовали программное обеспечение CytExpert, Version 2.4.0.28 (Beckman Coulter Inc., США).

Для статистической обработки данных использовали программные приложения Microsoft Excel 2021 и Statistica 7.0. Данные в работе представлены в виде средних значений (М) и стандартных ошибок средних (SEM). Различия внутри групп нативного и заморожено-оттаянного семени оценивали по t-критерию Стьюдента и считали достоверными при трех уровнях значимости ($p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$). Корреляционный анализ выполняли с использованием коэффициента

Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

На первом этапе исследования была проведена оценка свежеполученных эякулятов петухов. Как видно из Таблицы 1, среднее значение доли живых клеток составило $77,16 \pm 1,93\%$. Коэффициент вариации для данного показателя составил $7,92\%$, что свидетельствует о невысокой индивидуальной изменчивости. Стоит отметить, что значения таких показателей, как доли нативных сперматозоидов в состоянии некроза и апоптоза находились на достаточно низком уровне и составили в среднем $3,94 \pm 0,97$ и $2,55 \pm 0,31\%$, соответственно. Что может указывать на отсутствие внешних повреждающих факторов, интрацитоплазматических нарушений и подтверждается высокими значениями доли клеток с показателем мембранного потенциала митохондрий в мужских гаметах, среднее значение которых составило $81,07 \pm 1,52\%$ при коэффициенте вариации $5,93\%$. В целом полученные результаты согласуются с работами других авторов, которые также отмечают гомогенность показателей нативной спермы [8].

Однако, несмотря на высокие показатели жизнеспособности, митохондриальной активности и низкую вариативность показателей в индивидуальных эякулятах нативной спермы, после криоконсервации были выявлены существенные индивидуальные различия (Таблица 2).

Так, среднее значение доли живых клеток в образцах заморожено/оттаянного семени составило $52,12 \pm 3,99$, что на $25,04\%$ ниже, чем в нативной популяции ($p < 0,001$). При этом, коэффициент вариации вышеуказанного показателя показал существенный рост ($24,26\%$) и диапазон значений составлял от $35,90$ до $70,88\%$, что говорит о присутствии в исследуемой популяции особей, чья сперма имеет высокую и низкую переживаемость цикла криоконсервации [9, 10]. Митохондриальная активность мужских гамет играет важную роль в регуляции кинетических параметров, отвечая за выработку энергии, необходимой для биения жгутиков.

Движение сперматозоидов позволяет пересечь женские половые пути и достичь места оплодотворения [11, 12, 13]. После цикла криоконсервации наблюдалось снижение доли клеток с высоким мембранным потенциалом митохондрий – среднее значение составило $47,66 \pm 3,41\%$, что на $33,41\%$ ниже, чем в нативной популяции клеток ($p < 0,001$). При оценке данного показателя в заморожено/

оттаянном семени было выявлено существенное изменение вариативности в сравнении с нативными клетками ($22,62\%$ против $5,93\%$), диапазон значений находился в пределах от $26,65\%$ до $62,02\%$, что также подтверждает наличие петухов с низкой и высокой криоустойчивостью спермы. Подобная тенденция наблюдается у всех видов сельскохозяйственных животных (14,15,16).

Таблица 1 – Показатели жизнеспособности нативной спермы петухов

№	Живые клетки, %	Мертвые клетки, %	Некротические клетки, %	Апоптотические клетки, %	Клетки с высоким $\Delta\Psi_m$, %
1	$79,54 \pm 3,93$	$15,54 \pm 6,17$	$2,65 \pm 1,44$	$2,27 \pm 1,09$	$83,93 \pm 2,08$
2	$80,11 \pm 5,48$	$16,31 \pm 5,53$	$2,00 \pm 0,27$	$1,58 \pm 0,79$	$84,02 \pm 3,38$
3	$78,58 \pm 3,38$	$16,11 \pm 3,88$	$2,55 \pm 0,46$	$2,75 \pm 0,51$	$75,71 \pm 2,22$
4	$77,76 \pm 1,14$	$15,89 \pm 0,55$	$3,56 \pm 0,74$	$2,80 \pm 0,94$	$82,41 \pm 2,18$
5	$60,62 \pm 4,35$	$22,52 \pm 2,38$	$12,38 \pm 3,46$	$4,60 \pm 1,05$	$74,03 \pm 2,00$
6	$77,23 \pm 1,06$	$14,98 \pm 2,67$	$4,14 \pm 1,07$	$3,65 \pm 2,18$	$82,62 \pm 1,02$
7	$81,55 \pm 0$	$14,29 \pm 0$	$1,87 \pm 0$	$2,29 \pm 0$	$88,58 \pm 0$
8	$80,08 \pm 2,97$	$14,09 \pm 2,77$	$3,75 \pm 0,64$	$2,09 \pm 0,59$	$80,63 \pm 2,62$
9	$75,23 \pm 3,80$	$18,66 \pm 3,18$	$3,88 \pm 0,59$	$2,24 \pm 0,69$	$74,56 \pm 2,94$
10	$80,95 \pm 2,37$	$15,17 \pm 1,13$	$2,62 \pm 1,27$	$1,26 \pm 0,59$	$84,23 \pm 0,46$
M, %	$77,16 \pm 1,93$	$16,36 \pm 0,80$	$3,94 \pm 0,97$	$2,55 \pm 0,31$	$81,07 \pm 1,52$
CV, %	7,92	15,38	77,93	38,23	5,93

Примечание: $\Delta\Psi_m$ – мембранный потенциал митохондрий.

Воздействие сверхнизких температур вызвало существенное увеличение долей клеток с признаками некроза в сравнении с популяцией клеток нативного эякулята на $12,37\%$ ($p < 0,001$). Причинами подобных изменений могут быть нарушение целостности цитоплазматических мембран сперматозоидов, вызванные механическими факторами, а также осмотический и тепловой шок в процессе оттаивания [17]. Цитоплазматическая мембрана птиц имеет повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот в фосфолипидах в сравнении со сперматозои-

дами других видов сельскохозяйственных животных, что делает половые клетки петухов более восприимчивыми к оксидативному стрессу, инициирующему апоптотический процесс [18]. Однако, в нашем исследовании анализ апоптотических изменений в клетках не выявил достоверных различий после цикла криоконсервации – средняя доля клеток находилась на уровне $3,26 \pm 1,03\%$, что может указывать на иные механизмы, детерминирующие снижение жизнеспособности сперматозоидов.

Митохондрии играют центральную

роль в функционировании сперматозоидов, генерируя АТФ посредством окислительного фосфорилирования (OXPHOS), регулируя окислительно-восстановительный баланс и иницируя процесс внутреннего апоптотического пути посредством изменения мембранного потенциала [19]. В исследовании отмечено наличие высоких коэффициентов корреляции между значением доли клеток с высоким митохондриальным потенциалом и процентом жизнеспособных сперматозоидов (0,84, $p<0,01$).

В результате сравнительной оценки исследуемых показателей в нативной и заморожено/оттаянной сперме были выявлены следующие корреляционные взаимосвязи (Таблица 3).

Значение доли живых клеток нативной спермы находится в прямой взаимосвязи со значением долей мужских гамет с показателем высокого мембранного потенциала митохондрий заморожено/оттаянного семени (0,46, $p<0,05$). При этом, значение доли клеток с высоким мембранным потенциалом митохондрий в нативных мужских гаметах напрямую коррелирует с показателем живых сперматозоидов (0,55, $p<0,01$), значением доли клеток с высоким мембранным потенциалом митохондрий (0,44, $p<0,05$), а также находится в обратной корреляции со значением доли мертвых клеток (-0,6, $p<0,01$) после цикла криоконсервации.

Таблица 2 – Показатели жизнеспособности заморожено/оттаянной спермы петухов.

№	Живые клетки, %	Мертвые клетки, %	Некротические клетки, %	Апоптотические клетки, %	Клетки с высоким $\Delta\Psi_m$, %
1	65,79±6,10	18,22±2,97	14,45±2,91	1,54±0,48	51,87±4,08
2	66,56±5,83	16,47±2,90	12,35±1,17	4,63±2,26	57,33±3,37
3	41,07±4,32	53,79±5,28	4,26±0,72	0,88±0,34	40,70±4,58
4	56,35±1,82	21,26±7,13	16,46±2,88	5,94±2,44	52,73±2,55
5	36,97±5,24	31,30±5,89	29,26±3,40	2,48±0,71	36,13±2,61
6	35,90±7,44	44,31±0,70	18,50±6,76	1,19±0,17	26,65±0,69
7	70,88±1,36	16,47±2,29	9,22±1,62	3,43±0,18	62,02±1,88
8	50,14±1,31	25,06±2,74	17,11±1,21	7,69±2,66	50,59±1,59
9	44,73±3,14	40,95±5,35	12,57±2,30	1,75±0,68	43,56±0,24
10	52,87±3,70	15,21±2,81	28,91±3,79	3,02±0,56	55,03±4,15
M, %	52,12±3,99	28,30±4,33	16,31±2,50	3,26±1,03	47,66±3,41
CV, %	24,26	48,39	48,39	68,36	22,62

Примечание: $\Delta\Psi_m$ – мембранный потенциал митохондрий.

Таблица 3 – Корреляционные взаимосвязи показателей жизнеспособности и функциональной активности сперматозоидов до и после цикла замораживания/

		Нативная сперма		
		Живые клетки	Высокий митохондриальный потенциал	Мертвые клетки
З / О с е м я	Живые клетки	0,46*	0,55**	-0,42*
	Высокий митохондриальный потенциал	0,46*	0,44*	-0,32
	Мертвые клетки	-0,22	-0,6**	0,23

Примечание З/О – заморожено-оттаянная сперма. * - достоверное значение при $p < 0,05$; ** - достоверное значение при $p < 0,01$.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Установленные достоверные корреляционные связи между проанализируемыми показателями жизнеспособности и функциональной активности свежеполученного и заморожено/оттаянного семени (в том числе мембранного потенциала митохондрий) указывают на необходимость их углубленного изучения, как перспективных биомаркеров криорезистентности мужских гамет для разработки предиктивной оценки качества декриоконсервированных сперматозоидов и выявления на ранних этапах особей с высокой криоустойчивостью спермы.

EFFECT OF ULTRA-LOW TEMPERATURES ON VIABILITY AND MORPHOFUNCTIONAL ACTIVITY OF ROOSTER SPERMATOOZOA

Kurochkin A.A. * – Junior Researcher, Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0003-4430-4770); **Kuzmina T.I.** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0002-4218-6080); **Pleshanov N.V.** – biologist Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0002-4634-7515) **Prituzhalova A.O.** – Researcher, Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0002-2865-9582).

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, St. Petersburg, Russia.

*kurochkin.anton.66@gmail.com

Funding: The work was supported by the Russian scientific foundation project No. 25-16-00131.

ABSTRACT

Study examines impact of cryopreservation cycle on sperm viability and individual functional activity in rooster ejaculates. Analysis revealed that proportion of live cells in fresh semen was at level $77.16 \pm 1.93\%$, while the mitochondrial membrane potential ($\Delta\Psi_m$) remained high, was at level $81.07 \pm 1.52\%$ with a low correlation coefficient (5.93%), indicating good cell viability and energetic activity. After cryopreservation process was observed a significant decreasing in percentage of live cells (to $52.12 \pm 3.99\%$), an increasing in proportion of necrotic cells (by 12.37%), and a decrease in high $\Delta\Psi_m$ by almost 33.41%, and an increase in the proportion of cells with signs of necrosis (by 12.37%) are observed. The relationship between mitochondrial activity and viability indicates the important role of mitochondrial membrane potential as a prognos-

tic marker of frozen/thawed semen quality. High individual variability in these parameters after a freeze/thaw cycle indicates heterogeneity in cryopreservation within the thar-skoselskaya rooster population, which is important to consider when developing effective cryopreservation methods. The results highlight the usefulness of using viability and functional activity indicators (mitochondrial membrane potential) in assessing the quality and predicting the effectiveness of rooster sperm cryopreservation.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Arif A., Zahoor N., Tang J., Tang M., Dong L., Khan S. Z., Dai G. Cryopreservation Strategies for Poultry Semen: A Comprehensive Review of Techniques and Applications. *Veterinary Sciences*. 2025; 12 (2):145. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020145>.
2. Siudzińska A., Łukaszewicz E. The effect of breed on freezability of semen of fancy fowl. *Anim Sci Papers Rep*. 2008;26 (4):331–40.
3. Makhafola M. B., Lehloeny K. C., Mphaphathi M. L., Dinnyes A., Nedambale T. L. The effect of breed on the survivability and motility rate of cryopreserved cock semen. *South African Journal of Animal Science*. 2009;39(Supplement 1):242–5. DOI: 10.4314/sajas.v39i1.61225.
4. Максимова М. А., Корочкина Е. А. Криорезистентность спермы разных видов животных (обзор). *Генетика и разведение животных*. 2023;(4):127–134. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-4-127-134>.
5. Burrows W. H. The collection of spermatozoa from the domestic fowl and turkey / W. H. Burrows, J. P. Quinn // *Poultry Science*. – 1937. – т. 16. – P. 19–24.
6. Курбатов А. Д., Нарубина Л. Е., Бубляева Г. Б., Москаленко Л. И., Целютин К. В. Среда для низкотемпературной консервации спермы птиц. *АС № 1130339, СССР*, 1984.
7. Нарубина Л. Е., Курбатов А. Д., Бубляева Г. Б., Целютин К. В. Способ криоконсервации спермы петухов в виде гранул. *АС № 1343587, СССР*, 1987.
8. Mohan J., Singh R. P., Sastry K. V., Moudgal R. P., Biswas A., Shit N. Influence of chicken native breeds on some physical and biochemical characteristics and short-term storage of semen. *Br Poult Sci*. 2011;52 (3):395–400. doi: 10.1080/00071668.2011.585145.
9. Madeddu M., Zaniboni L., Marelli S. P., Tognoli C., Belcredito S., Iaffaldano N., Di Iorio M., Cerolini S. Selection of Male Donors in Local Chicken Breeds to Implement the Italian Semen Cryobank: Variability in Semen Quality, Freezability and Fertility. *Vet Sci*. 2024 Mar 27;11(4):148. doi: 10.3390/vetsci11040148.
10. Blesbois E., Seigneurin F., Grasseau I., Limouzin C., Besnard J., Gourichon D. et al. Semen cryopreservation for ex situ management of genetic diversity in chicken: creation of the French avian cryobank. *Poult Sci*. 2007;86(3):555–64. <https://doi.org/10.1093/ps/86.3.555>.
11. Gualtieri R., Kalthur G., Barbato V., Di Nardo M., Adiga S. K., Talevi R. Mitochondrial Dysfunction and Oxidative Stress Caused by Cryopreservation in Reproductive Cells. *Antioxidants* 2021, 10, 337. <https://doi.org/10.3390/antiox10030337>.
12. Masoudi R., Asadzadeh N., Sharafi M.. Effects of freezing extender supplementation with mitochondria-targeted antioxidant Mito-TEMPO on frozen-thawed rooster semen quality and reproductive performance. *Anim Reprod Sci*. 2021;225:106671. doi: 10.1016/j.anireprosci.2020.106671.
13. Tiwari S., Dewry R. K., Srivastava R., Nath S., Mohanty T. K. Targeted antioxidant delivery modulates mitochondrial functions, ameliorates oxidative stress and preserve sperm quality during cryopreservation. *Theriogenology*. 2022;179:22–31. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.11.013.
14. Duračka, M.; Benko, F.; Tvrdá, E. Molecular Markers: A New Paradigm in the Prediction of Sperm Freezability. *Int. J. Mol. Sci*. 2023;24:3379. <https://doi.org/10.3390/ijms24043379>.
15. Jiménez-Rabadán, P.; Soler, A.J.; Ramón, M.; García-Álvarez, O.; Maroto-Morales, A.; Iniesta-Cuerda, M.; Fernández-

- Santos, M.R.; Montoro, V.; Pérez-Guzmán, M.D.; Garde, J.J. Influence of semen collection method on sperm cryoresistance in small ruminants. *Anim. Reprod. Sci.* 2016;167:103–108. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.013>
16. Ezzati, M.; Shanehbandi, D.; Hamdi, K.; Rahbar, S.; Pashaiasl, M. Influence of cryopreservation on structure and function of mammalian spermatozoa: an overview. *Cell Tissue Bank.* 2020;21(1):1–15. <https://doi.org/10.1007/s10561-019-09797-0>.
17. Öztürk A. E., Bucak M. N., Bodu M., Başpınar N., Çelik İ., Shu Z., Keskin N., Gao D. Cryobiology and Cryopreservation of Sperm. In: *Cryopreservation - Current Advances and Evaluations*. IntechOpen; 2020. doi:10.5772/intechopen.89789.
18. Плешанов Н.В., Курочкин А.А., Накидкина А.Н. Связь уровня активных форм кислорода в нативных сперматозоидах петухов с качественными показателями спермы до и после замораживания-оттаивания. *Генетика и разведение животных.* 2022;(3):105-110. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-3-105-110>.
19. Xu Z, Yan Q, Zhang K, Lei Y, Zhou C, Ren T, Gao N, Wen F, Li X. Mitochondrial Regulation of Spermatozoa Function: Metabolism, Oxidative Stress and Therapeutic Insights. *Animals (Basel).* 2025;15(15):2246. doi:10.3390/ani15152246).
- ence. 2009;39(Supplement 1):242–5. DOI: 10.4314/sajas.v39i1.61225.
4. Maksimova M., Korochkina E. Sperm cryoresistance of different animal species. *Genetics and breeding of animals.* 2023; (4):127-134. (In Russ.) <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2023-4-127-134>.
5. Burrows W. H. The collection of spermatozoa from the domestic fowl and turkey / W. H. Burrows, J. P. Quinn // *Poultry Science.* – 1937. – т. 16. – P. 19-24
6. Kurbatov A. D., Narbina L. E., Bubbeyeva G. B., Moskalenko L.I., Tselyutin K.V. Wednesday for low -temperature preservation of bird sperm. AS No. 1130339, USSR, 1984.
- 14.
7. Narbina L.E., Kurbatov A. D., Bubbeyeva G. B., Tselyutin K.V. Method of cryoconservation of sperm of roosters in the form of granules. AS No. 1343587, USSR, 1987.
8. Mohan J., Singh R. P., Sastry K. V., Moudgal R. P., Biswas A., Shit N. Influence of chicken native breeds on some physical and biochemical characteristics and short-term storage of semen. *Br Poult Sci.* 2011;52(3):395-400. doi: 10.1080/00071668.2011.585145.
9. Madeddu M., Zaniboni L., Marelli S. P., Tognoli C., Belcredito S., Iaffaldano N., Di Iorio M., Cerolini S. Selection of Male Donors in Local Chicken Breeds to Implement the Italian Semen Cryobank: Variability in Semen Quality, Freezability and Fertility. *Vet Sci.* 2024 Mar 27;11(4):148. doi: 10.3390/vetsci11040148.
10. Blesbois E., Seigneurin F., Grasseau I., Limouzin C., Besnard J., Gourichon D. et al. Semen cryopreservation for ex situ management of genetic diversity in chicken: creation of the French avian cryobank. *Poult Sci.* 2007;86(3):555–64. <https://doi.org/10.1093/ps/86.3.555>.
11. Gualtieri R., Kalthur G., Barbato V., Di Nardo M., Adiga S. K., Talevi R. Mitochondrial Dysfunction and Oxidative Stress Caused by Cryopreservation in Reproductive Cells. *Antioxidants* 2021, 10, 337. <https://>

REFERENCES

1. Arif A., Zahoor N., Tang J., Tang M., Dong L., Khan S. Z., Dai G. Cryopreservation Strategies for Poultry Semen: A Comprehensive Review of Techniques and Applications. *Veterinary Sciences.* 2025; 12(2):145. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020145>.
2. Siudzińska A., Łukaszewicz E. The effect of breed on freezability of semen of fancy fowl. *Anim Sci Papers Rep.* 2008;26(4):331–40.
3. Makhafola M. B., Lehloanya K. C., Mphaphathi M. L., Dinnyes A., Nedambale T. L. The effect of breed on the survivability and motility rate of cryopreserved cock semen. *South African Journal of Animal Sci-*

- doi.org/10.3390/antiox10030337.
12. Masoudi R., Asadzadeh N., Sharafi M.. Effects of freezing extender supplementation with mitochondria-targeted antioxidant Mito-TEMPO on frozen-thawed rooster semen quality and reproductive performance. *Anim Reprod Sci.* 2021;225:106671. doi: 10.1016/j.anireprosci.2020.106671.
13. Tiwari S., Dewry R. K., Srivastava R., Nath S., Mohanty T. K. Targeted antioxidant delivery modulates mitochondrial functions, ameliorates oxidative stress and preserve sperm quality during cryopreservation. *Theriogenology.* 2022;179:22-31. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.11.013.
14. Duračka, M.; Benko, F.; Tvrdá, E. Molecular Markers: A New Paradigm in the Prediction of Sperm Freezability. *Int. J. Mol. Sci.* 2023;24:3379. <https://doi.org/10.3390/ijms24043379>.
15. Jiménez-Rabadán, P.; Soler, A.J.; Ramón, M.; García-Álvarez, O.; Maroto-Morales, A.; Iniesta-Cuerda, M.; Fernández-Santos, M.R.; Montoro, V.; Pérez-Guzmán, M.D.; Garde, J.J. Influence of semen collection method on sperm cryoresistance in small ruminants. *Anim. Reprod. Sci.* 2016;167:103–108. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.013>
16. Ezzati, M.; Shanehbandi, D.; Hamdi, K.; Rahbar, S.; Pashaiasl, M. Influence of cryopreservation on structure and function of mammalian spermatozoa: an overview. *Cell Tissue Bank.* 2020;21(1):1–15. <https://doi.org/10.1007/s10561-019-09797-0>.
17. Öztürk A. E., Bucak M. N., Bodu M., Başpınar N., Çelik İ., Shu Z., Keskin N., Gao D. Cryobiology and Cryopreservation of Sperm. In: *Cryopreservation - Current Advances and Evaluations.* IntechOpen; 2020. doi:10.5772/intechopen.89789.
18. Pleshanov N., Kurochkin A., Nakidkina A. Relationship between the level of reactive oxygen species in native rooster spermatozoa and the quality indicators of fresh and frozen-thawed sperm. *Genetics and breeding of animals.* 2022;(3):105-110. (In Russ.) <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-3-105-110>
19. Xu Z, Yan Q, Zhang K, Lei Y, Zhou C, Ren T, Gao N, Wen F, Li X. Mitochondrial Regulation of Spermatozoa Function: Metabolism, Oxidative Stress and Therapeutic Insights. *Animals (Basel).* 2025;15(15):2246. doi:10.3390/ani15152246).

УДК: 636.2.082.12:575.113.2:636.234.1
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.369

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ГОМОЗИГОТНОСТИ И ГЕНОМНОГО ИНБРИДИНГА ГОЛШТИНСКИХ И ЧЕРНО-ПЕСТРЫХ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДСТВО ДОЧЕРЕЙ

Недашковский И.С.^{1*} – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. отделом национального каталога Национального центра генетических ресурсов с.-х. животных (ORCID 0000-0003-0487-4576); **Контэ А.Ф.**² – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных (ORCID 0000-0003-4877-0883); **Кольцов Д.Н.**³ – д-р биол. наук, директор (ORCID 0000-0002-3977-8552); **Волкова В.В.**⁴ – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий в животноводстве (ORCID 0000-0002-2080-0182); **Сермягин А.А.**⁵ – канд. с.-х. наук, директор (ORCID 0000-0002-1799-6014)

^{1,2,4}Федеральный исследовательский центр «ВИЖ им. Л.К. Эрнста»

³ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур,
обособленное подразделение Смоленский НИИСХ

⁵Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных, филиал Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста

* nedashkovsky_is@mail.ru

Ключевые слова: молочный скот, молочная продуктивность, воспроизводство, дисперсионный анализ, геномный инбридинг, гомозиготность, F_{ROH} , Ca, Fx.

Keywords: dairy cattle, analysis of variance, milk productivity, reproduction, genomic inbreeding, homozygosity, F_{ROH} , Ca, Fx

Финансирование: Исследования выполнены в рамках госзадания №124020200029-4 (FGGN-2024-0013)

Поступила: 01.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Проведено исследование, направленное на изучение влияния геномного инбридинга (F_{ROH}) и уровня гомозиготности (Ca) на показатели молочной продуктивности и воспроизводства. Для оценки влияния F_{ROH} использованы данные по SNP-маркерам 196 быков-производителей, далее F_{ROH} присваивался дочерям ($n=64027$). F_{ROH} рассчитывали, как отношение суммы всех длин паттернов гомозиготности (ROH) в миллионах пар нуклеотидов (м.п.н.) в геноме быка-производителя к общему размеру генома в м.п.н., для 29 аутосом крупного рогатого скота, перекрываемых SNPs, выраженному в процентах. Для расчета

влияния инбридинга (Fх) использовали 196 быков и 64027 дочерей, Са по STR-маркерам 228 быков и 80849 дочерей. Для оценки влияния собственного Fх коров использовался массив в 39276 голов. Fх рассчитывали по формуле Райта-Кисловского, уровень Са как отношение количества гомозиготных локусов к общему количеству анализируемых локусов. Оптимальным уровнем Fх для получения высоких показателей молочной продуктивности является диапазон 0-3.125%. Высокий уровень инбридинга (6.25-12.5%) негативно влияет на жирномолочность. Таким образом установлена достоверная взаимосвязь между уровнем инбридинга по STR-маркерам и продуктивными качествами дочерей. Оптимальным с точки зрения молочной продуктивности является минимальный уровень инбридинга. Все показатели демонстрируют статистическую значимость ($p=0,00$). наблюдается системное влияние геномного инбридинга на все исследуемые признаки и наиболее чувствительным оказался показатель содержания белка. Воспроизводительные качества демонстрируют умеренную зависимость от фактора. В качестве практических предложений можно рекомендовать использовать умеренный классический инбридинг в пределах 0-3.125%; контролировать уровень геномного инбридинга в диапазоне 4.2-7.5% и учитывать уровень гомозиготности по F_{ROH} и STR-маркерам при подборе пар, а также проводить регулярный мониторинг показателей продуктивности и воспроизводства.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Рассмотрение вопроса влияния инбридинга на показатели молочной продуктивности и воспроизводства остается актуальным по ряду причин: сокращение основных линий в связи с массовой ориентацией на быка-лидера, увеличение среднего уровня инбридинга в популяциях скота молочного направления продуктивности, переориентированность на отечественный рынок генетической селекции, находящийся в стагнации по причине значительного влияния и повсеместного использования импортной генетической продукции которой отдавался приоритет до недавнего времени. Так, в наших прошлых работах отмечалось негативное влияние инбридинга особенно высоких степеней на показатели молочной продуктивности и воспроизводства как при классическом расчете по родословным данным, так и при использовании геномных данных по STR и SNP-маркерам. Умеренная степень родства, наоборот, консолидировала наследственность [1,2,3].

Также, ранее нами было изучено влияние инбридинга на признаки и недостатки экстерьера, было установлено, что с увеличением уровня гомозиготности снижались значения оценки типа телосложения и увеличивался процент животных с недостатками экстерьера [4,5,6,7,8].

В условиях КП племзавода

«Рыбковское» Смоленской области было доказано, что тип подбора животных сычевской породы вазузского типа имеет влияние на молочную продуктивность. За наивысшую лактацию у аутбредных коров молочные показатели: удой, выход молочного жира и белка, на 2% выше, чем у инбредных. Независимо от типа подбора животные, в среднем, использовались 5 лактаций, при этом производственно-хозяйственное использование аутбредного поголовья на 3% дольше. В результате их пожизненная молочная продуктивность, по исследованным показателям, на 6% выше, а реализация генетического потенциала на 1% превысила данный показатель инбредированного поголовья. В плане воспроизводительных свойств, небольшое преимущество от коров без применения инбридинга имеет поголовье с отдаленной степенью инбридинга по продолжительности сервис- и межотельного периодов на 17 и 18 дней, соответственно [9].

В СПК им. Мичурина Орловской области на черно-пестрой породе, установлено, что умеренный инбридинг способствовал увеличению процента белка в молоке до 3,33%, что превзошло данный показатель у аутбредных аналогов на 0,2% ($p<0,01$) [10].

Проведенные исследования по определению взаимосвязей между методом

разведения, репродуктивными качествами телок и последующей их молочной продуктивностью в условиях предприятий Омской области установили, что лучшими характеристиками репродуктивных качеств обладают телки с коэффициентом инбридинга до 6,25 % или полученные в умеренном инбридинге и осемененные с 13 до 18-месячного возраста. С возрастанием гомозиготности организмов уровень молочной продуктивности снижается. Аутбредные первотелки, осемененные до 18-месячного возраста, превосходят инбредных сверстниц по удою на 350 кг или 5,96 % [11].

Исследованиями, проведенными в стаде племенного завода СПК колхоз «Колос» Вавожского района Удмуртской Республики на коровах черно-пестрой породы установлено, что животные, полученные с применением родственного подбора, имеют более высокий удой по сравнению с аутбредными полусестрами (на 230,4 кг). Наибольший удой получен при сложном инбридинге, по сравнению с животными, полученными при простом и комплексном подборе, соответственно на 228,4 кг (3,9 %) и 80,4 кг (1,4 %). Наихудший показатель сервис-периода в зависимости от степени родственного спаривания обнаружен у животных с умеренной степенью инбридинга – 133,2 дня, что хуже показателя по группе аутбредных животных на 24,7 дней (18,5 %) [12].

Исследования на тёлках голштинской породы в ООО «ПЗ «Пушкинское» Нижегородской области установили, что повышение степени инбридинга не имеет значительного влияния на живую массу и интенсивность роста ремонтных тёлочек. При рождении все тёлки имели практически одинаковую массу, в 6 месяцев небольшое превосходство имели тёлки в группе с отдаленной степенью инбридинга – 192,4 кг, в 12 месяцев наибольшую массу имели тёлки с близким инбридингом – 361,9 кг. Наибольшая скорость роста от рождения до 6 месяцев характерна для ремонтного молодняка, полученного путём родственного спаривания с использованием отдалённой и умеренной степе-

ней инбридинга (850-856 г/сут.). Наибольшая скорость роста от 6 месяцев до года характерна для группы с близкой степенью инбридинга – 940 г в сутки. Коэффициент изменчивости живой массы при рождении в группе с близким инбридингом составил 10,93%, а в группе аутбридинга самый высокий показатель – 17,36% [13].

Другими исследованиями установлено, что при сравнении инбредных и аутбредных животных в целом, не наблюдалось существенной разницы между этими двумя группами. Когда же распределили инбредных животных по группам в зависимости от степени инбридинга, то было установлено, что с усилением степени инбридинга у подопытного поголовья снижается живая масса по максимальной лактации, несколько увеличивается возраст первого осеменения, уменьшается средний возраст в лактациях. Животные с умеренным инбридингом имели максимальный надой за наивысшую лактацию, а с отдаленным – максимальную продолжительность хозяйственного использования [14].

Для изучения влияния инбридинга на воспроизводительные качества были произведены исследования на голштинской породе популяции Орловской области. Было установлено, что инбридинг оказывает негативное влияние на воспроизводительные качества животных, но ведет к увеличению процента телочек в отеле или двоен [15].

Исследования, проведенные на базе ООО «ПЗ «Пушкинское» Нижегородской области установили, что телки, осемененные в более раннем возрасте входящие в группу с умеренным инбридингом (14,87 мес.), имели самую низкую массу при первом осеменении — 425,7 кг. Самым коротким сервис-периодом обладали коровы в группе с умеренным инбридингом (108,9 дн.), самым длинным — в группе с близким инбридингом (152,6 дн.). Изменчивость живой массы при первом осеменении и оплодотворении во всех группах находилась на низком уровне ($C_v = 5,22...8,25\%$). Продолжительность сер-

вис-периода после первой лактации во всех группах, кроме группы близкого инбридинга, имела вариацию около 45 %, в группе близкого инбридинга в 1,5 раза выше. Несмотря на свою малочисленность, самой вариабельной по всем показателям оказалась группа близкого инбридинга. Повышение возраста первого оплодотворения телок в группе близкого инбридинга приводило к увеличению продолжительности сервис-периода ($t = 0,335$), в остальных группах связь между этими показателями практически отсутствовала. Многие исследуемые показатели имели между собой слабую положительную или отрицательную связь. Среди полученного молодняка более половины приходилось на телок, в группах с разными степенями инбридинга этот показатель варьировал от 63,3 до 66,7 %, в группе с аутбредными животными — 69,4 %. Двойни зарегистрированы 2 раза и только в группе с умеренной степенью инбридинга. Мертворожденность во всех группах находилась на достаточно низком уровне — 5,7...6,7 %, в группе с близкой степенью инбридинга не выявлено случаев мертворожденных телят. Рождения телят с врожденными уродствами и патологиями от родственных спариваний не наблюдалось [16].

Исследования на коровах голштинской, украинской черно- и красно-пестрой молочных породах, полученных от неродственного и различных степеней родственного спаривания в условиях Украины установили, что инбредные животные характеризуются высшими показателями продуктивного долголетия по сравнению с аутбредными. Среди инбредных животных по большинству исследуемых показателей лучшими оказались коровы, полученные от близкого и умеренного инбридинга. При величине коэффициента инбридинга меньше 0,78 и более 12,5% наблюдалось существенное ухудшение как продолжительности продуктивного использования коров, так и их пожизненных удоев. Инбредная депрессия была обнаружена только у животных голштинской породы, которые были по-

лучены с помощью тесного инбридинга. На это указывает существенное снижение большинства показателей их продуктивного долголетия. У коров украинской черно- и красно-пестрой молочных пород, которые были получены путем тесного инбридинга, показатели продолжительности и эффективности пожизненного использования, наоборот, увеличивались по сравнению с аутбредными [17].

В ходе оценки уровня влияния различных факторов на показатели молочной продуктивности и признаки экстерьера исследованиями в племенных заводах ЗАО «Глинки», ЗАО «Знамя», ООО «Луч», СПК «Племзавод «Разлив», племпредукторе ООО «Зауралье» Курганской области на черно-пестром крупном рогатом скоте, установлено, что в результате дисперсионного анализа сила влияния породности на удой составила 8% ($P < 0,01$), типа телосложения — 32% ($P < 0,01$) [18].

Исследования проведенные дисперсионным анализом на коровах-первотелках черно-пестрой породы в ОАО «Совхоз Червишевский» Тюменского района Тюменской области, установили, что наиболее высокие и достоверные показатели силы влияния кратности доения на показатели молочной продуктивности получены на высший суточный удой — 0,219 кг (21,9 %) ($P \leq 0,05$) и удой за 100 дней лактации — 0,158 кг (15,8 %) ($P \leq 0,05$), несколько ниже на удой за 305 дней лактации — 0,076 кг (7,6 %) и удой за лактацию — 0,058 кг (5,8 %). В расчете силы влияния кратности доения на коэффициенты, характеризующие лактационную деятельность животных, получены следующие результаты: на коэффициент постоянства лактации — 0,19 (19%) ($P \leq 0,05$), на коэффициент полноценности лактации — 0,22 (22 %) ($P \leq 0,01$), на коэффициент равномерности удоя — 0,16 (16 %) ($P < 0,05$), на коэффициент молочности — 0,12 (12 %) [19].

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа, проведенного на черно-пестрой породе в СПК «Племзавод «Разлив» свидетельствуют о том, что тип

телосложения коров в большей степени влияет на удой, чем балльная оценка вымени, на 2,7 %; среднесуточный прирост живой массы в возрасте 12...18 мес. больше, чем возраст первого плодотворного осеменения, на 9,1 %. Сила влияния линейной принадлежности животных на величину удоя составляет 10,3 %, продуктивности матерей за наивысшую лактацию – 18,4 %. Анализ сочетания изучаемых факторов показывает, что эффективнее всего вести отбор коров на увеличение удоя, учитывая продуктивность матерей одновременно с линейной принадлежностью животных (5,8 %). При этом доля неучтенных факторов снижается до 65,5 % [20].

Резюмируя вышеизложенное, стоит отметить, что проблема инбридинга и его неоднозначное влияние на показатели молочной продуктивности и воспроизводства остается актуальной, а развитие современных технологий и эра геномной селекции в животноводстве дает возможность по-новому взглянуть на это направление. Генетическая информация, полученная по микросателлитным маркерам и средствам SNP-чипов высокой плотности выводит изучение данного вопроса на новый уровень.

Исходя из вышеизложенного целью исследования являлось изучение влияния геномного инбридинга и уровня гомозиготности на показатели молочной продуктивности и воспроизводства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены на дочерях (первотелках) генотипированных быков-производителей голштинской и черно-пестрой пород. В рамках молекулярно-генетического исследования был проведён комплексный анализ уровня гомозиготности (Ca) у быков-производителей молочного направления продуктивности (черно-пестрой и голштинской пород), представленных в племенных хозяйствах Московской области (n=228). Методология исследования включала несколько этапов. Выделение нуклеиновых кислот осуществлялось методом колоночной

хроматографии с применением специализированных наборов Nexttec (Nexttec Biotechnologie GmbH, Германия). Исходным материалом служила сперма племенных быков, обработка которой проводилась согласно протоколу производителя; генотипирование животных выполнялось с использованием мультиплексной панели микросателлитных маркеров (STR-локусов), включающей 12 генетических маркеров: TGLA227, BM2113, TGLA53, ETH10, SPS115, TGLA122, INRA23, TGLA126, BM1818, ETH3, ETH225, BM1824. Анализ генетических маркеров проводился на автоматизированном капиллярном секвенаторе ABI 3130xl Genetic Analyzer (Applied Biosystems, Life technologies, США). Определение длины аллельных вариантов осуществлялось с помощью программного обеспечения Gene Mapper v.4 (Applied Biosystems). Статистический анализ полученных данных выполнялся в программе GenAlEx 6.5.1, что позволило провести всестороннюю оценку генетической структуры исследуемой популяции [21]. Методика расчёта индивидуальной гомозиготности базировалась на определении соотношения количества гомозиготных локусов к общему числу анализируемых маркеров. При этом учитывались только локусы с полноформатными данными, исключая позиции с нулевыми аллелями (0/0). Классификация результатов проводилась путём распределения всего массива данных (n=80849 дочерей) на три основные группы по уровню гомозиготности: Группа 1 - полностью гетерозиготные особи (Ca=0%); Группа 2 - особи со средним уровнем гомозиготности (Ca=8-50%); Группа 3: особи с высоким уровнем гомозиготности (Ca=55-77%).

В рамках молекулярно-генетического исследования была сформирована репрезентативная выборка племенных быков (n=196), представляющих популяции крупного рогатого скота Московской области. Геномный анализ осуществлялся с применением современных методов высокопроизводительного генотипирования. Исходным материалом послужили образ-

цы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), выделенные из биологического материала исследуемых особей. Генотипирование животных проводилось с использованием специализированного биочипа Illumina Bovine SNP50K v2 Bead-Chip, обеспечивающего анализ 54 609 однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Данный подход позволил получить детальную информацию о генетической структуре исследуемой популяции на уровне однонуклеотидных замен. Анализ гомозиготных участков генома осуществлялся посредством выявления регионов протяжённой (паттернов) гомозиготности (Runs Of Homozygosity, ROH). Статистическая обработка полученных данных проводилась с применением программного обеспечения Plink версии 1.9, что позволило провести комплексный анализ паттернов гомозиготности в геномах исследуемых особей [22]. Методологическая основа исследования базировалась на применении специализированного программного обеспечения sgaTOH, предназначенного для комплексного анализа паттернов гомозиготности [23]. В рамках молекулярно-генетического исследования был разработан комплексный подход к выявлению и количественной оценке ROH в геномах племенных быков-производителей. Критерии идентификации ROH включали следующие параметры: наличие как минимум 15 последовательных гомозиготных однонуклеотидных полиморфизмов (SNP); минимальная плотность маркеров — 1 SNP на каждые 100 kb; максимально допустимый промежуток между маркерами — 1000 kb. Алгоритм количественной оценки геномного инбридинга, основанный на анализе протяжённых участков гомозиготности (ROH) включает следующие компоненты: определение суммарной протяжённости всех идентифицированных ROH-участков в геноме, измерение длины выявленных гомозиготных регионов в миллионах пар нуклеотидов, анализ 29 аутосомных хромосом крупного рогатого скота, покрытых SNP-маркерами. При этом он базируется на принципе расчёта процентного

соотношения, где числителем выступает суммарная длина всех обнаруженных ROH-участков, а знаменателем является общий размер исследуемого генома. Результат выражается в процентном соотношении. Особенности методологии учитывали ограничения различных типов генотипирования: панель средней плотности (50K) характеризуется переоценкой коротких ROH (1–4 млн пар нуклеотидов); панель высокой плотности (600K, Bovine HD) демонстрирует недооценку ROH протяжённостью более 8 млн пар нуклеотидов [24]. В связи с этим при работе с 50K панелью особое внимание уделялось выявлению ROH размером более 4 млн пар нуклеотидов для обеспечения корректности оценки [25]. Классификация популяционных данных проводилась на основе распределения массива потомков ($n=64027$) по величине коэффициента инбридинга, определённого по ROH (FROH), унаследованного от отцов: Группа 1 - FROH = 0,55–4,19%; Группа 2 - FROH = 4,2–7,59%; Группа 3 - FROH = 7,65–10,87%; Группа 4 - FROH = 10,89–17,71%.

В рамках математико-статистического анализа генетических параметров популяций был применён классический метод расчёта коэффициента инбридинга (F_x) на основе родословных данных. Теоретическая база наших исследования опирается на модифицированную формулу Райта-Кисловского, адаптированную для процентного выражения генетического родства [26]:

$$F_x = \sum \left[\left(\frac{1}{2} \right)^{n+n_1-1} \times (1 + f_a) \right] \times 100 \quad (1)$$

где F_x — количественная оценка степени инбридинга исследуемого индивидуума; f_a — коэффициент инбридинга общего предка, имеющего собственное инбредное происхождение; n — количество поколений от общего родоначальника по материнской линии; n_1 — количество поколений от общего родоначальника по отцовской линии.

Статистическая выборка включала 196 быков-производителей, для которых был проведён расчёт коэффициента ин-

бридинга. Полученные значения F_x были экстраполированы на массив их потомства ($n=64027$). Классификация данных осуществлялась путём стратификации популяции по уровню инбридинга: группа 1 - аутбредные особи ($F_x=0\%$); группа 2 - отдаленный инбридинг ($F_x=0,1-3,125\%$); группа 3 - умеренный инбридинг ($F_x=3,126-6,25\%$); группа 4 - близкий инбридинг ($F_x \geq 6,26\%$).

В качестве научного задела дисперсионным анализом изучено влияния F_x коров на молочную продуктивность и воспроизводство с числом наблюдений 39276 для признаков молочной продуктивности и фертильности и с числом наблюдений 38760 для показателя живой массы коров.

В рамках статистического анализа генетических данных нами был применён дисперсионный анализ как методологический инструмент для количественной оценки влияния инбридинга как фиксированного фактора на исследуемые фенотипические признаки. Статистическая обработка осуществлялась с использованием программного обеспечения Statistica версии 10.

Математическая модель однофакторного дисперсионного анализа описывается следующим уравнением:

$$x_{ik} = a + m_i + \varepsilon_{ik} \quad (2)$$

где: a — генеральное среднее значение (математическое ожидание) всей выборки наблюдений $M(X)$; m_i — эффект воздействия i -го уровня фактора A на исследуемый признак X , представляющий собой отклонение математического ожидания a_i при i -м уровне фактора от общего среднего значения a , то есть $m_i = a_i - a$; ε_{ik} — случайная компонента, отражающая совокупное влияние неконтролируемых факторов на значение признака x_{ik} .

При принятии гипотезы о равенстве дисперсий между группами, предпочтительным методом оценки дисперсии является использование взвешенного среднего выборочных дисперсий. Этот подход позволяет уменьшить влияние выбросов и

сделать оценку более точной при условии равенства дисперсий [27].

Дисперсионный анализ представляет собой фундаментальный математический инструмент, базирующийся на методологии статистической проверки гипотез и предназначенный для исследования влияния различных факторов на исследуемые случайные величины [28].

Общая дисперсия признака определялась по формуле:

$$D_{\text{общ}} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (3)$$

где: x_i — значение признака у i -го животного; среднее значение признака по выборке; n — объем выборки.

Факторная дисперсия (влияние инбридинга):

$$D_F = \frac{\sum (x_j - \bar{x}_j)^2}{r-1}, \quad (4)$$

где: $\bar{x}_j$ — среднее значение признака в j -й группе; r — количество групп.

Остаточная дисперсия (случайные факторы):

$$D_F = \frac{\sum (x_i - x_j)^2}{n-r}, \quad (5)$$

Оценка значимости различий:

F -критерий Фишера рассчитывается как отношение факторной и остаточной дисперсий:

$$F = \frac{MS_F}{MS_D}, \quad (6)$$

где: MS_F и MS_D — средние квадраты факторной и остаточной дисперсии соответственно.

Определение силы влияния фактора:

Коэффициент детерминации (R^2) показывает долю дисперсии, обусловленную влиянием фактора инбридинга:

$$R^2 = \frac{SS_F}{SS_{\text{общ}}}, \quad (7)$$

где SS_F — сумма квадратов отклонений для фактора; $SS_{\text{общ}}$ — общая сумма квадратов отклонений

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Проведенный анализ данных позволя-

ет сделать следующие выводы о влиянии уровня инбридинга на продуктивные и воспроизводительные качества коров (Таблица 1).

Воспроизводительные качества демонстрируют неоднозначную картину. С увеличением уровня инбридинга наблюдается тенденция к снижению возраста первого отела (от 27.29 до 26.71 месяцев), что статистически значимо при максимальном уровне инбридинга (6.25-12.5%). При этом сервис-период увеличивается с ростом инбридинга, достигая максимума при уровне 3.125-6.25% (160.55 дней), что негативно характеризует воспроизводительные способности. При максимальном уровне инбридинга (6.25-12.5%) наблюдается наивысший удой — 6792.69 кг, что статистически значимо выше группы аутбредных животных. Однако при дальнейшем анализе увеличения уровня инбридинга показатели стабилизируются или даже снижаются. Содержание жира в молоке имеет обратную зависимость от уровня инбридинга, снижаясь с 4.08% до 4.02% при увеличении инбридинга. Качественные показатели молока демонстрируют относительную стабильность. Содержание белка остается на уровне 3.21-3.23%, с колебаниями в пределах статистической погрешности. Количество белка в молоке увеличивается с ростом инбридинга, достигая максимума при высоком уровне (6.25-12.5%). Живая масса коров показывает незначительную тенденцию к увеличению с ростом уровня инбридинга, варьируя от 506.96 до 510.57 кг.

Можно отметить следующее, оптимальным уровнем инбридинга для получения высоких показателей молочной продуктивности является диапазон 0-3.125%. Высокий уровень инбридинга (6.25-12.5%) негативно влияет на жирномолочность. Воспроизводительные качества ухудшаются с увеличением уровня инбридинга. В данном случае необходимо использовать умеренный инбридинг для повышения молочной продуктивности при контроле качества потомства, а также рекомендуется учитывать индиви-

дуальные особенности стада при планировании селекционной работы с учетом уровня инбридинга.

Проведенный дисперсионный анализ влияния классического инбридинга быков-производителей на показатели продуктивности и воспроизводства их дочерей демонстрирует статистически значимые результаты по всем исследуемым признакам ($p=0,00$). Множественные коэффициенты корреляции варьируют от 0,038 до 0,070, что указывает на умеренную связь между фактором инбридинга и исследуемыми признаками. Коэффициенты детерминации (R^2) показывают, что фактор инбридинга объясняет от 0,15% (возраст первого отела) до 0,49% (удой за 305 дней) вариации признаков. Молочная продуктивность демонстрирует наиболее сильное влияние фактора ($R^2=0,49\%$). Удой за 305 дней показывает высокие значения F-критерия (106,12), что подтверждает статистическую значимость влияния. Жирность молока имеет $R^2=0,27\%$, что указывает на умеренное влияние фактора на качественный показатель, белковость молока демонстрирует $R^2=0,24\%$, показывая схожее с жирностью влияние. Воспроизводительные качества (сервис-период, возраст первого отела) имеют более низкие показатели влияния ($R^2=0,22-0,15\%$).

С точки зрения математической интерпретации высокие значения F-критерия (от 32,29 до 106,12) свидетельствуют о статистической значимости различий между группами. Низкие значения остаточной дисперсии ($MS(O)$) подтверждают надежность полученных результатов.

В биологический аспект это указывает на системное влияние фактора инбридинга на все исследуемые признаки. Наиболее чувствительным к влиянию фактора оказался показатель удою. Воспроизводительные качества демонстрируют меньшую зависимость от фактора инбридинга.

Таблица 1 – Взаимосвязь абсолютных показателей молочной продуктивности и воспроизводительных качеств дочерей быков в связи с уровнем инбридинга быков-отцов (F_x)

Уровень F_x	Возраст 1 отела, мес.	Сервис период - 1 л.	Дойные дни - 1 л.	Удой за 305, кг - 1 л.	Жир за 305, % - 1 л.	Жир за 305, кг - 1 л.	Белок за 305, % - 1 л.	Белок за 305, кг - 1 л.	Живая масса, кг - 1 л.
0% 46 быков (n=17243)	27.29± 0.029	149.41± 0.620	360.74± 0.589	6387.02± 10.639	4.08± 0.003	260.69± 0.477	3.23± 0.001	206.15± 0.360	506.96± 0.338
0-3.125% 117 быков (n=34407)	27.13± 0.020***	157.20± 0.461***	368.72± 0.433***	6582.14± 7.557***	4.07± 0.002**	267.62± 0.333***	3.21± 0.001***	211.18± 0.248***	510.57± 0.232***
3.125- 6.25% 28 быков (n=10327)	27.42± 0.037**/ ***	160.55± 0.830**/ ***	371.96± 0.786**/ ***	6461.13± 13.919***	4.02± 0.004**/ ***	259.78± 0.608 ^{н.д./} ***	3.23± 0.002 ^{н.д./} ***	208.67± 0.462***	507.18± 0.416 ^{н.д./} ***
6.25- 12.5% 5 быков (n=2050)	26.71± 0.082**/ ***	156.84± 1.815***	370.17± 1.822***	6792.69± 30.255***	4.03± 0.008**/ ***	274.05± 1.347***	3.20± 0.004**/ ***	217.27± 1.016***	510.01± 0.913 ^{**/н.д./} ***
R	0.0245	1.35	1.40	13.99	-0.0096	-0.065	-0.0027	0.27	-0.19

Примечание: здесь и далее, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; н.д. — недостаточно; R - регрессия
 / * — достоверное различие между показателями II и III, II и IV групп;
 / ** — достоверное различие между показателями III и IV групп

Таблица 2 – Дисперсионный анализ влияния Fx быков-производителей на показатели молочной продуктивности и воспроизводства дочерей

При- знак	Множе- ственны й R	Множе- ственный R ²	Скоррек- тированн ый R ²	SS (F)	N (F)	MS (F)	SS (O)	N (O)	MS (O)	F	p
Возраст 1 отела, мес.	0.03886 7	0.001511	0.001464	1324	3	441	8.750183E+05	64023	14	32.2874	0.00
Сервис период - 1 л.	0.04699 4	0.002208	0.002162	1003833	3	334611	4.535491E+08	64023	7084	47.2337	0.00
Дойные дни - 1 л.	0.05085 2	0.002586	0.002539	1049917	3	349972	4.049627E+08	64023	6325	55.3293	0.00
Удой за 305, кг - 1 л.	0.07034 1	0.004948	0.004901	62533805 9	3	20844602 0	1.257587E+11	64023	1964273	106.118 7	0.00
Жир за 305, % - 1 л.	0.05176 7	0.002680	0.002633	26	3	9	9.752277E+03	64023	0	57.3442	0.00

Жир за 305, кг - 1 л.	0.06362 2	0.004048	0.004001	1000971	3	333657	2.462863E+08	64023	3847	86.7353	0.00
Белок за 305, % - 1 л.	0.04938 5	0.002439	0.002392	6	3	2	2.318220E+03	64023	0	52.1746	0.00
Белок за 305, кг - 1 л.	0.05497 0	0.003022	0.002975	420611	3	140204	1.387737E+08	64023	2168	64.6827	0.00
Живая масса, кг - 1 л.	0.04004 7	0.001604	0.001557	192528	3	64176	1.198574E+08	64023	1872	34.2802	0.00

Примечание: Множественный R – множественный коэффициент корреляции, характеризует тесноту связи между зависимой переменной и предиктором, множественный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число факторов, $SS(F)$ – внутригрупповая изменчивость, $SS(O)$ – дисперсия ошибки, $MS(F)$ – межгрупповой разброс факториальной дисперсии (называемый средним квадратом эффекта), $MS(O)$ – межгрупповой разброс остаточной дисперсии (или дисперсии ошибки), степень свободы (F) – число степеней свободы для фактора (эффекта) ($N(F) = r-1$; в нашем исследовании число фактора (эффектов) $r = 4$, следовательно $N(F) = 4-1 = 3$; степень свободы (O) – число степеней свободы для остаточной (случайной) дисперсии ($N(O) = N-r$; в нашем исследовании число наблюдений $N = 64027$, следовательно $n(o) = 64027-4 = 64023$; F -критерий оценивает статистическую значимость различия средних в группах, P – вероятность ошибочного результата.

Таблица 3 – Дисперсионный анализ влияния Fx коров на показатели молочной продуктивности и воспроизводства

Признак	Множественный R	Множественный R ²	Скорректированный R ²	SS (F)	N (F)	MS (F)	SS (O)	N (O)	MS (O)	F	p
Возраст 1 отела, мес.	0,018001	0,000324	0,000222	160	4	40	4,946910E+05	39271	13	3,18	0,012
Сервис период - 1 л.	0,006595	0,000043	-0,000058	11829	4	2957	2,719769E+08	39271	6926	0,42	0,789
Межотельный период - 2 л.	0,006764	0,000046	-0,000056	12587	4	3147	2,750877E+08	39271	7005	0,44	0,773
Удой за 305, кг - 1 л.	0,029892	0,000894	0,000792	68942174	4	17235544	7,708798E+10	39271	19629 75	8,78	0,000
Жир за 305, % - 1 л.	0,022398	0,000502	0,000400	3	4	1	5,788557E+03	39271	0	4,92	0,001
Жир за 305, кг - 1 л.	0,032783	0,001075	0,000973	156780	4	39195	1,457253E+08	39271	3711	10,56	0,000

Белок за 305, % - 1 л.	0,038865	0,001511	0,001409	2	4	1	1,563255E+03	39271	0	14,85	0,000
Белок за 305, кг - 1 л.	0,035084	0,001231	0,001129	105562	4	26390	8,565487E+07	39271	2181	12,09	0,000
Дойные дни - 1 л.	0,005836	0,000034	-0,000068	8714	4	2179	2,558067E+08	39271	6514	0,33	0,854
Кратность осемен. в - 1 л.	0,009466	0,000090	-0,000012	6	4	1	6,454219E+04	39271	2	0,87	0,475
Количество абортоскопий к - 1 л.	0,008667	0,000075	-0,000027	0	4	0	3,116851E+02	39271	0	0,73	0,566
Живая масса, кг - 1 л.	0,027430	0,000752	0,000649	49392,45	4	12348,11	65595718	38755	1692,5	7,29	0,000

Примечание: Множественный R – множественный коэффициент корреляции, характеризует тесноту связи между зависимой переменной и предиктором, множественный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число факторов, $SS(F)$ – внутригрупповая изменчивость, $SS(O)$ – дисперсия ошибки, $MS(F)$ – межгрупповой разброс факториальной дисперсии (называемый средним квадратом эффекта), $MS(O)$ – межгрупповой разброс остаточной дисперсии (или дисперсии ошибки), степень свободы (F) – число степеней свободы для фактора (эффекта) ($N(F) = r-1$; в нашем исследовании число фактора (эффектов) $r = 5$, следовательно $N(F) = 5-1 = 4$; степень свободы (O) – число степеней свободы для остаточной (случайной) дисперсии ($N(O) = N-r$; в нашем исследовании число наблюдений $N = 39276$, следовательно $n(o) = 39276-5 = 39271$; $N = 38760$ для живой массы, следовательно $n(o) = 38760-5 = 38755$, F -критерий оценивает статистическую значимость различия средних в группах, P – вероятность ошибочного результата.

Все это позволяет нам сделать заключение, что как фактор «классический инбридинг» быков производителей оказывает статистически значимое влияние на продуктивные и воспроизводительные качества дочерей. При этом наибольшее влияние наблюдается на показатели молочной продуктивности, особенно на удой, а качественные показатели молока (жирность и белковость) демонстрируют умеренную зависимость от фактора инбридинга. В отличие от молочных признаков воспроизводительные качества менее чувствительны к влиянию данного фактора.

Установлено также разнонаправленное влияние фактора инбридинга на различные показатели продуктивности и воспроизводства самих коров (Таблица 3).

Множественные коэффициенты корреляции варьируются от 0,0058 до 0,0389. Коэффициенты детерминации показывают, что фактор инбридинга объясняет от 0,0034% (дойные дни) до 0,1511% (белок в молоке) вариации признаков. Молочная продуктивность демонстрирует наиболее выраженное влияние фактора: удой за 305 дней ($R^2=0,0894\%$, $F=8,78$, $p=0,000$); содержание белка ($R^2=0,1511\%$, $F=14,85$, $p=0,000$) и содержание жира ($R^2=0,0502\%$, $F=4,93$, $p=0,0005$). При этом качественные показатели молока более чувствительны к влиянию инбридинга, чем количественные.

Что касается воспроизводительных качеств, то сервис-период и межотельный период практически не зависят от фактора инбридинга (R^2 менее 0,005%), возраст первого отела показывает слабое влияние фактора ($R^2=0,0324\%$). Живая масса коров демонстрирует умеренную зависимость от инбридинга ($R^2=0,0752\%$, $F=7,30$, $p=0,000007$), а показатели кратности осеменения и абортот не имеют статистически значимой связи с фактором инбридинга.

Полученные результаты указывают на то, что значимые F-критерии получены для показателей молочной продуктивности, низкие значения p-уровня (менее 0,0001) подтверждают статистическую

значимость влияния фактора на продуктивные признаки, а высокие значения остаточной дисперсии для некоторых показателей указывают на влияние других факторов. Это говорит о том, что наблюдается избирательное влияние инбридинга на различные признаки. Наиболее чувствительными оказались показатели качества молока, воспроизводительные качества демонстрируют устойчивость к влиянию инбридинга.

Интересная зависимость между уровнем гомозиготности быков-отцов по STR-маркерам и показателями продуктивности их дочерей (Таблица 4).

Из таблицы видно, что молочная продуктивность имеет тенденцию к снижению с ростом уровня гомозиготности. В группе с максимальной уровнем гомозиготности (55-77%) удой ниже на 158,34 кг. Содержание жира показывает незначительное повышение в средней группе. Содержание белка имеет тенденцию к снижению при высоком уровне гомозиготности.

Сервис-период демонстрирует улучшение в группе с высоким уровнем гомозиготности (сокращение на 9,56 дней). Дойные дни также имеют тенденцию к снижению с ростом уровня гомозиготности, а возраст первого отела практически не зависит от намеченных трендов. Живая масса коров показывает незначительное увеличение в группах с повышенным уровнем гомозиготности.

Наиболее значимые различия наблюдаются по показателям удоя и продолжительности лактации.

В общей картине, наблюдается улучшение некоторых воспроизводительных качеств при повышенном инбридинге. При этом снижение молочной продуктивности при высоком уровне гомозиготности соответствует теоретическим ожиданиям, а незначительные изменения в показателе возраста первого отела указывают на стабильность этого признака.

Таким образом установлена достоверная взаимосвязь между уровнем гомозиготности по STR-маркерам и продуктивными качествами дочерей. Оптимальным

с точки зрения молочной продуктивности является минимальный уровень гомозиготности. Воспроизводительные же качества демонстрируют неоднозначную реакцию на повышение инбридинга.

Результаты дисперсионного анализа демонстрируют существенное влияние уровня гомозиготности на показатели молочной продуктивности и воспроизводства (Таблица 5).

Таблица 4 – Взаимосвязь абсолютных показателей молочной продуктивности и воспроизводительных качеств дочерей быков в связи с уровнем гомозиготности быков-отцов (Са)

Уровень Са	Возраст 1 отела, мес.	Сервис период - 1 л.	Дойные дни - 1 л.	Удой за 305, кг - 1 л.	Жир за 305, % - 1 л.	Жир за 305, кг - 1 л.	Белок за 305, % - 1 л.	Белок за 305, кг - 1 л.	Живая масса, кг - 1 л.
0% 9 быков (n=3280)	27.15 ± 0.067	155.0 9 ± 1.519	367.58 ± 1.433	6517.6 4 ± 24.742	4.00 ± 0.006	261.07 ± 1.081	3.21 ± 0.003	209.11 ± 0.823	504.9 4 ± 0.772
8,3 – 50% 212 быков (n=7533 1)	27.25 ± 0.013	155.4 5 ± 0.305	367.05 ± 0.291	6457.5 1 ± 5.108*	4.05 ± 0.001**	261.93 ± 0.225	3.21 ± 0.001	207.41 ± 0.170*	507.4 9 ± 0.161**
55-77% 7 быков (n=2238)	27.61 ± 0.086 ***/**	145.5 3 ± 1.757* **/**	358.53 ± 1.670** */**	6359.3 0 ± 33.567* **/**	4.00 ± 0.008 ^{н.д.} /***	255.46 ± 1.521**/ ***	3.19 ± 0.004** */**	203.32 ± 1.139** */**	508.8 0 ± 0.973**
R	0,311	-14,74	-13,96	-178,54	0,055	-3,0	-0,02	-6,8	-0,28

Множественные коэффициенты корреляции варьируются от 0,012 до 0,034. Коэффициенты детерминации (R^2) показывают, что фактор инбридинга объясняет от 0,015% (живая масса) до 0,121% (жирность молока) вариации признаков. Все показатели демонстрируют статистическую значимость ($p=0,00$).

Относительно же продуктивных показателей, то молочная продуктивность демонстрирует умеренное влияние фактора: удой за 305 дней ($R^2=0,020\%$) с F-критерием 8,43; содержание жира ($R^2=0,121\%$) с высоким F-критерием 49,32 и содержание белка ($R^2=0,044\%$) с F-критерием 18,05. Видно, что качественные показатели более чувствительны к влиянию уровня гомозиготности, чем количественные.

Если обратить внимание на воспроизводительные качества, то здесь все показатели демонстрируют схожую степень

влияния фактора. В отличие от всех показателей живая масса коров показывает наименьшее влияние фактора ($R^2=0,015\%$).

Высокие значения F-критерия в целом подтверждают статистическую значимость влияния фактора, при этом наибольшее значение F наблюдается для показателя жирности молока (49,32). Относительно низкие значения остаточной дисперсии также указывают на надежность результатов.

Все это позволяет сделать заключение, что наблюдается избирательное влияние уровня гомозиготности на различные признаки. Наиболее чувствительным показателем оказалась жирность молока. Воспроизводительные же качества демонстрируют умеренную зависимость от такого фактора как уровень гомозиготности по STR-маркерам.

Таблица 5 – Дисперсионный анализ влияния Са быков-производителей на показатели молочной продуктивности и воспроизводства дочерей

При- знак	Множе- ственны й R	Множе- ственны й R ²	Скоррек- тированн ый R ²	SS (F)	N (F)	MS (F)	SS (O)	N (O)	MS (O)	F	p
Воз- раст 1 отела, мес.	0.017021	0.000290	0.000265	326	2	163	1.123971E+06	80846	14	11.71427	0.000008
Сер- вис пери- од - 1 л.	0.019379	0.000376	0.000351	214145	2	107072	5.699819E+08	80846	7050	15.18710	0.000000
Дой- ные дни - 1 л.	0.017562	0.000308	0.000284	159841	2	79920	5.181035E+08	80846	6409	12.47094	0.000004
Удой за 305, кг - 1 л.	0.014443	0.000209	0.000184	33441311	2	16720655	1.602796E+11	80846	1982529	8.43400	0.000218
Жир за 305, % - 1 л.	0.034909	0.001219	0.001194	15	2	7	1.199184E+04	80846	0	49.32042	0.000000

Жир за 305, кг - 1 л.	0.017218	0.000296	0.000272	92467	2	46233	3.117962E+08	80846	3857	11.98790	0.000006
Белок за 305, % - 1 л.	0.021127	0.000446	0.000422	1	2	1	3.044531E+03	80846	0	18.05003	0.000000
Белок за 305, кг - 1 л.	0.016267	0.000265	0.000240	46833	2	23416	1.769430E+08	80846	2189	10.69903	0.000023
Живая масса, кг - 1 л.	0.012558	0.000158	0.000133	24878	2	12439	1.577362E+08	80846	1951	6.37549	0.001704

Примечание: Множественный R – множественный коэффициент корреляции, характеризует тесноту связи между зависимой переменной и предиктором, множественный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число факторов, $SS(F)$ – внутригрупповая изменчивость, $SS(O)$ – дисперсия ошибки, $MS(F)$ – межгрупповой разброс факториальной дисперсии (называемый средним квадратом эффекта), $MS(O)$ – межгрупповой разброс остаточной дисперсии (или дисперсии ошибки), степень свободы (F) – число степеней свободы для фактора (эффекта) ($N(F) = r-1$; в нашем исследовании число фактора (эффектов) $r = 3$, следовательно $N(F) = 3-1 = 2$; степень свободы (O) – число степеней свободы для остаточной (случайной) дисперсии ($N(O) = N-r$; в нашем исследовании число наблюдений $N = 80849$, следовательно $n(o) = 80849-3 = 80846$; F -критерий оценивает статистическую значимость различия средних в группах, P – вероятность ошибочного результата.

Таблица 6 – Взаимосвязь абсолютных показателей молочной продуктивности и воспроизводительных качеств дочерей быков в связи с уровнем геномного инбридинга быков-отцов (F_{RON})

Уровень F_{RON}	Возраст 1 отела, мес.	Сервис период - 1 л.	Дойные дни - 1 л.	Удой за 305, кг - 1 л.	Жир за 305, % - 1 л.	Жир за 305, кг - 1 л.	Белок за 305, % - 1 л.	Белок за 305, кг - 1 л.	Живая масса, кг - 1 л.
(n=12381) до 4.1% 39 быков	27.19± 0.034	151.36± 0.764	364.09± 0.717	6366.82± 12.387	4.09± 0.004	260.83± 0.558	3.22± 0.002	204.87± 0.410	505.85± 0.370
(n=30159) 4.2-7.5% 76 быков	27.31± 0.021**	155.31± 0.483**	366.79± 0.458**	6512.84± 8.148***	4.06± 0.002***	264.37± 0.360***	3.22± 0.001	209.47± 0.272***	508.91± 0.254***
(n=14630) 7.6-10.8% 57 быков	26.98± 0.029***	157.91± 0.695**	368.49± 0.650***	6679.23± 11.630***	4.06± 0.003**/н.д.	270.85± 0.514***	3.22± 0.001	215.21± 0.381***	511.83± 0.361***
(n=6857) более 10.9% 24 быка	27.26± 0.046н.д./ н.д./***	159.88± 1.020**	371.30± 0.986**	6458.60± 16.524**	4.03± 0.004**	260.02± 0.719н.д./***	3.20± 0.002**	206.89± 0.550**	509.34± 0.509н.д./***
R	-0,043	0,77	0,58	30,73	-0,0056	0,85	0,00054	1,012	0,77

Примечание: У 305 – удой за 305 дней лактации; МДЖ – массовая доля жира; МЖ – молочный жир; МДБ – массовая доля белка; МБ – молочный белок; ЖМ – живая масса; ВПО – возраст первого отела; СП – сервис-период; ДД – дойные дни; R – коэффициент регрессии

Таблица 7 – Дисперсионный анализ влияния FROH быков-производителей на показатели молочной продуктивности и воспроизводства дочерей

Признак	Множес- твенный R	Множес- твенный R ²	Скоррек- тированн ый R ²	SS (F)	N (F)	MS (F)	SS (O)	N (O)	MS (O)	F	p
Возраст 1 отела, мес.	0,035998	0,001296	0,001249	1136	3	379	8,752065E+05	64023	14	27,6911	0,00
Сервис период - 1 л.	0,030693	0,000942	0,000895	428218	3	142739	4,541248E+08	64023	7093	20,1235	0,00
Дойные дни - 1 л.	0,025506	0,000651	0,000604	264142	3	88047	4,057484E+08	64023	6338	13,8930	0,00
Удой за 305, кг - 1 л.	0,073790	0,005445	0,005398	688153235	3	22938441 2	1,256958E+11	64023	1963292	116,8366	0,00
Жир за 305, % - 1 л.	0,049157	0,002416	0,002370	24	3	8	9,754853E+03	64023	0	51,6939	0,00
Жир за 305, кг - 1 л.	0,060087	0,003610	0,003564	892824	3	297608	2,463944E+08	64023	3849	77,3303	0,00

Белок за 305, % - 1 л.	0,030921	0,000956	0,000909	2	3	1	2,321666E+03	64023	0	20,4239	0,00
Белок за 305, кг - 1 л.	0,075220	0,005658	0,005612	787575	3	262525	1,384067E+08	64023	2162	121,4367	0,00
Живая масса, кг - 1 л.	0,044803	0,002007	0,001961	240973	3	80324	1,198090E+08	64023	1871	42,9235	0,00

Примечание: Множественный R – множественный коэффициент корреляции, характеризует тесноту связи между зависимой переменной и предиктором, множественный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число факторов, $SS(F)$ – внутригрупповая изменчивость, $SS(O)$ – дисперсия ошибки, $MS(F)$ – межгрупповой разброс факториальной дисперсии (называемый средним квадратом эффекта), $MS(O)$ – межгрупповой разброс остаточной дисперсии (или дисперсии ошибки), степень свободы (F) – число степеней свободы для фактора (эффекта) ($N(F) = r-1$; в нашем исследовании число фактора (эффектов) $r = 4$, следовательно $N(F) = 4-1 = 3$; степень свободы (O) – число степеней свободы для остаточной (случайной) дисперсии ($N(O) = N-r$; в нашем исследовании число наблюдений $N = 64027$, следовательно $n(o) = 64027-4 = 64023$; F -критерий оценивает статистическую значимость различия средних в группах, P – вероятность ошибочного результата.

В таблице 6 представлены основные хозяйственно-полезные показатели дочерей исследуемых быков во взаимосвязи с уровнем геномного инбридинга, так удой за 305 дней лактации варьировался от 6367 при F_{ROH} до 4,1% и до 6458 при более 10,9%, так же наблюдалось снижение массовой доли жира и белка молока с 4,09-4,03% и 3,22-3,20% соответственно. Наблюдалось увеличение сервис-периода с 151,4 до 159,9 дней. Анализ абсолютных показателей молочной продуктивности и фертильности дочерей быков с величиной их геномного инбридинга указывал на положительную сопряженность с изучаемыми признаками. Использование умеренной величины инбридинга позволяет получать более продуктивное и однородное потомство в сравнении с аутбредными животными, при градациях <4,1...7,6-10,8: на +312 кг молока, +10,05 кг МЖ, +10,3 кг МБ.

Регрессионным анализом установлено, что 1% геномного инбридинга в расчете по ROH -паттернам связан с увеличением удоя за 305 дней лактации на 30,73 кг., молочного жира и белка на 0,85 и 1,012 кг. соответственно, при незначительном приросте массовой доли молочного белка (0,00054%) и потере молочного жира (-0,0056%). По показателям воспроизводства заметна положительная направленность к увеличению последних: сервис период +0,77 дн., дойные дни +0,58 дн., живая масса +0,77 кг., за исключением возраста первого отела, он снижается на -0,043 мес.

Демонстрируется также существенное влияние фактора геномного инбридинга быков-производителей на различные показатели продуктивности и воспроизводства их дочерей (Таблица 7).

Множественные коэффициенты корреляции варьируются от 0,0255 до 0,0752. Коэффициенты детерминации показывают, что фактор геномного инбридинга объясняет от 0,06% (дойные дни) до 0,56% (белок в молоке) вариации признаков. Все показатели демонстрируют статистически значимую связь ($p=0,00$). Молочная продуктивность демонстрирует

наиболее выраженное влияние фактора: на удой за 305 дней ($R^2=0,54\%$, $F=116,84$); содержание белка ($R^2=0,56\%$, $F=121,44$) и содержание жира ($R^2=0,24\%$, $F=51,69$). При этом качественные показатели молока показывают различную чувствительность к геномному инбридингу: содержание белка более чувствительно, а содержание жира демонстрирует умеренную зависимость. Воспроизводительные же качества, такие как возраст первого отела ($R^2=0,13\%$) и сервис-период ($R^2=0,09\%$) демонстрируют умеренную зависимость от инбридинга, а дойные дни показывают наименьшую связь с фактором ($R^2=0,06\%$). Живая масса коров имеет умеренную зависимость от геномного инбридинга ($R^2=0,20\%$, $F=42,92$).

Если судить в целом, то высокие значения F -критерия свидетельствуют о статистической значимости влияния фактора, а значимые показатели $MS(F)$ подтверждают существенность различий между группами. Относительно низкие значения остаточной дисперсии указывают на надежность результатов. Все указывает на то, что наблюдается системное влияние геномного инбридинга на все исследуемые признаки и наиболее чувствительным оказался показатель содержания белка. Воспроизводительные качества демонстрируют умеренную зависимость от фактора.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование демонстрирует комплексное влияние различных форм инбридинга на продуктивные и воспроизводительные качества молочного скота. Анализ данных позволяет сделать определенные выводы.

Установлена оптимальная степень классического инбридинга (0-3.125%). Также выявлена тенденция к снижению жирномолочности при увеличении степени инбридинга. Показана эффективность использования оптимального уровня геномного инбридинга в пределах 4.2-7.5% для получения высокопродуктивного потомства. Установлена зависимость между уровнем гомозиготности по STR-

маркерам и продуктивными качествами. Также определена оптимальная степень гомозиготности для достижения максимальной продуктивности. Доказана статистическая значимость влияния всех форм инбридинга ($p=0.00$).

В качестве практических предложений можно рекомендовать использовать умеренный классический инбридинг в пределах 0-3.125%; контролировать уровень геномного инбридинга в диапазоне 4.2-7.5% и учитывать уровень гомозиготности по STR-маркерам при подборе пар, а также проводить регулярный мониторинг показателей продуктивности и воспроизводства.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE LEVEL OF HOMOZYGOSITY AND GENOMIC INBREEDING OF HOLSTEIN AND BLACK-PIED STUD BULLS ON DAIRY PRODUCTIVITY INDICATORS AND REPRODUCTION OF DAUGHTERS

Nedashkovsky I.S.^{1*} – candidate of biology, senior scientific researcher, Head of the National Catalog Department of the National Center for Genetic Resources of Farm Animals (ORCID 0000-0003-0487-4576); **Conte A.F.**² – candidate of agricultural sciences, senior scientific researcher of population genetics and animal breeding department (ORCID 0000-0003-4877-0883); **Koltsov D.N.**³ – doctor of biology, director (ORCID 0000-0002-3977-8552); **Volkova V.V.**⁴ – candidate of biology, senior scientific researcher of laboratory of DNA technologies in animal husbandry (ORCID 0000-0002-2080-0182); **Sermyagin A.A.**⁵ – candidate of agricultural sciences, director (ORCID 0000-0002-1799-6014)

^{1,2,4} L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

³ Federal Research Center for Bast Fiber Crops

⁵ All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Animal Husbandry - VIZh named after Academician L.K. Ernst

* nedashkovsky_is@mail.ru

Financing: The study was supported by framework of the state assignment №124020200029-4 (FGGN-2024-0013).

ABSTRACT

A study was conducted to investigate the impact of genomic inbreeding (FROH) and the level of homozygosity (Ca) on milk productivity and reproduction. To assess the impact of FROH, data on SNP markers from 196 sires were used; FROH was then assigned to daughters ($n=64,027$). FROH was calculated as the ratio of the sum of all lengths of homozygosity patterns (ROH) in million nucleotide pairs (mb) in the sire genome to the total genome size in mb for 29 bovine autosomes overlapping SNPs, expressed as a percentage. To calculate the impact of inbreeding (Fx), 196 bulls and 64,027 daughters were used, and Ca for STR markers from 228 bulls and 80,849 daughters was used. To assess the influence of the cows' own Fx, a dataset of 39,276 heads was used. Fx was calculated using the Wright-Kislovsky formula, the Ca level as the ratio of the number of homozygous loci to the total number of analyzed loci. The optimal Fx level for obtaining high milk productivity indicators is the range of 0-3.125%. A high level of inbreeding (6.25-12.5%) negatively affects milk fat content. Thus, a reliable relationship was established between the level of inbreeding for STR markers and the productive qualities of daughters. From the point of view of milk productivity, the minimum level of inbreeding is optimal. All indicators demonstrate statistical significance ($p=0.00$). A systemic effect of genomic inbreeding on all the studied traits is observed, and the protein content indicator turned out to be the most sensitive. Reproductive qualities demonstrate a moderate dependence on the factor. As practical suggestions, it is possible to recommend using moderate classical inbreeding within 0-3.125%; control the level of genomic inbreeding in the range of 4.2-7.5% and take into account the level of homozygosity for FROH and STR markers when selecting pairs, as well as conduct reg-

ular monitoring of productivity and reproduction indicators.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Недашковский, И. С. Оценка влияния уровня инбридинга на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинизированной популяции черно-пестрой породы / И.С. Недашковский, А.А. Сермягин, Т.В. Богданова, А.Н. Ермилов, И.Н. Янчуков, Н.А. Зиновьева // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – № 7. – С. 17-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36613447>
2. Недашковский, И.С. Оценка племенной ценности быков-производителей голштинской породы по качеству потомства в связи с уровнем гомозиготности по STR-маркерам / И.С. Недашковский, О.В. Костюнина, В.В. Волкова, А.Н. Ермилов, А.А. Сермягин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 3(43). – С. 36-42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41485488>
3. Недашковский, И.С. Влияние уровня геномного инбридинга, оцененного по ROH-паттернам, на воспроизводительные качества и молочную продуктивность дочерей, а также спермопродукцию голштинских быков-производителей / И.С. Недашковский, А.А. Сермягин, О.В. Костюнина, И.Н. Янчуков, Н.А. Зиновьева // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, – № 3. – С. 39-45. – DOI 10.24411/0235-2451-2021-10307. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45719024>
4. Недашковский, И.С. Влияние уровня гомозиготности по STR-маркерам быков-производителей голштинской породы на показатели наследования типа телосложения их дочерей на основе линейной оценки / И.С. Недашковский, А.Ф. Контэ, В.В. Волкова, А.А. Сермягин // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 4(68). – С. 294-302. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-04-35. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50237879>
5. Недашковский, И.С. Влияние уровня геномного инбридинга голштинских быков-производителей на изменчивость показателей экстерьера и тип телосложения их дочерей / И.С. Недашковский, А.Ф. Контэ, А.А. Сермягин // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37. – № 6. – С. 66-74. – DOI 10.53859/02352451_2023_37_6_66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54278234>
6. Недашковский, И.С. Влияние уровня инбридинга коров голштинской породы на оценку их типа телосложения / И.С. Недашковский, А.Ф. Контэ, Е.Н. Нарышкина, А.А. Сермягин // Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № 2. – С. 3-6. – DOI 10.33943/MMS.2023.36.93.002. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=51417048>
7. Недашковский, И.С. Влияние уровня инбридинга у коров голштинской и черно-пестрой пород на частоту встречаемости недостатков экстерьера / И.С. Недашковский, А.Ф. Контэ, А.А. Сермягин // Молочное и мясное скотоводство. – 2024. – № 3. – С. 11-15. – DOI 10.33943/MMS.2024.88.77.003. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67948580>
8. Недашковский, И.С. Параметры генетической взаимосвязи по STR- и SNP-маркерам недостатков экстерьера дочерей голштинских быков-производителей с уровнем гомозиготности и геномного инбридинга отцов / И.С. Недашковский, А.Ф. Контэ, А.А. Сермягин // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38. – № 2. – С. 46-52. – DOI 10.53859/02352451_2024_38_2_46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65637072>
9. Герасимова, А. С. Влияние типов подбора и степени инбридинга на продуктивные качества в селекции молочного скота племзавода "Рыбковское" / А. С. Герасимова, Е. А. Прищеп, Д. В. Леутина, О. В. Татуева // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2(83). – С. 45-50. – DOI 10.17238/issn2587-666X.2020.2.45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42808956>

10. Аширматова, В. Н. Влияние степеней инбридинга на живую массу и молочную продуктивность чёрно-пёстрых коров / В. Н. Аширматова, Л. И. Анисимова // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2017. – № 1(8). – С. 40-42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29764816>
11. Иванова, И.П. Влияние степеней инбридинга на хозяйственно-полезные качества молочного скота / И.П. Иванова, Н.А. Юрк // Молочнохозяйственный вестник. – 2021. – №2 (42), II кв. – С. 62-71. – DOI 10.52231/2225-4269 2021_2_62 Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46423624>
12. Любимов, А. И. Влияние различных типов инбридинга на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы / А.И. Любимов, В.М. Юдин, К.П. Никитин // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 5 (147). – С. 56-60. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26168296>
13. Руденко, О. В. Влияние различных степеней инбридинга на интенсивность роста ремонтных телок // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1(57). – С. 188-193. – DOI 10.18286/1816-4501-2022-1-188-193. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48723817>
14. Грачев, В. С. Влияние инбридинга на показатели онтогенеза, продуктивности и долголетия молочных коров / В.С. Грачев, С.А. Брагинец, А.Ю. Алексеева // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(67). – С. 91-99. – DOI 10.24412/2078-1318-2022-2-91-99. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48956089>
15. Шендаков, А. И. Влияние аутбридинга и инбридинга на результаты отёлов чёрно-пёстрых коров при средней кровности по голштинам (HF) 49,3-60,2% / А.И. Шендаков, Т.А. Шендакова, Р.Н. Ляшук // Биология в сельском хозяйстве. – 2024. – № 4(45). – С. 2-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=76803170>
16. Руденко, О. В. Показатели воспроизводства коров при разной степени инбридинга / О.В. Руденко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2022. – Т. 17. – № 3. – С. 360-372. – DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-3-360-372. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49508136>
17. Babik, N.P., Fedorovych, Ye.I. Influence of outbreeding and inbreeding on the productive longevity of dairy cows / N.P. Babik, Ye.I. Fedorovych // Scientific Messenger LNUVMB. – 2017. – 19(79). – P. 3-8. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-autbridginga-i-inbridginga-na-produktivnoe-dolgoletie-korov-molochnih-porod>
18. Лещук, Г. П. Продуктивные качества черно-пестрых коров в связи с типом телосложения и производственной типичностью / Г.П. Лещук // Агропродовольственная политика России. – 2012. – № 3. – С. 73-75. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18870810>
19. Степанов, А. В. Влияние кратности доения на молочную продуктивность голштинизированных коров-первотелок в условиях промышленной технологии производства молока Северного Зауралья / А.В. Степанов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 10(37). – С. 100-103. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13010943>
20. Чеченихина, О. С. Удой коров черно-пестрой породы в зависимости от генетических и технологических факторов / О.С. Чеченихина // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 51-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18819458>
21. Peakall, R. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel // Population genetic software for teaching and research update / R. Peakall, P.E. Smouse // Bioinformatics. – 2012. Vol. 28. – P.2537-2539. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22820204/>
22. Chang, C. C. Second-generation PLINK: Rising to the challenge of larger and richer datasets / C.C. Chang, C.C. Chow, L. Tellier et al. // GigaScience. – 2015. – Vol.4. – №7. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25722852/>

23. Zhang, L. cgaTOH: Extended approach for identifying tracts of homozygosity / L. Zhang, M.S. Orloff, S. Reber S. et al. // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8. – №. 3. – P. e57772. Режим доступа: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0057772>
 24. Purfield, C. Runs of homozygosity and population history in cattle / C. Purfield, D. Berry, S. McParland S. et al. // BMC Genetics. – 2012– Vol.13. – № 70. Режим доступа: <https://bmcgenomdata.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2156-13-70>
 25. Смарагдов, М. Г. Полногеномная оценка инбридинга у молочного скота / М.Г. Смарагдов, А.А. Кудинов // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 6. – С. 51–53. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10612. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39179451>
 26. Ерохин, А.И. Инбридинг и селекция животных / А.И. Ерохин, А.П. Солдатов, А.И. Филатов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 156 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/002744_000053_RU_%D0%93%D0%9F%D0%9D%D0%A2%D0%91+%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_KNB_IBIS_45.3_%D0%9577-867639/
 27. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с. Режим доступа: <https://www.klex.ru/1oe4>
 28. Юденков, В.А. Дисперсионный анализ / В.А. Юденков. – Минск: Бизнесофсет, 2013. – 76с. Режим доступа: https://www.studmed.ru/yudenkov-v-a-dispersionnyy-analiz_9180460d1ff.html
- REFERENCES**
1. Nedashkovsky, I.S. Evaluation of inbreeding effect for milk production and fertility traits black-and-white cattle improved by holstein breed / I.S. Nedashkovsky, A.A. Sermyagin, T.V. Bogdanova, A.N. rnilov, I.N. Yanchukov, N.A. Zinovieva // Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018:7:17-22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36613447> (In Russ.)
 2. Nedashkovsky, I.S. Estimation of the breeding value of holstein sire by the quality of offspring in connection with the homosy-gity level calculatedby STR-markers / I.S. Nedashkovsky, O.V. Kostunina, V.V. Volkova, A.N. Ermilov, A.A. Sermyagin // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2019:3(43):36-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41485488> (In Russ.)
 3. Nedashkovsky, I.S. Influence of the level of genomic inbreeding assessed by ROH-patterns on reproductive qualities and milk productivity of daughters and sperm produc-tivity of holstein sires / I.S. Nedashkovsky, A.A. Sermyagin, O.V. Kostyunina, I.N. Yanchukov, N.A. Zinovieva // Achievements of Science and Technology of AIC. 2021:35(3):39-45. – DOI 10.24411/0235-2451-2021-10307. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45719024> (In Russ.)
 4. Nedashkovsky, I.S. The influence of the level of homozygostity for STR-markers of holsteen sires on the indicators of inheritance of the body type of their daughters on the basis of linear assessment / I.S. Nedashkov-sky, A.F. Konte, V.V. Volkova, A.A. Serm-yagin // Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2022:4(68):294-302. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-04-35. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50237879> (In Russ.)
 5. Nedashkovsky, I.S. Influence of the level of genomic inbreeding holstein and black-and-white sires on genetic variability and evaluation of the estimated breeding value of the body type of their daughters. / I.S. Nedashkovsky, A.F. Konte, A.A. Serm-yagin // Achievements of Science and Tech-nology of AIC. 2023:37(6): 66-74. – DOI 10.53859/02352451_2023_37_6_66. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54278234> (In Russ.)
 6. Nedashkovsky, I.S. Influence of the level of inbreeding of daughters of holstein and black mottled sires on the assessment of their body type / I.S. Nedashkovsky, A.F. Conte, E.N. Naryshkina, A.A. Sermyagin // Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2023:2:3-6. – DOI 10.33943/

- MMS.2023.36.93.002. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=51417048> (In Russ.)
7. Nedashkovsky, I.S. Influence of the level of inbreeding of holstein and black-and-white cows on the frequency of exterior defects / I.S. Nedashkovsky, A.F. Conte, E.N. A.A. Sermyagin // Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2024:3:11-15. – DOI 10.33943/MMS.2024.88.77.003. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67948580> (In Russ.)
8. Nedashkovsky, I.S. Parameters of genetic correlation by str and snp markers of defects in the exterior of daughters of holstein sires with the level of homozygosity and genomic inbreeding of fathers / I.S. Nedashkovsky, A.F. Conte, E.N. A.A. Sermyagin // Achievements of Science and Technology of AIC. 2024:38(2):46-52. – DOI 10.53859/02352451_2024_38_2_46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65637072> (In Russ.)
9. Gerasimova, A.S. The influence of selection types and inbreeding degree on productive qualities in dairy cattle selection of the breeding factory "Rybkovskoye" / A.S. Gerasimova, E.A. Prishchep, D.V. Leutina, O.V. Tatueva // Bulletin of agrarian science. 2020:2(83):45-50. – DOI 10.17238/issn2587-666X.2020.2.45. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42808956> (In Russ.)
10. Ashirmatova, V. N. The influence of inbreeding degrees on live weight and milk productivity of black-and-white cows / V. N. Ashirmatova, L. I. Anisimova // Online scientific journal of OrelSAU. 2017:1(8):40-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29764816> (In Russ.)
11. Ivanova, I.P., Yurk N.A. Influence of degrees of inbreeding on the economic and useful qualities of dairy cattle / I.P. Ivanova, N.A. Yurk // Dairy Bulletin. 2021:2(42):62-71 – DOI 10.52231/2225-4269_2021_2_62. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46423624> (In Russ.)
12. Lubimov, A.I. Effect of different types of inbreeding on dairy products efficiency and reproductive qualities of cows of black-motley breed / A.I. Lubimov, V.M. Yudin, K.P. Nikitin // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016:5(147):56-60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26168296> (In Russ.)
13. Rudenko, O.V. Influence of various inbreeding degrees on growth intensity of replacement heifers / O.V. Rudenko // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2022:1(57):188-193. – DOI 10.18286/1816-4501-2022-1-188-193. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48723817> (In Russ.)
14. Grachev, V.S. Influence of inbreeding on indicators of ontogenesis, productivity and longevity of dairy cows / Grachev V.S., Braginets S.A., Alekseeva A.YU. // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022:(67):91-99. – DOI 10.24412/2078-1318-2022-2-91-99. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48956089> (In Russ.)
15. Shendakov, A.I. The influence of outbreeding and inbreeding on the results of calving of black-and-white cows with an average percentage of holstein genes (hf) of 49.3-60.2% / A.I. Shendakov, T.A. Shendakova, R.N. Lyashuk // Biology in agriculture. 2024:4(45):2-6. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=76803170> (In Russ.)
16. Rudenko, O.V. Cow reproduction rates with varying inbreeding degrees / O.V. Rudenko // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2022:17(3):360-372. – DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-3-360-372. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49508136> (In Russ.)
17. Babik, N.P. Influence of outbreeding and inbreeding on the productive longevity of dairy cows / N.P. Babik, Ye.I. Fedorovich // Scientific Messenger LNUVMB. 2017:19(79):3-8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-autbridginga-i-inbridginga-na-produktivnoe-dolgoletie-korov-molochnih-porod>. (In Russ.)
18. Leschuk, G. P. Productive qualities of black-and-white cows in connection with body type and production typicality / G. P. Leschuk // Agro-food policy in Russia. 2012:3:73-75. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18870810> (In Russ.)
19. Stepanov. A.V. Milking order influence on milk efficiency of holsteined fresh cows in the conditions of industrial technology of milk production in the north zauraliye / A.V.

- Stepanov // the Bulletin of KrasGAU. 2009;10(37):100-103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13010943> (In Russ.)
20. Tchetchenihina, O.S. Milking cows of black-breed depending on genetic and technological factors / O.S. Tchetchenihina // Achievements of Science and Technology of AIC. 2012;12:51-54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18819458> (In Russ.)
21. Peakall, R. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel // Population genetic software for teaching and research update / R. Peakall, P. E. Smouse // Bioinformatics. 2012;28:2537-2539. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22820204/>
22. Chang, C. C. Second-generation PLINK: Rising to the challenge of larger and richer datasets / C. C. Chang, C. C. Chow, L. Tellier et al. // GigaScience. 2015;4(7). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25722852/>
23. Zhang, L. cgaTOH: Extended approach for identifying tracts of homozygosity / L. Zhang, M.S. Orloff, S. Reber S. et al. // PLoS ONE. 2013;8(3):e57772. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0057772>
24. Purfield, C. Runs of homozygosity and population history in cattle / C. Purfield, D. Berry, S. McParland S. et al. // BMC Genet-ics. 2012;13(70). URL: <https://bmcbgenomdata.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2156-13-70>
25. Smaragdov, M.G. Full genome inbreeding assessment of dairy cattle / M.G. Smaragdov, A.A. Kudinov // Achievements of Science and Technology of AIC. 2019;33(6):51-53/ – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10612. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39179451> (In Russ.)
26. Erokhin, A.I. Inbreeding and selection of animals / A.I. Erokhin, A.P. Soldatova, A.I. Filatov. – Moscow: Agropromizdat, 1985:157. URL: https://rusneb.ru/catalog/002744_000053_RU__%D0%93%D0%9F%D0%9D%D0%A2%D0%91+%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_KNB_IBIS_45.3_%D0%9577-867639/ (In Russ.)
27. Kobzar, A. I. Applied Mathematical Statistics / A. I. Kobzar. – Moscow: Fizmatlit, 2006:816. URL: <https://www.klex.ru/1oe4> (In Russ.)
28. Yudenkov, V.A. Dispersion analysis / V.A. Yudenkov. – Minsk: Businessoffset, 2013:76. URL: https://www.studmed.ru/yudenkov-v-a-dispersionnyy-analiz_9180460d1ff.html (In Russ.)

УДК: 619:618.3-06:616.155.164:615.038:636.2
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.396

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕННОГО СТИМУЛЯТОРА И ЦИТОКИНОВ НА ИММУНОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС СТЕЛЬНЫХ КОРОВ С ЭКСТРАГЕНИТАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ (АНЕМИЯ)

Паршин П.А. – д-р ветеринар. наук, проф., директор (ORCID 0000-0002-8790-0540); Бригадиров Ю.Н. – д-р ветеринар. наук, гл. науч. сотр. отдела экспериментальной фармакологии и функционирования живых систем (ORCID 0000-0003-3804-1732); Шапошников И.Т. – д-р биол. наук, гл. науч. сотр. отдела экспериментальной фармакологии и функционирования живых систем (ORCID 0000-0003-0190-9083); Жуков М.С. – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. отдела экспериментальной фармакологии и функционирования живых систем (ORCID 0000-0002-9317-7344)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии»

*maxim.zhukoff2015@yandex.ru

Ключевые слова: коровы, беременность, анемия, биогенный стимулятор, ГМ-КСФ, интерфероны, вакцинация, иммунитет

Keywords: cows, pregnancy, anemia, biogenic stimulant, GM-CSF, interferons, vaccination, immunity

Поступила: 10.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Целью эксперимента стало изучение эффективности вакцинации глубокостельных коров с анемией против вирусных инфекций на фоне применения биогенных стимуляторов и цитокинов их влияние на иммунный статус. В исследовании были задействованы коровы (n=25) краснопестрой породы в третьем триместре беременности, здоровые и с диагнозом анемия. Животным с анемией применяли биогенный стимулятор на основе гидрофильной криофракции селезенки (BoHCFS) и его сочетание с цитокинами (BoGM-CSF, BoIFN- α , BoIFN- λ). Препараты вводили внутримышечно трехкратно с интервалом 48 часов. Введение вышеуказанных фармакологических средств осуществлялось за 1 неделю до повторного введения вакцины «ХИПРАБОВИС 4», которая применялась за 60 и 30 дней до планируемой даты отела коров. Установлено, что у животных с анемией сохраняется уровень нейтрофилов способных к фагоцитозу, но снижается их поглотительная и переваривающая способность. Также у них снижается активность системы комплемента и количество В-лимфоцитов. В дальнейшем, во время беременности, отмеченные негативные изменения в работе иммунной системы не только сохраняются, но и усиливаются.

Применение препарата на основе ВоHCFS усиливало спонтанный и стимулированный НСТ-тест на 41,2 и 13,0%, повышало значения фагоцитарного числа и индекса на 11,1 и 10,4% и количество Т- и В-лимфоцитов на 43 и 70,2% соответственно. Всё это отразилось на уровне общих иммуноглобулинов и бактерицидной активности сыворотки крови, которые возросли на 15,4 и 5,1% соответственно. В результате большинство показателей достигало значений здоровых животных, но уровень фагоцитарной активности нейтрофилов, лизоцимной активности сыворотки крови был всё ещё ниже. Комбинирование ВоHCFS с ВоGM-CSF, ВоIFN- α и ВоIFN- λ позволило полностью нейтрализовать негативные эффекты беременности и анемии на иммунную систему и повысить эффективность вакцинации глубокостельных коров.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Беременность представляет собой сложный процесс взаимодействия нейро-эндокринной и иммунной системы матери, необходимый для формирования растущего плода. При этом перед иммунной системой стоит уникальная задача, которая состоит в принятии полуаллогенного плода и сохранении иммунитета против инфекционных агентов. Однако в условиях интенсивного ведения скотоводства при воздействии биогенных и абиогенных факторов у коров часто развиваются иммунодефицитные состояния. Ранее проведенные нами исследования показали, что у коров, не зависимо от клинического состояния, начиная с 210-220 дня стельности, наступает критический период, характеризующийся подавлением клеточного и гуморального иммунитета, а также дисбалансом между провоспалительными и противовоспалительными цитокинами у животных с сопутствующей патологией, что создаёт риски осложнения беременности [7]. Одной из таких часто встречающихся экстрагенитальных патологий является анемия [13]. Было показано, что у коров с анемией, наблюдающейся во время беременности, в послеродовой период увеличивался сервис-период и повышался риск выбытия.

Ослабленная иммунная система и низкий уровень неспецифической резистентности под влиянием различных неблагоприятных факторов не в состоянии противостоять вирусам, бактериям и грибам, даже невысокой патогенности. Поэтому в настоящее время, наряду с совершенствованием технологии кормления и содержания животных, актуальной задачей является повышение неспецифической рези-

стентности и специфического иммунитета животных с применением иммунокорректоров широкого спектра действия [3, 4 11]. Также не менее важный интерес представляет изучение взаимодействия неспецифических механизмов защиты животных с экстрагенитальной патологией при проведении вакцинации. Знание его закономерностей позволит вносить коррективы в сроки профилактических вакцинаций для достижения более напряженного иммунитета против инфекционных болезней животных [5, 12].

Поэтому целью эксперимента стало изучение эффективности вакцинации глубокостельных коров с анемией против вирусных инфекций на фоне применения биогенных стимуляторов и цитокинов их влияние на иммунный статус.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены в условиях молочного комплекса, расположенного на территории Воронежской области. В опыте были задействованы коровы ($n=25$) красно-пестрой породы в третьем триместре беременности, которых разделили на 5 групп: контрольная ($n=5$) – клинически здоровые коровы, отрицательный контроль ($n=5$) – коровы с основным клиническим диагнозом анемия, которым препараты не применялись, и 3 опытные группы. Диагноз ставился при выявлении уровня эритроцитарных показателей ниже минимальной границы референсного диапазона: для гемоглобина менее 90 г/л, среднего содержания гемоглобина в эритроците ниже 16,8 пг и среднего объема эритроцита ниже 49,5 мкм³ [9].

В первую опытную групп вошли коровы ($n=5$) с основным клиническим диа-

гнозом анемия, которым вводили биогенный стимулятор на основе гидрофильной криофракции селезенки крупного рогатого скота (BoHCFS) внутримышечно в дозе 10 мл/гол трехкратно с интервалом в 48 часов. Во вторую опытную группу вошли коровы (n=5) с основным клиническим диагнозом анемия, которым вводили биогенный стимулятор на основе BoHCFS в дозе 10 мл/гол и бычий рекомбинантный гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор (BoGM-CSF) в дозе 10 мл/гол. Препараты вводили внутримышечно трехкратно с интервалом 48 часов. В третью опытную группу вошли коровы (n=5) с основным клиническим диагнозом анемия, которым вводили сочетание BoHCFS с бычьими рекомбинантными интерферонами α (BoIFN- α) и λ (BoIFN- λ) в дозе 10 мл/гол, а также BoGM-CSF в дозе 10 мл/гол. Препараты вводили внутримышечно трехкратно с интервалом 48 часов. Введение вышеуказанных фармакологических средств осуществлялось за 1 неделю до повторного введения вакцины «ХИПРАБОВИС 4» (Laboratorios Hipra, S.A., Испания), которая применялась за 60 и 30 дней до планируемой даты отела коров. В это время коровы находились в цехе сухостоя на беспривязном содержании и получали сбалансированный рацион, соответствующий по питательности их физиологическому состоянию.

Перед введением препаратов и через 7 дней после последнего введения у коров отбирали образцы крови из каудальной хвостовой вены для проведения иммунологических исследований. В крови определяли показатели клеточного и гуморального иммунитета: лизоцимная и бактерицидная активность сыворотки крови, комплементарная активность сыворотки крови, фагоцитарная активность нейтрофилов, НСТ-тест, Т и В-лимфоциты, общие иммуноглобулины. Их определение осуществлялось с помощью методик, изложенных в методических рекомендациях по оценке и коррекции неспецифической резистентности животных [10].

Полученный цифровой материал под-

вергали статистической обработке с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica v 6.1. Рассчитывали среднюю арифметическую (М) и ошибку средней (SE). Для определения достоверности различия между исследуемыми группами использовали U-критерий Манна-Уитни с уровнем доверительного интервала 95%.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Проведенные исследования показали, что у коров с анемией количество Т-лимфоцитов не имело достоверного отличия с группой контроля, но у них было ниже среднее значение В-лимфоцитов на 36,4% ($0,56 \pm 0,06 \cdot 10^9/\text{л}$). Фагоцитарная активность нейтрофилов также достоверно не отличалась, но их функциональные возможности были снижены, что выражалось в уменьшении среднего значения фагоцитарного числа ($3,7 \pm 0,15$ ед) и фагоцитарного индекса ($4,9 \pm 0,21$) на 9,8 и 9,3% соответственно. Показатели лизоцимной активности сыворотки крови ($1,63 \pm 0,04$ мкг/мл), спонтанного ($14,1 \pm 0,93\%$) и стимулированного ($36,5 \pm 1,58\%$) НСТ-теста при этом не имели отличия от значений группы сравнения, а активность системы комплемента имела тенденцию к снижению. Это выражалось в более низком значении показателя комплементарной активности сыворотке крови ($11,4 \pm 0,70\%$) на 14,9%. При этом необходимо отметить, что существующий уровень иммуноглобулинов ($35,3 \pm 5,59$ мг/мл) в сыворотке крови этих животных не имел достоверного различия с контрольной группой, но бактерицидная активность ($82,1 \pm 1,15\%$) была ниже на 8,5%.

Дальнейшее исследование показало, что отмеченные негативные особенности работы иммунной системы у животных из группы отрицательного контроля сохранялись, а некоторые усиливались в процессе беременности. Например, уровень значений фагоцитарного числа, фагоцитарного индекса, стимулированного НСТ-теста и количества В-лимфоцитов снизился на 18,9, 16,3, 6,2 и 13,6% соответственно. При этом значения БАСК и количе-

ство общих иммуноглобулинов достоверно не изменялись. В тоже время применение препарата на основе BoHCFS способствовало усилению активности клеточного иммунитета, которое проявлялось в увеличении показателей спонтанного и стимулированного НСТ-теста на 41,2 и 13,0% соответственно. Уровень значений фагоцитарного числа и индекса при этом также возрастал на 11,1 и 10,4% соответственно от изначального уровня. Показатель комплементарной активности сыворотки крови при этом не увеличивался, но уровень Т- и В-лимфоцитов возрастал на 43,0 и 70,2% соответственно. Все это отразилось на уровне общих иммуноглобулинов и бактерицидной активности сыворотки крови, которые возросли на 15,4 и 5,1% соответственно. В сравнении с отрицательным контролем данные показатели были выше на 16,7 и 6,8% соответственно. Сравнение вышеупомянутых показателей со значениями животных из группы контроля показало, что большинство из них не имело достоверного отличия. Исключением были значения фагоцитарной активности нейтрофилов, лизоцимной активности сыворотки крови, спонтанного НСТ-теста и количества В-лимфоцитов. Первые два показателя были ниже на 5,7 и 5,9%, а вторые выше на 29,7 и 32,9% соответственно (табл. 1).

Применение BoHCFS в сочетании с BoGM-CSF увеличивало уровень значений спонтанного и стимулированного НСТ-теста на 31,1 и 12,4% соответственно и способности нейтрофилов к фагоцитозу на 6,9%. Также у данной группы животных наблюдалось увеличение количества Т- и В-лимфоцитов на 30,3 и 81,5% соответственно от исходного уровня. В результате эти изменения отразились на уровне бактерицидной активности сыворотки крови и количестве общих иммуноглобулинов в ней, которые возросли на 8,0 и 10,9% соответственно. В сравнении с отрицательным контролем данные показатели были выше на 10,4 и 10,3% соответственно.

Сравнение вышеупомянутых показателей со значениями животных из группы

контроля показало, что большинство из них не имело достоверного отличия. Исключением были значения лизоцимной активности сыворотки крови, спонтанного НСТ-теста и количества Т- и В-лимфоцитов. Первый показатель был ниже на 8,2%, а остальные были выше на 31,1, 9,4 и 34,2% соответственно.

Применение BoHCFS в сочетании с BoGM-CSF, BoIFN- α и BoIFN- λ увеличивало показатели спонтанного и стимулированного НСТ-теста на 47,2 и 15,2%, а ФЧ и ФИ на 17,1 и 17,4% соответственно относительно исходного уровня. В тоже время у животных из данной группы наблюдалось увеличение количества Т- и В-лимфоцитов на 39,3 и 62,3% соответственно. В результате всё это отразилось на уровне бактерицидной активности сыворотки крови и количестве общих иммуноглобулинов, которые увеличились на 9,8 и 23,4% соответственно. В сравнении с группой отрицательного контроля данные показатели были выше на 11,0 и 13,1% соответственно. Сравнение вышеупомянутых показателей со значениями животных из группы контроля показало, что большинство из них не имело достоверного отличия. Исключение составили результаты спонтанного НСТ-теста и показатели Т- и В-лимфоцитов, значения которых были выше контроля на 43,2, 7,7 и 17,8% соответственно.

Исследование воспроизводственных индикаторов коров показал, что в контрольной группе первое осеменение проходило в среднем через 72 дня после отёла, при этом стельность наступала в 60% случаев, а коэффициент оплодотворения составлял 1,4. Сервис-период у данной группы в среднем составлял $82,2 \pm 11,75$ дня. В группе отрицательного контроля данный показатель был в 2,1 раза выше. Также отмечалось увеличения срока первичных осеменений и коэффициента оплодотворяемости на 40,8 и 71,4%. Также необходимо отметить, что ни одна корова не была стельной после первого осеменения. В первой опытной группе применение BoHCFS достоверно снижало сроки первичных осеменений и сервис-

периода на 32,5 и 38,4% соответственно. Однако стоит обратить внимание, что, несмотря на то, что срок сервис-периода снизился его значения все же были выше группы контроля на 29,0%, а коэффициент оплодотворения был выше на 64,3%. Во второй опытной группе были отмечены аналогичные тенденции. Сочетанное применение BoHCFS и BoGM-CSF снизило длительность сервис-периода на 22,1%, но он был выше значений контроля на 63,0%. Показатель стельности по первичным осеменениям и коэффициент оплодотворения при этом не изменился. В опытной группе 3 сочетанное применение BoHCFS, BoGM-CSF и интерферонов α и λ сократило сроки первичных осеменений и сервис-периода на 31,4% и 46,7% соответственно, в результате чего данные показатели не имели достоверного отличия с уровнем контрольной группы. При этом стельность по первичным осеменениям составила 40,0%, а коэффициент оплодотворения равнялся 1,6.

Таким образом, проведенные исследования показали, что иммунная система коров с анемией в третьем триместре беременности характеризуется, сохраняем уровня нейтрофилов способных к фагоцитозу, но снижением их поглотительной и переваривающей способности. Все это наблюдается на фоне снижения активности системы комплемента и количества В-лимфоцитов. Одной из причин таких изменений является усиление процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), интенсивность которых усиливается с начала третьего триместра беременности [1]. В данных процессах особое место занимает молекулярный кислород, принимающий участие в оксидативных и оксигенных реакциях окисления. В результате развития анемии, снижается оксигенация, что приводит к еще большему накоплению продуктов ПОЛ. Исследования, проведенные группой ученых во главе с Неждановым А.Г., показали, что у беременных коров с экстрагенитальной патологией в виде гестоза также наблюдается активизация процессов свободнорадикального окисления, которая провоцирует

изменение гормонального статуса. В частности у коров отмечалось снижение таких гормонов, как прогестерон и эстрадиол-17 β [6]. В настоящее время известно, что эти гормоны сложным образом модулируют активность нейтрофилов. Эстрадиол в супрафизиологических концентрациях способствует образованию нейтрофильных внеклеточных ловушек, а прогестерон действует как антагонист, снижая кислородзависимую бактерицидную функцию нейтрофилов и препятствует развитию нетоза [2, 14]. Также в исследованиях показано, что он ингибирует клетки Th1 и Th17, и может вызывать селективную гибель Т-клеток [8, 15]. Тем самым у коров во время беременности имеется предрасположенность к развитию иммунодефицитного состояния, которая усиливается в течение беременности. Экстрагенитальные патологии при этом только усугубляют эту тенденцию. В свою очередь применение биогенного стимулятора на основе BoHCFS снижало выраженность суммарного негативного эффекта беременности и экстрагенитальной патологии на иммунную систему коров. Это проявлялось в выраженном усилении дифференциации лимфоцитов, НАДФ-Н-оксидазной антибактериальной системы нейтрофилов и иммунного ответа на введение вакцины. Необходимо отметить, что у животных сохранялась недостаточность в фагоцитарной активности нейтрофилов, в системе комплемента и лизоцима. Однако комбинирование биогенного стимулятора с BoGM-CSF позволило убрать недостаточность фагоцитарной активности нейтрофилов, но низкое образование лизоцима при этом сохранилось. Добавление к вышеуказанной композиции BoIFN- α и λ полностью нейтрализовывало негативные эффекты беременности и экстрагенитальной патологии, оказываемые на иммунную систему коров в третьем триместре беременности.

Таблица 1 – Иммунологические показатели коров с анемией в третьем триместре беременности на фоне применения биогенного стимулятора и цитокинов

Показатель	Результаты	Контроль	Отрицатель- ный контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Т-лимфоциты, 10^9 /л	до	1,47±0,21	1,46±0,073	1,28±0,09	1,52±0,17	1,40±0,15
	после	1,81±0,03	1,51±0,058*	1,83±0,20	1,98±0,07*♦	1,95±0,10*♦
В-лимфоциты, 10^9 /л	до	0,88±0,14	0,59±0,050*	0,57±0,08*	0,54±0,03*	0,53±0,07*
	после	0,73±0,02	0,51±0,061*	0,97±0,14*♦	0,98±0,08*♦	0,86±0,03*♦
ФАН, %	до	76,7±0,73	76,0±0,28	76,8±1,20	75,6±1,93	76,0±1,41
	после	79,3±0,17	76,3±0,70*	74,8±1,02*	80,8±4,23	78,6±0,87♦
ФЧ, ед	до	4,1±0,03	3,7±0,13*	3,6±0,21*	4,1±0,16*	3,5±0,11*
	после	4,2±0,01	3,0±0,24*	4,0±0,18♦	4,2±0,14♦	4,1±0,12♦
ФИ, ед	до	5,4±0,02	4,9±0,17*	4,8±0,25*	5,4±0,24	4,6±0,16*
	после	5,2±0,01	4,1±0,33*	5,3±0,18♦	5,3±0,15♦	5,4±0,16♦
сп НСТ, %	до	14,6±0,35	13,6±0,98	13,6±0,98	14,8±1,02	14,4±0,75
	после	14,8±1,20	14,0±0,53	19,2±1,50*♦	19,4±0,75*♦	21,2±1,62*♦
ст НСТ, %	до	36,8±0,35	36,8±1,49	36,8±1,36	35,6±1,72	36,8±1,74
	после	42,9±0,59	34,5±0,91*	41,6±0,75♦	40,0±1,10♦	42,4±1,33♦
ЛАСК, мкг/мл	до	1,62±0,093	1,64±0,036	1,66±0,04	1,62±0,06	1,60±0,03
	после	1,70±0,006	1,59±0,037*	1,60±0,019*	1,56±0,022*	1,67±0,064
КАСК, %	до	13,4±1,04	8,5±1,13	12,5±0,60	11,6±0,57	12,9±0,51
	после	9,0±0,23	8,3±0,86	7,5±0,57	9,6±1,49	8,4±0,78
БАСК, %	до	89,7±1,39	80,9±1,78*	82,4±1,20*	82,9±0,74*	82,0±0,87*
	после	85,3±2,95	81,1±1,34	86,6±0,33♦	89,5±0,24♦	90,0±0,14♦
Общ. Ig, мг/мл	до	32,2±2,67	36,1±2,72	36,3±7,80	35,7±2,23	32,9±9,59
	после	38,3±3,27	35,9±2,05	41,9±3,77	39,6±5,66	40,6±1,71♦

Примечание: * – $P < 0,05$ в сравнении с контролем; ♦ – $P < 0,05$ в сравнении с отрицательным контролем.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведённые исследования показали, что у коров в третьем триместре беременности на фоне экстрагенитальной патологии в виде анемии наблюдается уменьшение активности системы комплемента и количества В-лимфоцитов, а также снижение поглотительной и переваривающей способности фагоцитов. Применение биогенного стимулятора на основе BoHCFS отдельно и в сочетании с цитокинами (BoGM-CSF, BoIFN- α и λ BoIFN- λ) могут быть использованы для коррекции иммунных нарушений у коров с анемией в период беременности для повышения эффективности их вакцинации.

THE EFFECT OF THE USE OF A BIOGENIC STIMULANT AND CYTOKINES ON THE IMMUNOLOGICAL STATUS OF PREGNANT COWS WITH EXTRAGENITAL PATHOLOGY (ANEMIA)

Parshin P.A. – doctor of veterinary sciences, professor, director (ORCID 0000-0002-8790-0540); **Brigadirov Yu.N.** – doctor of veterinary sciences, chief scientific officer. sotr. department of experimental pharmacology and functioning of living systems (ORCID 0000-0003-3804-1732); **Shaposhnikov I.T.** – doctor of biological sciences, chief scientific officer. sotr. department of experimental pharmacology and functioning of living systems (ORCID 0000-0003-0190-9083); **Zhukov M.S.*** – cand. veterinarian. sciences, art. sci. sotr. department of experimental pharmacology and functioning of living systems (ORCID 0000-0002-9317-7344)

All-Russian Scientific Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy

*maxim.zhukoff2015@yandex.ru

ABSTRACT

The aim of the experiment was to study the effectiveness of vaccination of deep-wall cows with anemia against viral infection against the background of the use of biogenic stimulants and cytokines, their effect on the immune status. The study involved cows

(n=25) of red-mottled breed in the third trimester of pregnancy, healthy and diagnosed with anemia. Animals with anemia were treated with a biogenic stimulator based on hydrophilic cryofraction of the spleen (BoHCFS) and its combination with cytokines (BoGM-CSF, BoIFN- α , BoIFN- λ). The drugs were administered intramuscularly three times with an interval of 48 hours. The introduction of the above –mentioned pharmacological agents was carried out 1 week before the re-introduction of the «HIPRABOVIS 4» vaccine, which was used 60 and 30 days before the planned calving date of the cows. It has been established that in animals with anemia, the level of neutrophils capable of phagocytosis remains, but their absorption and digesting ability decreases. They also have a decrease in the activity of the complement system and the number of B-lymphocytes. Later, during pregnancy, the noted negative changes in the immune system not only persist, but also intensify. The use the BoHCFS-based drug enhanced the spontaneous and stimulated NBT test by 41.2 and 13.0%, increased the phagocytic number and index by 11.1 and 10.4%, and the number of T and B lymphocytes by 43 and 70.2%, respectively. All this was reflected in the level of total immunoglobulines and bactericidal activity of blood serum, which increased by 15.4 and 5.1% respectively. As a result, most of the indicators reached the values of healthy animals, but the level of phagocytic activity of neutrophils and lysozyme activity of blood serum was still lower. The combination of BoHCFS with BoGM-CSF, BoIFN- α and BoIFN- λ made it possible to completely neutralize the system and increase the effectiveness of vaccination of deep-bed cows.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Востроилова Г.А., Паршин П.А., Жуков М.С., Хохлова Н.А., Шабанов Д.И., Корчагина А.А. Состояние прооксидантно-антиоксидантной системы у коров с различным клиническим статусом во время беременности. *Международный вестник ветеринарии*. 2023; 2: 301-311. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.2.301. URL:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54145567>

2. Долгушин И.И., Смирнова Т.Г., Савочкина А.Ю., Шишкова Ю.С., Долгушина В.Ф., Курносенко И.В. Влияние прогестерона на фагоцитарную активность, кислород-зависимые бактерицидные свойства нейтрофилов и их способность формировать внеклеточные ловушки. Иммунология. 2012; 5: 243-246. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-progesterona-na-fagotsitarnuyu-kislorod-zavisimuyu-bakteritsidnuyu-funktsii-neytrofilov-i-ih-sposobnost-obrazovyvat/viewer>
3. Ефанова Л.И., Саидуллин Э.Т. Защитные механизмы организма, иммунодиагностика и иммунопрофилактика инфекционных болезней животных: Монография. Воронеж, 2004; 391 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25783745>
4. Концевая Н.Н., Соболева Г.Л., Непоклонова И.В., Алипер Т.И. Инактивированные комбинированные вакцины для профилактики инфекционных аборт коров. Ветеринария. 2013; 11: 10-16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20502292>
5. Мануйлов А.В. Влияние вакцинопрофилактики инфекционных болезней на воспроизводительную функцию коров: Дис. ... канд. вет. наук. Воронеж, 2004; 148 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/vliyanie-vaktsinoprofilaktiki-infektsionnykh-boleznei-na-vosproizvoditelnuyu-funktsiyu-korov>
6. Нежданов А.Г., Сафонов В.А., Венцова И.Ю., Лободин К.А. Патогенетическое значение окислительного стресса в развитии патологии беременности и послеродовых метра-овариопатий у молочных коров. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016; 51 (4): 61-68. doi: 10.17238/issn2071-2243.2016.4.61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28278501>
7. Паршин П.А., Востроилова Г.А., Бригадиров Ю.Н., Шапошников И.Т., Жуков М.С., Сашнина Л.Ю., Акулова К.О., Якимчук О.В. Иммунный статус коров с разным сроком беременности и в ранний

- послеродовой период. Ветеринарный фармакологический вестник. 2023; 24 (3): 65-80. doi: 10.17238/issn2541-8203.2023.3.65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54492986>
8. Пузикова О.З., Чурюкина Э.В., Московкина А.В., Гафиятуллина Г.Ш., Харитонов М.В., Амамчян А.Э., Кравченко Л.В. Роль половых гормонов в регуляции врожденного иммунитета. РМЖ. Медицинское обозрение. 2025; 9 (2): 119-124. doi: 10.32364/2587-6821-2025-9-2-4. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82401976>
9. Шахов А.Г., Алехин Ю.Н., Шабунин С.В., Сашнина Л.Ю., Федосов Д.В., Ерина Т.А., Пригородова О.В., Сидельникова И.Р., Голубцов А.В. Методическое пособие по диагностике и профилактике нарушений антенатального и интранатального происхождения у телят. Воронеж: Истоки, 2013; 92 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21372371>
10. Шахов А.Г., Бригадиров Ю.Н., Ануфриев А.И., Масьянов Ю.Н., Рецкий М.И., Бузлама В.С., Беляев В.И., Бирюков М.В., Кардашов А.М., Петрова М.Г., Батищева Е.В., Матюшевский Л.А., Федоров Ю.Н., Аргунов М.Н., Панин А.Н., Макаров Ю.А., Калужный И.И., Донник И.М., Татарчук А.Т., Горлов И.Ф., Балакирев А.А., Майоров А.И., Емельяненко П.А., Кирилов А.К., Майоров М.А., Горячев А.А., Евдокимов В.В., Воронин Е.С., Мамаев Н.Х., Джамулудинова И.Н., Сисягин П.Н, Исаев В.В., Реджепова Г.Р., Горбунов А.П., Бояринцев Л.Е., Клименко В.В., Топурия Л.Ю. Жуков А.П., Топурия Г.М. Методические рекомендации по оценке и коррекции неспецифической резистентности животных. Воронеж: Истоки, 2005; 62 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23853602>
11. Шкуратова И.А., Верещак Н.А., Ряпосова М.В., Бородова О.С. Коррекция иммунного статуса у высокопродуктивных коров. Ветеринария. 2008; 2: 11-12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ilhijl>
12. Шкуратова И.А., Донник И.М., Исаева А.Г., Кривоногова А.С., Мусихина Н.Б., Петрова О.Г. Действие причинного

фактора на возникновение у стельных высокопродуктивных коров иммунобиологической толерантности на введение вакцины против ОРВИ. Аграрное образование и наука. 2013; 1: С. 6. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21174270>

13. Alekhin Y, Zhukov M, Morgunova V, Dronova Y. The effect of the red blood cell system disorders on the further development and productivity of holstein calves that had had bronchopneumonia. Veterinarski Arhiv. 2021; 91(5): 473-481. doi: 10.24099/VET.ARHIV.1079. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48131883>

14. Giaglis S, Stoikou M, Sur Chowdhury C, Schaefer G, Grimolizzi F, Rossi SW, Hoesli IM, Lapaire O, Hasler P, Hahn S. Multimodal Regulation of NET Formation in Pregnancy: Progesterone Antagonizes the Pro-NETotic Effect of Estrogen and G-CSF. Front Immunol. 2016; 7: 565. doi: 10.3389/fimmu.2016.00565. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27994595/>

15. Shah N.M., Lai P.F., Imami N., Johnson M.R. Progesterone-related immune modulation of pregnancy and labor. Frontiers in Endocrinology. 2019; 10: 198. doi: 10.3389/fendo.2019.00198. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30984115/>

REFERENCES

1. Vostroilova G.A., Parshin P.A., Zhukov M.S., Khokhlova N.A., Shabanov D.I., Korchagina A.A. The state of the prooxidant-antioxidant system in cows with different clinical conditions during pregnancy. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2023; 2: 301-311. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.2.301. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54145567>

2. Dolgushin I.I., Smirnova T.G., Savochkina A.Y., Shishkova Yu.S., Dolgushina V.F., Kurnosenko I.V. Effect of progesterone on the phagocytic, oxygen dependent bactericidal neutrophil function and their ability to form extracellular traps. Immunologiya. 2012; 5: 243-246. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-progesterona-na-fagotsitarnuyu-kislorodzavisimuyu-bakteritsidnuyu-funktsii>

-neytrofilov-i-ih-sposobnost-obrazovyyvat/viewer

3. Efanova L.I., Saidullin E.T. Protective mechanisms of the body, immunodiagnostics and immunoprophylaxis of infectious diseases in animals: Monograph. Voronezh, 2004; 391 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25783745>

4. Kontsevaya N.N., Soboleva G.L., Nepoklonova I.V., Aliper T.I. Inactivated combined vaccines for prevention infectious abortion of cows. Veterinary medicine. 2013; 11: 10-16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20502292>

5. Manuylov A.V. Influence of Vaccination against Infectious Diseases on the Reproductive Function of Cows: Dis. ... Cand. Vet. Sci. Voronezh, 2004; 148 p. URL: <https://www.dissercat.com/content/vliyanie-vaksinoprofilaktiki-infektsionnykh-boleznei-na-vozproizvoditelnuyu-funktsiyu-korov>

6. Nezhdanov A.G., Safonov V.A., Ventsova I.Yu., Lobodin K.A. Pathogenetic value of oxidative stress in the manifestation of gestation pathologies and postnatal metroriopathies in dairy cows. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2016; 51 (4): 61-68. doi: 10.17238/issn2071-2243.2016.4.61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28278501>

7. Parshin P.A., Vostroilova G.A., Brigadirov Yu.N., Shaposhnikov I.T., Zhukov M.S., Sashnina L.Yu., Akulova K.O., Yakimchuk O.V. Immune status of cows with various duration of gestation and in the early postpartum period. Bulletin of Veterinary Pharmacology. 2023; 24 (3): 65-80. doi: 10.17238/issn2541-8203.2023.3.65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54492986>

8. Puzikova O.Z., Churyukina E.V., Moskovkina A.V., Gafiyatullina G.SH., Kharitonova M.V., Amamchyan A.E., Kravchenko L.V. Sex hormone role in the regulation of innate immunity. Russian Medical Inquiry. 2025; 9 (2): 119-124. doi: 10.32364/2587-6821-2025-9-2-4. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82401976>

9. Shakhov A.G., Alekhin Yu.N., Shabunin S.V., Sashnina L.Yu., Fedosov D.V., Erina

- T.A., Prigorodova O.V., Sidelnikova I.R., Golubtsov A.V. Methodological Guide on Diagnostics and Prevention of Antenatal and Intrapartal Disorders in Calves. Voronezh: Istoki, 2013; 92 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21372371>
10. Shakhov A.G., Brigadirov Yu.N., Anufriev A.I., Masyanov Yu.N., Retsky M.I., Buzlama V.S., Belyaev V.I., Biryukov M.V., Kardashov A.M., Petrova M.G., Batishcheva E.V., Matyushevsky L.A., Fedorov Yu.N., Argunov M.N., Panin A.N., Makarov Yu.A., Kalyuzhny I.I., Donnik I.M., Tatarchuk A.T., Gorlov I.F., Balakirev A.A., Mayorov A.I., Emelianenko P.A., Kirilov A.K., Mayorov M.A., Goryachev A.A., Evdokimov V.V., Voronin E.S., Mamaev N.H., Dzhamuludinova I.N., Sisyagin P.N., Isaev V.V., Redzhepova G.R., Gorbunov A.P., Boyarintsev L.E., Klimenko V.V., Topuria L.Y. Zhukov A.P., Topuria G.M. Methodological recommendations for the assessment and correction of nonspecific resistance in animals. Voronezh: Istoki, 2005; 62 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23853602>
11. Shkuratova I.A., Vereshchak N.A., Ryaposova M.V., Borodova O.S. Correction of immune status in high-yielding cows. Veterinary Medicine. 2008; 2: 11-12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ilhijl>
12. Shkuratova I.A., Donnik I.M., Isaeva A.G., Krivonogova A.S., Musikhina N.B., Petrova O.G. The effect of the causative factor on the development of immunobiological tolerance in pregnant high-yielding cows to the administration of an ARVI vaccine. Agrarian education and science. 2013; 1: C. 6. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21174270>
13. Alekhin Y, Zhukov M, Morgunova V, Dronova Y. The effect of the red blood cell system disorders on the further development and productivity of holstein calves that had had bronchopneumonia. Veterinarski Arhiv. 2021; 91(5): 473-481. doi: 10.24099/VET.ARHIV.1079. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48131883>
14. Giaglis S, Stoikou M, Sur Chowdhury C, Schaefer G, Grimolizzi F, Rossi SW, Hoesli IM, Lapaire O, Hasler P, Hahn S. Multimodal Regulation of NET Formation in Pregnancy: Progesterone Antagonizes the Pro-NETotic Effect of Estrogen and G-CSF. Front Immunol. 2016; 7: 565. doi: 10.3389/fimmu.2016.00565. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27994595/>
15. Shah N.M., Lai P.F., Imami N., Johnson M.R. Progesterone-related immune modulation of pregnancy and labor. Frontiers in Endocrinology. 2019; 10: 198. doi: 10.3389/fendo.2019.00198. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30984115/>

УДК: 636.034:636.082

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.406

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПО ГЕНУ ГРЕЛИН (*GHRL*)

Сафина Н.Ю.* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-1184-3188); Крупин Е.О. – д-р ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-8086-1788); Гайнутдинова Э.Р. – асп., науч. сотр. (ORCID 0000-0002-2970-1500).

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
ФИЦ КазНИЦ РАН

*natysafina@gmail.com

Ключевые слова: крупный рогатый скот, грелин, *GHRL*, ген, аллель, биоразнообразие, *SNP* (однонуклеотидный полиморфизм).

Key words: cattle, ghrelin, *GHRL*, gene, allele, biodiversity, *SNP* (single nucleotide polymorphism).

Финансирование: * Работа выполнена по государственному заданию: «Совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиоценозов и агроэкосистем для производства экологической и функциональной продукции. Номер регистрации: 125031003428-9».

Поступила: 11.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Целью настоящего исследования являлась оценка популяционно-генетической структуры и параметров генетического биоразнообразия по полиморфному локусу *g.4491A>G* (*A375G*) гена *GHRL* крупного рогатого скота татарстанского типа холмогорской породы. Грелин, кодируемый геном *GHRL*, играет ключевую роль в регуляции аппетита, энергетического обмена, роста и молочной продуктивности, что делает его перспективным маркером для селекции. Материалом для ДНК-тестирования послужили образцы крови 91 коровы. Генотипирование проводили методом ПЦР-ПДРФ с использованием эндонуклеазы рестрикции *BstKI* I. В результате были идентифицированы три генотипа: AA (9,9%), GA (52,7%) и GG (37,4%). Аллель A имел частоту 0,363, а аллель G – 0,637. Популяционно-генетический анализ показал, что изучаемое поголовье находится в состоянии генетического равновесия Харди-Вайнберга, наблюдается преобладание гетерозиготных генотипов, а мера информационного полиморфизма характеризует locus как умеренно полиморфный и информативный для селекционных программ. Проведенный сравнительный анализ с литературными данными выявил значительную межпородную и географическую вариабельность частот гена *GHRL*. Полученные результаты подчеркивают важность учета генетической специфики локальных пород и подтверждают потенциал использования полиморфизма гена *GHRL* в качестве молекулярно-генетического маркера для повышения эффективности селекции крупного рогатого скота. Исследование выполнено в рамках государственного задания, регистрационный номер 125031003428-9.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Гены, регулирующие метаболизм, энергетический обмен и аппетит, играют ключевую роль в физиологии и продуктивности сельскохозяйственных животных. К примеру, ген *LEP* (лептин) контролирует энергетический баланс и отложение жира, влияя на аппетит и регуляцию массы тела [1]. Ген *MC4R* (меланокортиновый рецептор 4) является важным регулятором пищевого поведения и энергетического расхода, а мутации в нем связаны с изменениями в потреблении корма и продуктивности [2]. Изучение этих и других связанных генов позволяет повышать эффективность селекции и улучшать продуктивные характеристики скота с учетом генетической основы обмена веществ и кормового поведения.

В классическом исследовании структуры гена *GHRL* (Colinet et al., 2009) было показано, что он кодирует препрогрелин, состоящий из 116 аминокислот, который включает в себя пептид грелин и другой пептид, похожий на обестатин. Грелин выполняет ключевые функции в организме млекопитающих. Во-первых, он стимулирует секрецию гормона роста (ГН). *GHRL* связывается с рецептором гормона роста (*GHS-R*), «запуская» его секрецию, что приводит к высвобождению ГН из гипофиза, тем самым иницируя процессы роста. Во-вторых, грелин возбуждает аппетит (орексигенная функция), действуя как сигнал голода в центральной нервной системе и стимулируя потребление корма через взаимодействие с нейропептидом Y (*NPY*) (Sherman et al., 2008). В-третьих, он регулирует энергетический баланс, способствуя увеличению потребления энергии и снижению ее расхода, а также влияя на окисление жиров и предрасположенность к ожирению (Braz et al., 2015). Грелин активирует синтез молока, увеличивая кровоток в молочной железе. Он также косвенно влияет на молочную продуктивность, повышая секрецию гормона роста (ГН), который играет важную роль в период лактации [3].

Грелин, преимущественно синтезируемый обкладочными железами сычуга,

также экспрессируется в других тканях, включая кишечник, поджелудочную железу, почки, плаценту и головной мозг. Динамика его секреции демонстрирует четкую взаимосвязь с кормлением: уровень гормона в плазме крови снижается в течение часа после потребления пищи, возвращаясь к исходным значениям позднее. У взрослых животных экспрессия выше в преджелудках, у телят – в тонком кишечнике [4]. В репродуктивной системе грелин и его рецептор экспрессируются в ооцитах и клетках кумулюса, влияя на их развитие и жизнеспособность [5]. Примечательно, что у высокопродуктивных молочных коров в период пика лактации регистрируются повышенные концентрации как самого грелина, так и гормона роста, что указывает на его роль в адаптации метаболизма к высокой продуктивности (Colinet et al., 2009). У коров уровень грелина в плазме снижается после кормления и возвращается к исходному уровню в течение 4 часов. Экзогенное введение грелина приводит к увеличению потребления сухого вещества и, как следствие, к росту надоев [6], его инъекции повышают концентрацию ГН в плазме и увеличивают продолжительность приема пищи. В период пика лактации у коров с высоким генетическим потенциалом отмечаются более высокие концентрации грелина и гормона роста в крови (Sun et al., 2011).

Ген *GHRL* у крупного рогатого скота расположен на хромосоме 22 (*ВТА22*), состоит из 5 экзонов и 4 интронов. Исследование Colin et al. (2009) сыграло ключевую роль в изучении гена *GHRL*, представив его полную молекулярную характеристику (Colinet et al., 2009). В этой работе было проведено секвенирование и установлена структура гена, а также выявлено восемь однонуклеотидных полиморфизмов (*SNP*). Среди идентифицированных вариантов был полиморфизм *g.4491A>G*, соответствующий мутации *A375G*, описанной в других системах нумерации. Это однонуклеотидный полиморфизм (*SNP*), который не приводит к изменению аминокислотной последова-

тельности белка, но может влиять на регуляцию гена. Данное исследование предоставило базовый набор полиморфных маркеров, заложив основу для последующего анализа их ассоциаций с продуктивными признаками скота.

На основании мониторинга литературных источников на рисунке 1 представлено распределение аллелей А и G гена *GHRL* среди различных пород скота разного ареала.

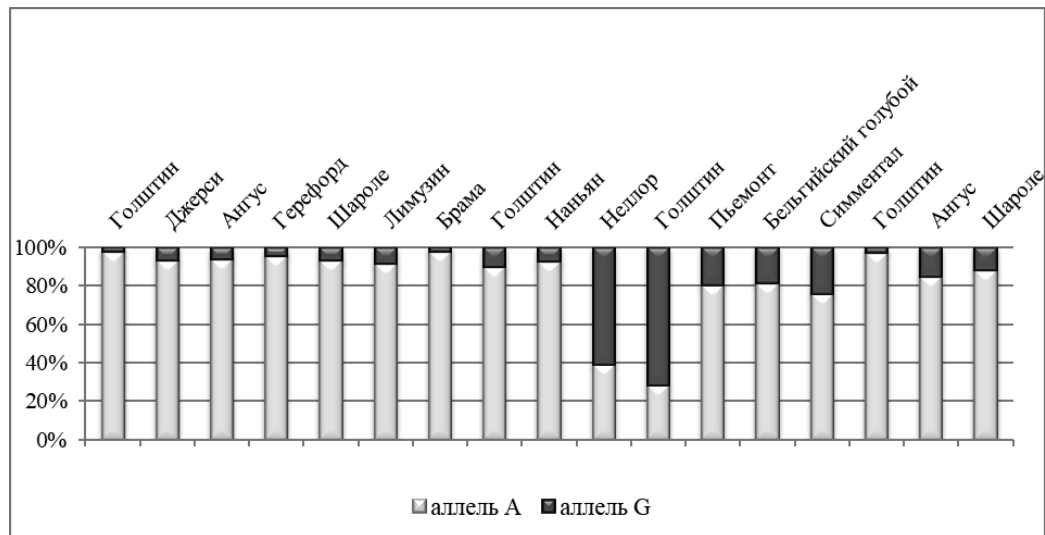


Рисунок 1 – Частота встречаемости аллелей гена *GHRL* в мировых популяциях крупного рогатого скота.

Доли встречаемости аллелей гена *GHRL* демонстрируют значительную вариабельность среди пород крупного рогатого скота различного направления продуктивности и географической принадлежности. В большинстве исследованных генетических групп наблюдается явное доминирование аллеля А с частотой выше 0,850. К таким породам относятся голштинская (с вариацией от 0,900 до 0,972), джерсейская (0,980), а также мясные породы: Ангус (0,850-0,929), Герефорд (0,940), Шароле (0,880-0,955), Лимузин (0,917) и Брама (0,976). Высокие частоты аллеля А также зафиксированы у китайской породы Наньян (0,927), Бельгийской голубой (0,814) и в поголовье Пьемонтского скота (0,800).

Гомозиготный генотип в этих популяциях не был установлен, а процент гетерозиготных особей варьировал от 3,0 до 20,0 %, преимущественно находясь на уровне 11,5–16,7 %.

Вместе с тем, в некоторых популяциях отмечается существенно повышенная частота аллеля G. Наиболее ярким примером является бразильская порода Неллор, где преобладает аллель G (частота 0,610). Более значимая доля аллеля G также характерна для одной из популяций голштинского скота в Ираке (0,720), что контрастирует с описанными ранее данными других генетических групп этой же породы. Умеренная встречаемость аллеля G наблюдается у симментальской породы (0,244). Численность гомозиготных GG-особей в исследуемых стадах достигала 60,0%.

Представленные данные основаны на анализе зарубежных исследований (Colinet et al., 2009; Sherman et al., 2008; Sun et al., 2011; Lisa et al., 2013; Braz et al., 2015), а также согласуются с результатами более поздних работ, включенных в настоящее исследование [6-9].

Анализ ассоциаций, проведенный

канадскими учеными, показал, что полиморфизм в гене *GHRL* оказывает пограничное (тенденция) или умеренное влияние на ряд важных признаков, в основном связанных с конверсией корма и качеством туши (Sherman et al., 2008). Исследование полиморфизма *GHRL* A375G у бычков пьемонтской породы проводилось для анализа его возможной связи со среднесуточным приростом, параметрами телосложения, мясности и толщиной костяка (Lisa et al., 2013). Полиморфизм гена *GHRL* изучался на предмет влияния на живую массу тела, среднесуточный прирост и линейные промеры телосложения (высота в холке, длина туловища, обхват груди, ширина в маклоках) у бычков породы Наньян в возрастные периоды 6, 12, 18 и 24 месяца (Sun et al., 2011).

Исследования полиморфизма A375G гена *GHRL* выявляют его комплексное влияние на молочную продуктивность. У джерсейского скота наблюдается тенденция, согласно которой гетерозиготные животные могут демонстрировать более высокие удои, а также повышенное количество белка и жира в молоке. В частности, в третью лактацию у них отмечается статистически значимое увеличение содержания белка, хотя при этом может происходить некоторый спад удоя и количества жира по сравнению с животными, имеющими другую генетическую вариацию [6]. У голштинских коров прослеживается иная зависимость: одна из аллелей ассоциирована с достоверным увеличением удоя и продолжительности лактации, но сопровождается снижением содержания жира, белка и лактозы в молоке. В то же время, альтернативный генетический вариант связан с обратной тенденцией – меньшими объемами надоев, но более высоким качеством молока по его составу [7, 8].

На основании имеющихся исследований полиморфизм гена *GHRL* обладает потенциалом перспективного маркера для селекции крупного рогатого скота, способствуя не только улучшению продуктивных качеств, но и признаков, связанных с эффективностью использования

корма, скоростью роста, качеством туши и пищевого поведения животных. Таким образом, изучение вариаций гена *GHRL* имеет важное значение для селекционной работы и повышения экономической эффективности животноводства.

Несмотря на обширные данные о влиянии полиморфизма гена *GHRL* на продуктивные признаки, его популяционно-генетические параметры в стадах Российской Федерации остаются не изученными.

Цель исследования – оценить популяционно-генетические параметры и структуру поголовья крупного рогатого скота по гену *GHRL*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В исследовании были использованы образцы проб крови 91 гол. коров татарстанского типа холмогорской породы СХПК «имени Вахитова» Кукморского района Республики Татарстан. Экстрагирование ДНК проводили с использованием набора «GM Blood Q» (Sesana, Россия) по инструкции производителя.

Для детекции исследуемого однонуклеотидного полиморфизма 4491A>G (A375G, транзиция A/G) в интроне 3 гена *GHRL* (доступ к последовательности в GenBank: AY455980) был применен метод ПЦР-ПДРФ. Анализ проводили на выделенной геномной ДНК с использованием специфичных праймеров (F: 5' GTG GGG ATGC TTA AGT TCC CTA 3', R: 5' AGG GTG GGA GAA CGG ACA GGT 3'), последовательности которых были взяты из работы I. Kowalewska-Łuczak [6]. Коммерческие праймеры («Евроген», Россия) и стандартный набор реагентов («СибЭнзим», Россия) входили в состав реакционной смеси.

Процедуру амплификации выполняли на амплификаторе «Thermal Cycler 100» (BIO RAD, США) в лабораторных условиях отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Протокол амплификации был нами модифицирован и состоял из следующих стадий:

начальная денатурация при 94 °С в течение 5 минут;

30 циклов амплификации, каждый из которых включал денатурацию (94 °С, 30 с), отжиг праймеров (53 °С, 60 с) и элонгацию (72 °С, 30 с);

финальная дотройка цепей при 72 °С в течение 5 минут.

Для проведения анализа ПЦР-ПДРФ в оригинальном исследовании I. Kowalewska-Luczak и соавт. (2011) применяли для рестрикции ПЦР-продукта (187 п.о.) эндонуклеазу *FspBI*. В результате гидролиза формировались фрагменты длиной 187, 167 и 19 п.о.

В нашей работе, в рамках политики импортозамещения, был использован ее изошизомер – *BstKI I* («СибЭнзим», Россия). Рестрикцию ампликонов проводили в течение 16 часов при температуре 37 °С.

Полученные фрагменты разделяли методом горизонтального электрофореза в 2,6% агарозном геле, который готовили на 1×TBE буфере с добавлением этидиума бромид. Визуализацию и документирование результатов ПЦР-ПДРФ-анализа выполняли с помощью системы геледокументирования Gel Doc XR (BIO RAD, США).

Расчет частот аллелей выполняли по методу Е.К. Меркурьевой (1970), а рас-

пределение генотипов анализировали с использованием биометрических формул в соответствии с руководством Е.К. Меркурьевой и Г.Н. Шангина-Березовского (1983).

Соответствие популяционного равновесия закону Харди-Вайнберга проверяли с помощью критерия хи-квадрат (χ^2), применяемого для сравнения наблюдаемых и ожидаемых частот генотипов. Для оценки уровня гетерозиготности в исследуемом поголовье был рассчитан коэффициент инбридинга (*Fis*), позволяющий выявить избыток или недостаток гетерозиготных особей.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе молекулярно-генетического анализа было установлено характерные профили электрофоретического разделения для каждого генотипа по гену *GHRL*. Гомозиготный генотип AA идентифицировался по наличию нерасщепленного ПЦР-продукта (187 п.о.), гетерозиготный GA – по трем фрагментам (187, 167 и 19 п.о.), а гомозиготный GG – по сочетанию двух фрагментов (167 и 19 п.о.). В исследованной популяции крупного рогатого скота (татарстанский тип холмогорской породы) было зафиксировано следующее распределение: генотип AA встречался с частотой 9,9%, GA – 52,7%, а GG – 37,4% (табл. 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости аллелей и генотипов гена *GHRL* и параметры генетического разнообразия популяций

	Генотипы						Аллели		χ^2	Fis	PIC
	n	%	n	%	n	%					
	AA		GA		GG		A	G			
Н	9	9,9	48	52,7	34	37,4	0,363	0,637	1,82	-0,141	0,409
О	12	13,2	42	46,2	37	40,6					

Примечание: Н – наблюдаемое распределение, О – ожидаемое распределение, $\chi^2_{крит} (0,05) = 5,99$; *Fis* – индекс фиксации; *PIC* – мера информационного полиморфизма ($PIC < 0,25$ – слабый полиморфизм, $0,25 < PIC < 0,50$ – умеренный полиморфизм, $PIC > 0,50$ – сильный полиморфизм)

Из полученных данных следует, что популяция находится в равновесии Харди-Вайнберга, что подтверждается низким значением χ^2 (1,82), при критическом

(0,05) равном 5,99. Это означает, что наблюдаемое распределение генотипов не имеет достоверного отличия от ожидаемого. Наблюдается небольшой избыток

гетерозиготных особей, что выражается отрицательным значением коэффициента инбридинга (или индекса фиксации). Данный показатель является благоприятным и может указывать на процессы аутбридинга или отбор в пользу гетерозигот.

Мера информационного полиморфизма *PIC* находится на уровне 0,409. Это означает, что исследуемый генетический маркер (локус с аллелями А и G) обладает средней информативностью и может использоваться в популяционно-генетических исследованиях, анализах наследования и селекционных программах.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

На основании проведенного исследования можно заключить, что изученная популяция татарстанского типа холмогорской породы характеризуется устойчивым генетическим состоянием, находясь в равновесии Харди-Вайнберга по гену *GHRL*. Индекс фиксации свидетельствует о наличии аутбридинга и отсутствии инбредной депрессии, а уровень полиморфизма подтверждает информативность локуса для дальнейшего использования гена *GHRL* в качестве маркера в селекционных программах.

Несмотря на общее преобладание аллеля А в мировых популяциях, аллель G может достигать значительных частот в определенных породах и популяциях. Полученные данные подчеркивают важность учета географического происхождения и направления продуктивности при анализе генетического разнообразия хозяйственно важных признаков, ассоциированных с геном *GHRL*.

EVALUATION OF GENETIC DIVERSITY OF CATTLE BY THE GHRELIN GENE (*GHRL*)

Safina N.Yu. * – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0003-1184-3188); **Krupin E.O.** – Doctor of Veterinarian Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-8086-1788); **Gainutdinova E.R.** – Postgraduate Student, Researcher (ORCID 0000-0002-2970-1500)

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture “Kazan Scientific Center of Rus-

sia Academy of Sciences”, Kazan, Russian Federation

*natysafina@gmail.com

Financing: *The work was carried out according to a state assignment: «Improvement of complex domestic technologies of breeding, crop and livestock farming on the basis of identification of high-value genotypes, molecular-genetic methods, biotechnology, design of adaptive and highly productive agrobiocoenosis and agroecosystems for the production of ecological and functional products. Registration number: 125031003428-9».*

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the population-genetic structure and parameters of genetic biodiversity at the polymorphic locus g.4491A>G (A375G) of the *GHRL* gene in cattle of the Tatarstan type of the Kholmogor breed. Ghrelin, encoded by the *GHRL* gene, plays a key role in regulating appetite, energy metabolism, growth, and dairy productivity, making it a promising marker for breeding. Blood samples from 91 cows served as the material for DNA testing. Genotyping was performed using PCR-RFLP with the *Bst*K⁺I restriction endonuclease. As a result, three genotypes were identified: AA (9.9%), GA (52.7%), and GG (37.4%). The frequency of allele A was 0.363, and that of allele G was 0.637. Population-genetic analysis showed that the studied population is in a state of Hardy-Weinberg equilibrium, with a predominance of heterozygous genotypes observed, and the polymorphism information content (PIC) characterizes the locus as moderately polymorphic and informative for breeding programs. A comparative analysis with literature data revealed significant interbreed and geographical variability in the frequencies of the *GHRL* gene. The obtained results emphasize the importance of considering the genetic specificity of local breeds and confirm the potential of using *GHRL* gene polymorphism as a molecular-genetic marker to enhance the efficiency of cattle breeding. The study was

carried out within the framework of the state assignment, registration number 125031003428-9.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Association of Leptin Gene (LEP) Polymorphism with Growth Rates and Milk Production in Holstein First-Calf Heifers / N.A. Balakirev, N.Yu. Safina, Yu.R. Yulmetieva [et al.] // Russian Agricultural Sciences. – 2018. – Т. 44, No 5. – P. 460-464. DOI 10.3103/S1068367418050038
2. Сафина Н.Ю. Популяционно-генетическая характеристика крупного рогатого скота по гену MC4R (рецептор меланокортина 4) / Н.Ю. Сафина, Е.О. Крупин // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 4. – С. 518-527. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.4.518.
3. Характеристика молочной продуктивности коров-первотелок с разными генотипами соматотропина (GH) / Н.Ю. Сафина, И.Ю. Гилемханов, Ф.Ф. Зиннатова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № 3(54). – С. 58-61. – DOI 10.12737/article_5db9535ed384a3.87060395.
4. Expression of Genes Encoding Selected Orexigenic and Anorexigenic Peptides and Their Receptors in the Organs of the Gastrointestinal Tract of Calves and Adult Domestic Cattle (*Bos taurus taurus*) / K. Kras, K. Ropka-Molik, S. Muszyński [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2024. – Vol. 25, No 1. – P. 533. DOI 10.3390/ijms25010533
5. N-octanoylated ghrelin peptide inhibits bovine oocyte meiotic resumption / X. Xu, J. Bai, T. Feng [et al.] // General and comparative endocrinology. – 2018. – Vol. 263. – P. 7-11. DOI 10.1016/j.ygcen.2018.04.016
6. Kowalewska-Łuczak I. Ghrelin gene polymorphism in dairy cattle / I. Kowalewska-Łuczak, M. Szembek, H. Kulig // Journal of Central European Agriculture. – 2011. – Vol. 12, № 4. – P. 744–751. DOI 10.5513/JCEA0112.4.984
7. Shnawa M. Relationship of GHRL Gene Polymorphism with Milk Production and Components in Holstein Cows / M. Shnawa, H.M.H. Al-Khuzai, A.J.A. Al-Yaseri // IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Vol. 1213. – Art. 012083. DOI: 10.1088/1755-1315/1213/1/012083.

8. Śpiewak M. Polymorphism in the GHRL gene and milk production traits in Jersey cattle / M. Śpiewak, I. Kowalewska // Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech. – 2023. – Vol. 368, № 67(3). – P. 35-40. DOI 10.21005/AAPZ2023.67.3.4
9. Türkiye’de yetiştirilen et ırkı kültür sığırlarında leptin, ghrelin ve insülin benzeri büyüme faktörü -1 (IGF-1) gen polimorfizmlerinin belirlenmesi / A. Daş, T. Şahin, Ö. Akbulut [et al.] // Harran Üniv. Vet. Fak. Derg. – 2019. – Т. 8, № 1. – S. 112-119. DOI 10.31196/huvfd.592643

REFERENCES

1. Balakirev N.A., Safina N.Yu., Yulmetieva Yu.R., Shakirov Sh.K., Zinnatova F.F. Association of Leptin Gene (LEP) Polymorphism with Growth Rates and Milk Production in Holstein First-Calf Heifers // Russian Agricultural Sciences. 2018. 44 (5):460-464. DOI 10.3103/S1068367418050038
2. Safina N.Yu., Krupin E.O. Population-genetic characteristics of cattle by the MC4R (Melanocortin 4 receptor) gene // International bulletin of Veterinary Medicine. 2024. (4):518-527. DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.4.518
3. Safina N.Yu., Gilemkanov I.Yu., Zinnatova F.F., Shakirov Sh.K. Characteristic of milk productivity of cows-heifers with different genotypes of Somatotropin (GH) // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2019. 3(54):58-61. DOI 10.12737/article_5db9535ed384a3.87060395
4. Kras K., Ropka-Molik K., Muszyński S., Arciszewski M. Expression of Genes Encoding Selected Orexigenic and Anorexigenic Peptides and Their Receptors in the Organs of the Gastrointestinal Tract of Calves and Adult Domestic Cattle (*Bos taurus taurus*) // International Journal of Molecular Sciences. 2024. 25(1): 533. DOI 10.3390/ijms25010533
5. Xu X., Bai J., Feng T., Xiao L., Song Y., Xiao Y., & Liu Y. N-octanoylated ghrelin

- peptide inhibits bovine oocyte meiotic resumption // *General and comparative endocrinology*. 2018. 263:7-11. DOI 10.1016/j.ygcen.2018.04.016
6. Kowalewska-Łuczak I., Szembek M., Kulig H. Ghrelin gene polymorphism in dairy cattle // *Journal of Central European Agriculture*. 2011. 12(4):744–751. DOI 10.5513/JCEA0112.4.984
7. Shnawa M., Al-Khuzai H.M.H., Al-Yaseri A.J.A. Relationship of GHRL Gene Polymorphism with Milk Production and Components in Holstein Cows // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. 1213:012083. DOI 10.1088/1755-1315/1213/1/012083.
8. Śpiewak, M., Kowalewska, I. Polymorphism in the GHRL Gene and Milk Production Traits in Jersey Cattle // *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech*. 2023. 368(67):35-40. DOI 10.21005/AAPZ2023.67.3.4
9. Daş A., Şahin T., Akbulut Ö., Bengü A.Ş., Bozkaya F. Türkiye’de yetiştirilen et ırkı kültür sığırlarında leptin, ghrelin ve insülin benzeri büyüme faktörü -1 (IGF-1) gen polimorfizmlerinin belirlenmesi // *Hararan Üniv. Vet. Fak. Derg.* 2019. 8(1): 112-119. DOI 10.31196/huvfd.592643

УДК: 636. 082.12

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.414

ГАПЛОТИП НН6: ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ У ГОЛШТИНСКОГО СКОТА

Хабибрахманова Я.А.* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0009-0001-0995-3614); **Калашникова Л.А.** – д-р биол. наук, проф., гл. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0000-0002-9760-5254); **Рыжова Н.В.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0009-0000-2496-788X); **Багаль И.Е.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0009-0000-9365-0544); **Павлова И.Ю.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0009-0001-6329-6414); **Ганченкова Т.Б.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0009-0005-7552-0099); **Тетюркин Е.А.** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий; **Сенина Р.Ю.** – науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий (ORCID 0009-0007-9131-7677); **Макаров Д.О.** – науч. сотр. лаборатории ДНК-технологий.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
племенного дела»

*hyazilya@bk.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, голштинская порода, летальные аллели, ДНК-тестирование, селекция, гаплотип фертильности НН6, ген *SDE2*.

Key words: cattle, Holstein breed, lethal alleles, DNA testing, selection, fertility haplotype НН6, *SDE2* gene.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания МСХ РФ №1024032500159-4-4.2.1-4.2.1 от 01.07.2024. «Проведение исследований по разработке методов диагностики генетических заболеваний крупного рогатого скота. Этап 1. Изучение генетической природы и разработка методов диагностики генетически детерминированных заболеваний голштинского скота».

Поступила: 21.10.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты мониторинга распространенности летального рецессивного гаплотипа фертильности НН6 у голштинского скота, актуального для современной селекции. Исследование проведено на выборке из 194 животных (94 быка-производителя и 100 коров), отобранных с трех ведущих племенных предприятий Российской Федерации. Для генотипирования использовали комбинацию методов ПЦР-ПДРФ и ПЦР в реальном времени, направленных на детекцию точечной мутации (g.29020700 A>G) гена *SDE2* - гомолог гена обслуживания теломера (telomere maintenance homolog). Метод ПЦР-ПДРФ заключался в амплификации фрагмента гена размером 524 п.н. с последующим анализом рестрикционных паттернов. Для валидации результатов проводили ПЦР в реальном времени с использованием коммерческого набора реагентов «НН6-RT-100» (ООО «ВетГеномика», г. Новосибирск). В результате анализа был идентифицирован один бык-

носитель мутации HH6 среди 94 быков-производителей, что соответствует частоте носительства 1,1%. Среди коров носителей мутации не обнаружено. Полученные данные подчеркивают важность продолжения системного скрининга для контроля над распространенностью гаплотипа HH6. Методика ПЦР-ПДРФ доказала свою надежность и рекомендуется для внедрения в практику племенных предприятий и лабораторий, занимающихся геномной селекцией. Реализация ДНК-тестирования позволит предотвратить инбредные спаривания и минимизировать экономические потери, обусловленные эмбриональной смертностью, тем самым способствуя совершенствованию селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Современная селекция молочного скота, в особенности голштинской породы, базируется на интенсивном использовании ограниченного числа быков-производителей методом искусственного осеменения. Данный подход привел к существенному сужению генетического разнообразия и накоплению в популяциях рецессивных летальных мутаций [1]. В гомозиготном состоянии такие мутации вызывают эмбриональную смертность, приводя к прямым экономическим потерям вследствие снижения выхода телят и повышения затрат на воспроизводство стада.

В последние годы у голштинского скота было идентифицировано семейство рецессивных гаплотипов фертильности, нарушающих репродуктивную функцию. Одним из них является гаплотип HH6 (OMIA ID 002149-9913), расположенный на 16-й хромосоме.

Гаплотип HH6 представляет собой летальный рецессивный генетический дефект, вызванный точковой мутацией A>G в кодоне-инициаторегена *SDE2*. Название гена является историческим и восходит из периода его первоначальной идентификации у дрожжей, где он был охарактеризован как SAN1-dependent 2 (*SDE2*). Важно отметить, что эта этимология не отражает фундаментальной функции белка, установленной в дальнейшем. Основная физиологическая роль белка *SDE2* заключается в критически важном участии в поддержании стабильности генома, в регуляции репарации повреждений ДНК и обеспечении стабильности теломера.

Мутация в гене приводит к сокращению белка-предшественника на 83 аминокислоты и полной потере его функции.

Дефицит данного белка является причиной гибели эмбрионов на ранних стадиях развития. Установлено, что мутация в гаплотипе HH6 происходит от быка HO-LUSAM000002070579 (MOUNTAIN, 1987 г. рождения), широко использовавшегося в селекционных программах, что обусловило риск ее распространения в популяциях по всему миру [2].

Распространенность гаплотипа HH6 варьирует в широких пределах: от 1,3% во французской популяции голштинского скота (n=29 000) [2] до 57,47% в выборке польских быков-производителей голштинской породы (n=87) [3]. В российских популяциях голштинского скота зафиксированы следующие значения частоты: 0,8% (n=123) [4], 2,4% (n=85) [5] и 1,74% (n=628) [6]. Общий диапазон частот генотипа HH6 в России составляет 0,8–2,4%. Целью настоящего исследования являлась идентификация носителей мутации HH6 в гене *SDE2* в популяции голштинского скота России и оценка частоты встречаемости данного аллеля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Молекулярно-генетические исследования проводили в лаборатории ДНК-технологий ФГБНУ ВНИИплем. В работе использовали пробы биологических материалов (кровь, криоконсервированная сперма), отобранные от 194 животных голштинской породы из племенных предприятий России. Пробы семени были от быков-производителей из Республики Татарстан АО «ГПП «ЭЛИТА» (n=94), пробы крови были от коров с хозяйств Московской области АО «Зеленоградское» (n=50) и ООО «Лесные Поляны» (n=50). Выделение геномной

ДНК из крови проводили с использованием набора реагентов «ДНК-ЭКСТРАН-2» (ЗАО «Синтол», г. Москва) в соответствии с протоколом производителя. Для проб семени применяли предварительный лизис смесью DTT и протеиназы К с последующей экстракцией ДНК тем же набором.

Генотипирование по мутации в гене *SDE2* выполняли методами ПЦР-ПДРФ и ПЦР в реальном времени.

Метод ПЦР-ПДРФ заключался в амплификации фрагмента гена *SDE2* длиной 524 п.н., содержащего целевой SNP (g.29020700 A>G, rs434666183). Использовали специфические праймеры:

прямой 5'-
GACGGAAGCCCTCACTATCA-3' и
обратный 5'-
CTTCTCTTAGCAACGCCTCG-3'.

Реакцию проводили в амплификаторе в конечном объеме 25 мкл, содержащем: 10X буфер для Taq-полимеразы с 1,5 mM MgCl₂, 0,5 ед. Taq-полимеразы, смесь dNTP по 200 мкМ каждого, по 0,8 мкМ каждого праймера и 50 нг матричной ДНК.

Режим амплификации включал: первичную денатурацию при 94°C в течение 5 мин; 30 циклов (денатурация при 94 °C – 30 с, отжиг праймеров при 60°C – 30 с, элонгация при 72°C – 30 с); финальную элонгацию при 72 °C в течение 5 мин.

Продукты ПЦР подвергали рестрикции эндонуклеазой *BccI* (New England Biolabs, ООО «СкайДжин» г. Москва) в соответствии с рекомендациями производителя. Полученные фрагменты разделяли электрофорезом в 3% агарозном геле с последующей визуализацией в УФ-свете.

Для подтверждения результатов часть образцов была проанализирована методом ПЦР в реальном времени с использованием набора реагентов «НН6-RT-100» (ООО «ВетГеномика», г. Новосибирск) для детекции полиморфизма g.29020700A>G в гене *SDE2* в соответствии с инструкцией производителя.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Проведенный молекулярно-генетический анализ позволил достовер-

но идентифицировать генотипы животных по гену *SDE2*. В качестве метода детекции однонуклеотидного полиморфизма (SNP) A>G была применена ПЦР-ПДРФ (Полимеразная цепная реакция – полиморфизм длин рестриционных фрагментов). Ампликон длиной 524 п.н. подвергали рестрикции эндонуклеазой *BccI* с последующей визуализацией продуктов расщепления методом электрофореза в агарозном геле (Рис. 1).

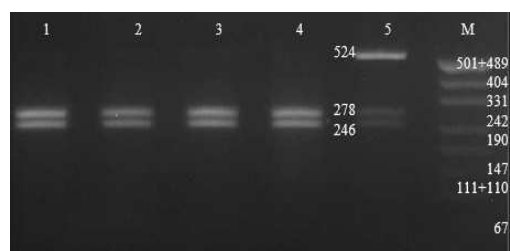
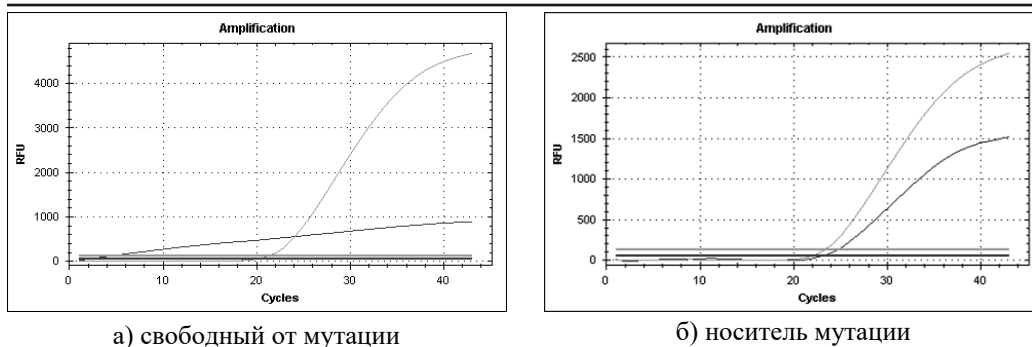


Рисунок 1 – Электрофореграмма продуктов рестрикции ампликона гена *SDE2* эндонуклеазой рестрикции *BccI*, дорожки: М – маркер молекулярной массы *pUC19 DNA/MspI*; 1-4 свободные от мутации НН6 (фрагменты 278 и 246 п.н.); 5 – носитель мутации НН6 (фрагменты 524, 278 и 246 п.н.).

В результате анализа были выявлены следующие генотипы AA и AG. Гомозиготы по аллелю А (AA) имели два фрагмента длиной 278 и 246 п.н., что соответствует полному расщеплению ампликона в сайте рестрикции, характерном для аллеля дикого типа. Гетерозиготы (AG) были с комбинацией из трех фрагментов нерасщепленного исходного ПЦР-продукта (524 п.н.) и двух рестриционных фрагментов (278 и 246 п.н.). Данный паттерн является диагностическим для гетерозиготного состояния и обусловлен наличием как мутантного, так и дикого аллеля, что обусловлено заменой сайта рестрикции для *BccI* вследствие замены A>G.

Результаты, полученные методом ПЦР в реальном времени, полностью подтвердили данные ПЦР-ПДРФ (Рис. 2).



а) свободный от мутации

б) носитель мутации

Рисунок 2 – Детекция мутации HH6 методом ПЦР в реальном времени с использованием набора «HH6-RT-100»: а – свободный от мутации; б – носитель мутации.

Анализ распределения генотипов показал, что частота встречаемости мутации HH6 в исследованной выборке является относительно низкой. Генетическая аномалия гена *SDE2* среди исследованных 100 коров не была определена, среди 94 быков-производителей было выявлено 1 животное с гетерозиготным генотипом (частота встречаемости генотипа составила 1,1 %).

Выявление быка-носителя летальной генетической аномалии в группе производителей имеет существенное селекционное значение. Учитывая высокий потенциал распространения аллелей от одного производителя, неконтролируемое его использование способно привести к значительному увеличению частоты дефектного аллеля в популяции. При спаривании двух гетерозиготных животных гаплотипа HH6 с вероятностью 25 % происходит гибель эмбрионов в результате проявления летального действия рецессивной мутации, что приводит к повторам осеменений и снижению выхода телят, негативно влияя на экономическую эффективность молочного животноводства.

Полученные данные согласуются с результатами других исследований крупного рогатого скота голштинской породы в РФ, где частота мутации в гаплотипе HH6 варьирует в пределах 0,8–2,4% [4-6]. Низкая частота распространения исследованной аномалии в отдельных стадах может быть следствием как случайного рас-

пределения аллеля, так и результатом целенаправленной селекционной работы.

Идентификация конкретного быка с мутантным аллелем позволяет скорректировать селекционные программы: исключить его использование в маточных стадах с риском инбридинга или применять его сперму для осеменения коров, гарантированно свободных от данной мутации.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование подтвердило наличие летального рецессивного гаплотипа HH6 в популяции голштинского скота Российской Федерации. Разработанная и апробированная методика ПЦР-ПДРФ для детекции мутации в гене *SDE2* показала свою надежность и может быть рекомендована для применения в практике племенных предприятий и лабораторий, занимающихся геномной селекцией.

Несмотря на относительно низкую общую частоту встречаемости аномалии, выявление быка-производителя с мутацией HH6 свидетельствует о необходимости проведения системного ДНК-мониторинга всего племенного поголовья, особенно быков активного и резервного состава. Своевременная идентификация носителей и грамотное планирование спариваний позволят предотвратить эмбриональную смертность, минимизировать экономические убытки и контролировать частоту неблагоприятных аллелей в популяции, обеспечивая ее долгосрочное генетическое здоровье.

HAPLOTYPE HH6: IDENTIFICATION OF CARRIERS IN HOLSTEIN CATTLE

Khabibrakhmanova Ya.A.* – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies (ORCID 0009-0001-0995-3614); **Kalashnikova L.A.** – Doctor of Biology, Professor, Chief Scientific Officer at the Laboratory of DNA Technologies (ORCID 0000-0002-9760-5254); **Ryzhova N.V.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies (ORCID 0009-0000-2496-788X); **Bagal I.E.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies (ORCID 0009-0000-9365-0544); **Pavlova I.Y.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies (ORCID 0009-0001-6329-6414); **Ganchenkova T.B.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies (ORCID 0009-0005-7552-0099); **Tetyurkin E.A.** – Candidate of Technical Sciences, Senior researcher at the Laboratory of DNA Technologies; **Senina R.Yu.** – scientific. at the Laboratory of DNA Technologies; **Makarov D.O.** – Scientific director. comp. DNA technology laboratories. laboratory of DNA technologies

All-Russian Scientific Research Institute of Breeding

*hyazilya@bk.ru

Financing: *The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation №1024032500159-4-4.2.1-4.2.1 dated 07/01/2024. "Conducting research on the development of diagnostic methods for genetic diseases of cattle. Stage 1. Study of the genetic nature and development of diagnostic methods for genetically determined diseases of Holstein cattle".*

ABSTRACT

The article presents the results of monitoring the prevalence of the HH6 fertility haplotypes, a lethal recessive genetic defect

relevant to modern Holstein cattle breeding. The study was conducted on a sample of 194 animals (94 bulls and 100 cows) selected from three leading breeding enterprises in the Russian Federation. Genotyping was performed using a combination of PCR-RFLP and real-time PCR methods aimed at detecting a point mutation (g.29020700 A>G) in the *SDE2* gene (telomere maintenance homolog). The PCR-RFLP method involved the amplification of a 524 bp gene fragment, followed by analysis of restriction patterns. To validate the results, real-time PCR was performed using the commercial reagent kit «HH6-RT-100» (VetGenomika LLC, Novosibirsk). The analysis identified one carrier bull of the HH6 mutation among the 94 bulls tested, corresponding to a carrier frequency of 1.1%. No carrier cows were detected. The obtained data underscore the importance of continued systematic screening to control the spread of the HH6 haplotype. The developed PCR-RFLP methodology proved to be reliable and is recommended for implementation in the practice of breeding farms and laboratories engaged in genomic selection. The implementation of DNA testing will prevent inbred matings and minimize economic losses associated with embryonic mortality, thereby contributing to the improvement of breeding and selection programs in dairy cattle farming.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Гоздек, М. Селективные моногенные генетические заболевания у голштинского скота – обзор / М. Гоздек, С. Муха, А. Простек, Т. Садковски // *Genes*. – 2024. – Vol. 15. – No. 8. – P. 1052. – DOI: 10.3390/genes15081052. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/genes15081052>
- Фриц, С. Мутация инициаторного кодона в гене SDE2 вызывает рецессивную эмбриональную летальность у голштинского скота / С. Фриц, К. Хозе, Э. Ребур и др. // *Journal of Dairy Science*. – 2018. – Vol. 101. – No. 7. – P. 6220–6231. – DOI: 10.3168/jds.2017-14119. Режим доступа: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14119>
- Каминский, С. Миссенс-мутация в гене SDE2 – новый летальный дефект,

передаваемый в польской породе голштинско-фризского скота / С. Каминский // Polish Journal of Veterinary Sciences. – 2019. – Vol. 22. – No. 3. – P. 627–630. – DOI: 10.24425/pjvs.2019.129974. Режим доступа: <https://doi.org/10.24425/pjvs.2019.129974>

4. Ковалюк, Н. В. Новый гаплотип фертильности голштинского скота / Н. В. Ковалюк, В. Ф. Сацук, Е. В. Мачульская, Ю. Шахназарова // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 4. – С. 8–9. DOI: 10.33943/MMS.2020.27.45.002. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43864634>

5. Спиридонова, Е. С. Идентификация гаплотипа HH6 у голштинской популяции молочного скота отечественной селекции / Е. С. Спиридонова // Научное обеспечение животноводства Сибири / Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН. – 2024. – С. 283–285. – DOI: 10.52686/conferencearticle_67597cedba9ec9.23164121. Режим доступа: https://doi.org/10.52686/conferencearticle_67597cedba9ec9.23164121

6. Степанов, А. В. Идентификация гаплотипов, определяющих плодовитость крупного рогатого скота / А. В. Степанов, О. А. Быкова, О. В. Костюнина, А. А. Зырянова, О. А. Шевкунов // Аграрный вестник Урала. – 2024. – Т. 24. – № 7. – С. 921–931. – DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-07-921-931. Режим доступа: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-07-921-931>

REFERENCES

1. Gozdek, M. Selected Monogenic Genetic Diseases in Holstein Cattle—A Review / M. Gozdek, S. Mucha, A. Prostek, T. Sadkowski // Genes. – 2024. – Vol. 15. – No. 8. – P. 1052. – DOI: 10.3390/genes15081052.

URL: <https://doi.org/10.3390/genes15081052>

2. Fritz, S. An initiator codon mutation in SDE2 causes recessive embryonic lethality in Holstein cattle / S. Fritz, C. Hoze, E. Rebours et al. // Journal of Dairy Science. – 2018. – Vol. 101. – No. 7. – P. 6220–6231. – DOI: 10.3168/jds.2017-14119. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14119>

3. Kamiński, S. Missense mutation in SDE2 gene – new lethal defect transmitted into Polish Holstein-Friesian cattle / S. Kamiński // Polish Journal of Veterinary Sciences. – 2019. – Vol. 22. – No. 3. – P. 627–630. – DOI: 10.24425/pjvs.2019.129974. URL: <https://doi.org/10.24425/pjvs.2019.129974>

4. Kovalyuk, N.V. New haplotype of Holstein cattle fertility / N.V. Kovalyuk, V.F. Satsuk, E.V. Machulskaya, Y. Shakhnazarova // Dairy and Beef Cattle Breeding. – 2020. – No. 4. – P. 8–9. DOI: 10.33943/MMS.2020.27.45.002. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43864634> (In Russ.)

5. Spiridonova, E.S. Identification of haplotype HH6 in the Holstein dairy cattle population of domestic selection / E.S. Spiridonova // Scientific support for livestock farming in Siberia. – 2024. – P. 283–285. – DOI: 10.52686/conferencearticle_67597cedba9ec9.23164121. URL: https://doi.org/10.52686/conferencearticle_67597cedba9ec9.23164121 (In Russ.)

6. Stepanov, A.V. Identification of haplotypes determining fertility in cattle / A.V. Stepanov, O.A. Bykova, O.V. Kostyunina, A.A. Zyryanova, O.A. Shevkunov // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2024. – Vol. 24. – No. 7. – P. 921–931. – DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-07-921-931. URL: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-07-921-931> (In Russ.)

УДК: 636.294:619

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.420

СЕЗОННОСТЬ ОТЁЛОВ И ОСОБЕННОСТИ РОДОВОГО ПРОЦЕССА У ДОМАШНИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

^{1*}Слепцов Е. С.- д. вет.н., гл. науч. сотр. лаб. оленеводства и традиционных отраслей, ¹Алферов И.В.- к.с.-х. н., ст. науч. сотр. лаб. селекции и разведения лошадей, ¹Винокуров И.Е.- к.вет.н., ст.науч. сотр. лаб. селекции и разведения лошадей, ²Федорова П.Н.- к. биол. н., доц. каф. физиологии сельскохозяйственных животных и экологии, ²Стручков Н.А.- к. вет. н., зав. каф. ветеринарно-санитарной экспертизы и гигиены, доцент

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» - Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

²ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»

*evgeniycemenovic@mail.ru

Ключевые слова: северный олень, отёл, родовой процесс, сезон отёлов, таз важенки, морфометрия таза, послед, котиледоны, Якутия, оленеводство, репродукция

Keywords: reindeer, domestic reindeer, Rangifer tarandus, calving, parturition, calving season, pelvis morphometry, placenta, cotyledons, Yakutia, Sakha Republic, reindeer herding, reproduction

Поступила: 07.01.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026

РЕФЕРАТ

Северное оленеводство является ключевой отраслью традиционного хозяйства коренных народов Республики Саха (Якутия), где суровые климатические условия определяют специфику репродуктивного цикла домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*). Настоящее исследование посвящено анализу сезонности отёлов и морфофункциональных особенностей родового процесса у важенки в различных природно-климатических зонах республики. Материалы собраны в оленеводческих хозяйствах Оленёкского, Момского, Булунского, Нижнеколымского и Анабарского улусов в периоды массового отёла. Установлено, что наиболее ранние отёлы наблюдаются в Нижнеколымском улусе, тогда как в Анабарском, Булунском и северной части Оленёкского улусов массовое теление приходится на первые числа мая с завершением в третьей декаде мая – первой декаде июня. Общая продолжительность сезона отёлов варьирует от 30 до 45 дней (6–9 пятидневок), при этом 70–80 % важенки телятся в сжатые сроки — в течение 3–4 пятидневок. Выявленная высокая синхронность воспроизводства обусловлена адаптацией к короткому благоприятному периоду года и зависит от природно-климатических факторов, сроков гона и физиологического состояния маточного поголовья. Подчеркивается практическая значимость ранних и компактных отёлов для хозяйств с протяжёнными кочёвками: телята успевают окрепнуть к вскрытию рек и началу

массового лёта гнуса, что снижает риск переохлаждения, лёгочных заболеваний и гибели. Полученные результаты подчёркивают адаптивные механизмы репродуктивной системы северных оленей к арктическим условиям и могут быть использованы для совершенствования технологий оленеводства, ветеринарного контроля и селекционной работы в хозяйствах Якутии.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Северное оленеводство остаётся одной из ключевых традиционных отраслей хозяйства коренных народов Республики Саха (Якутия). Оно обеспечивает население основным источником питания — оленьим, а также играет важную роль в сохранении культурной идентичности и традиционного уклада жизни коренных малочисленных народов Севера. В Арктической зоне республики сосредоточено 74,9 % от общего поголовья оленей Якутии, при этом основная доля поголовья содержится в Усть-Янском, Анабарском, Булунском и других северных районах. [1]. Продукты оленеводства (шкуры, шерсть, пух, кровь, панты, рога) используются для изготовления одежды, обуви, жилищ, биологически активных добавок и фармакологических препаратов, а сами олени служат основным транспортным средством в условиях Крайнего Севера [2, 3]. Низкие затраты на содержание животных (отсутствие необходимости в капитальных постройках и заготовке объёмных кормов) обеспечивают высокую экономическую эффективность отрасли при минимальной себестоимости продукции [4].

Несмотря на это, в хозяйствах Якутии ежегодно более 25 тысяч важенок и нетелей остаются яловыми. Основные причины — инфекционные заболевания (в первую очередь бруцеллёз), низкая упитанность, недостаточная племенная работа, патологии репродуктивных органов и потери во время родов [5]. Эти факторы приводят к снижению воспроизводства стада и ограничивают потенциал роста поголовья, что особенно критично в условиях изменения климата и социально-экономических трансформаций [6].

Исторически физиология размножения северных оленей (*Rangifer tarandus*) изучалась с 1920–1930-х годов, однако многие аспекты остаются недостаточно

исследованными. В последние годы акцент сместился на сезонную репродуктивную физиологию самцов [7], потенциал применения вспомогательных репродуктивных технологий (включая криоконсервацию спермы и синхронизацию охоты) [8], влияние климатических изменений на сроки гона и отёлов [9], а также адаптивные механизмы репродуктивного цикла в арктических и таёжных популяциях [10]. Эти работы подчёркивают высокую синхронность отёлов как ключевой адаптации к короткому благоприятному периоду года, а также роль морфометрии таза и морфологии последа в обеспечении успешного родового процесса.

Настоящее исследование посвящено анализу сезонности отёлов и морфофункциональных особенностей родового процесса у важенок домашних северных оленей в различных улусах Республики Саха (Якутия). Полученные данные необходимы для оптимизации технологий воспроизводства стада, профилактики бесплодия и повышения общей продуктивности оленеводства в условиях экстремального климата и современных вызовов отрасли [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось с целью комплексного изучения сезонов отёла и особенностей родового процесса у домашних северных оленей в различных природно-климатических условиях Республики Саха (Якутия). Работа выполнялась в лаборатории оленеводства и традиционных отраслей Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства имени М. Г. Сафронова, в оленеводческих хозяйствах Оленёкского, Момского, Булунского, Нижнеколымского и Анабарского улусов, а также в Якутской республиканской ветеринарно-испытательной лаборатории. Наблюдения охватывали периоды активного отёла с

апреля по июнь в условиях кочевого и полукочевого оленеводства. Объектом исследования служили взрослые важенки преимущественно эвенской и эвенкийской пород (или их помесей) и новорождённые телята.

Во время отёльного периода велось круглосуточное (в рамках полевых возможностей) наблюдение за стельными важенками с фиксацией даты и точного времени начала и окончания каждого этапа родов, поведенческих реакций, клинических признаков и продолжительности стадий родового акта. Ежедневно проводился сплошной учёт новорождённых путём индивидуального клеймения телят с последующим занесением в журнал данных о дате рождения, поле, живорождённости или мертворождённости, а также жизнеспособности в первые сутки. Полученная информация агрегировалась по пятидневкам и выражалась в процентах от общего количества отёлов в сезоне.

Морфометрическое изучение таза проводилось на трёх препаратах тазовых поясов важенки разного возраста и упитанности с использованием стандартных ветеринарно-анатомических инструментов — штангенциркуля, мерной ленты и линейки. Измерялись основные линейные параметры, включая *conjugata vera*, *conjugata diagonalis*, дорзальный, средний и вентральный поперечники входа в таз, поперечный диаметр, высоту и поперечник выхода, а также длину таза в различных направлениях и длину тазового шва. Ось таза определялась как прямая линия, равноудалённая от всех стенок тазовой полости.

После отделения последа выполнялось его взвешивание на электронных весах с точностью ± 10 г, подсчёт количества котиледонов, а также измерение максимальных и минимальных размеров котиледонов и диаметра пупочных сосудов (артерий и вен) с помощью штангенциркуля. Первичные данные заносились в таблицы, после чего рассчитывались средние арифметические значения, ошибка среднего, диапазон вариации и, где это было целесообразно, медиана. Статистическая обработка носила описательный

характер без применения тестов значимости различий между группами.

Все манипуляции проводились с соблюдением принципов гуманного обращения с животными: наблюдения не вмешивались в естественный ход родов, инвазивные процедуры отсутствовали, а морфометрия таза выполнялась исключительно на посмертном материале.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Наиболее ранние сроки отёлов отмечены в Нижнеколымском улусе. Более поздние отёлы характерны для эвенских стад Анабарского, Булунского и северной части Оленёкского улусов, где начало массовых отёлов приходится на первые числа мая с завершением в третьей декаде мая — первой декаде июня. Общая продолжительность сезона отёлов составляет 30–45 дней (6–9 пятидневок). При этом 70–80 % всех отёлов концентрируются в пределах 3–4 пятидневок, что свидетельствует о выраженной синхронности воспроизводства. Межхозяйственные различия по срокам и интенсивности отёлов обусловлены природно-климатическими условиями, сроками гона и физиологическим состоянием маточного поголовья.

Ранние и сжатые сроки отёлов имеют важное производственное значение, особенно для стад с протяжёнными маршрутами кочёвок. Телята, родившиеся в ранние сроки, к моменту вскрытия рек и массового лёта гнуса обладают более высокой жизнеспособностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Костный таз северного оленя образован двумя безымянными костями, каждая из которых состоит из подвздошной, лонной и седалищной костей, сросшихся в области вертлужной впадины. В совокупности с крестцовой костью, первыми хвостовыми позвонками и тазовыми связками таз формирует прочную и одновременно функционально подвижную родовую основу. Перед родами широкие тазовые и крестцово-седалищные связки подвергаются серозной инфильтрации и становятся более эластичными, что увеличивает подвижность таза и облегчает прохождение плода.

Таблица 1- Основные промеры таза важенки (см, n=3)

№	Показатель	M ± m	Min-Max
1	Conjugata vera	12,2 ± 0,4	11,7–13,0
2	Дорзальный поперечник входа	17,7 ± 0,5	16,8–19,0
3	Средний поперечник входа	8,8 ± 0,4	8,2–9,5
4	Вентральный поперечник входа	5,8 ± 0,2	5,5–6,2
5	Conjugata diagonalis	21,4 ± 0,3	21,0–22,0
6	Поперечный диаметр	7,3 ± 0,3	7,0–7,8
7	Высота выхода из таза	8,6 ± 0,4	7,8–9,0
8	Поперечник выхода	8,3 ± 0,2	8,0–8,5
9	Длина таза (суставная впадина – маклок)	15,7 ± 0,7	14,2–16,7
10	Длина таза (суставная впадина – седалищный бугор)	10,9 ± 0,4	10,6–11,9
11	Длина всего таза	28,4 ± 0,9	27,0–29,7
12	Длина тазового шва	9,8 ± 0,4	9,2–10,6

Таблица 2-Основные временные и морфологические характеристики родового процесса у важенек северного оленя

Параметр	Среднее ± SEM	Диапазон (min-max)	Медиана
Продолжительность стадии выведения плода (мин)	35 ± 7	10 – 104	32
Продолжительность последовой стадии (ч)	2,7 ± 0,1	1,3 – 4,3	2,8
Масса последа (г)	970 ± 50	610 – 1390	950
Общая продолжительность активных родов (ч)*	3,3 ± 0,2	1,5 – 5,7	3,3

Таблица 3-Характеристики котиледонов и пупочных сосудов

Параметр	Среднее ± SEM	Диапазон / примечание
Количество котиледонов	7,6 ± 0,4	6 – 10
Максимальная длина (см)	13,8 ± 0,6	10,4 – 17,2
Максимальная ширина (см)	8,0 ± 0,5	5,1 – 11,5
Минимальная длина (см)	4,8 ± 0,7	1,5 – 8,5
Минимальная ширина (см)	4,0 ± 0,6	1,2 – 8,1
Диаметр артерии пуповины (см)	0,6 ± 0,02	0,5 – 0,7
Диаметр вены пуповины (см)	0,68 ± 0,01	0,60 – 0,70

Анализ поперечников входа в таз показывает, что форма входа близка к трапециевидной: дорзальный поперечник (17,7 см) существенно превышает вентральный (5,8 см). Это определяет преимущественно дорсальную или косую ориентацию плода в родах. Ось таза у важенки имеет плавный ход и не является ломаной линией, что делает таз северного оленя более благоприятным для родового процесса по сравнению с коровой.

За 24–36 часов до отёла у важенек отмечали снижение температуры тела на 0,5–1,0 °С, появление молозива, отёчность вульвы и расслабление крестцово-седалищных связок. За 6–12 часов до изгнания плода усиливалось беспокойство, животные часто ложились и вставали, стремились к изоляции от стада.

Начало второго периода родов характеризовалось появлением плодного пузыря и излитием околоплодных вод. Про-

должительность стадии выведения плода варьировала от 10 до 104 минут.

Количество котиледонов варьировало от 6 до 10. Размеры и диаметр пупочных сосудов характеризовались умеренной индивидуальной изменчивостью.

Телята начинали предпринимать попытки вставания в течение первых минут после рождения и уверенно стояли на конечностях примерно через 1 час. Первое сосание происходило в среднем через 2,3 часа после рождения.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Полученные результаты свидетельствуют о том, что особенности течения родового процесса у северных оленей формируются под влиянием комплекса морфологических, физиологических и экологических факторов, отражающих длительную адаптацию вида *Rangifer tarandus* к условиям Крайнего Севера. Укороченная вторая стадия родов, низкая частота осложнений и преимущественно физиологическое положение плода следует рассматривать не как частные акушерские особенности, а как элементы целостной стратегии воспроизводства, направленной на максимальное сохранение приплода в экстремальных климатических условиях. сравнении с крупным рогатым скотом, у которого родовый акт часто осложняется крупноплодием, вариабельностью формы таза и значительной массой новорождённого, северные олени обладают выраженной биомеханической оптимизацией родов, обеспечивающей быстрое изгнание плода и минимальную нагрузку на родовые пути самки.

Сравнительно-анатомический анализ показывает, что более короткая вторая стадия родов у северных оленей связана с меньшим весом плода, удлинённой формой тела телёнка и более удобным для родов строением таза самки. Эти особенности обеспечивают лучшее соответствие между размерами плода и родовых путей, что значительно снижает риск осложнений при родах. Ещё одним важным фактором является хорошо скоординированная работа мышц матки, что свидетельствует о тонкой регуляции родовой дея-

тельности, выработанной в ходе эволюции. Такая регуляция жизненно важна в условиях, где долгие роды резко повышают риск гибели и матери, и новорождённого.

Экологический контекст придаёт выявленным особенностям особое значение. В условиях низких температур, ограниченной кормовой базы и высокого хищнического прессинга даже незначительное удлинение родов может иметь критические последствия. Быстрое завершение второй стадии родов сокращает период двигательной неподвижности самки, снижает теплотери и позволяет ей в кратчайшие сроки приступить к уходу за телёнком и его обогреву. Для новорождённого телёнка это означает уменьшение времени контакта с экстремально низкими температурами и повышение шансов на успешную терморегуляцию в первые часы жизни.

Полученные данные согласуются с результатами зарубежных исследований репродуктивной биологии карibu и полудомашних популяций северных оленей, в которых подчёркивается низкая частота акушерских патологий и высокая приспособленность родового процесса к условиям Арктики и Субарктики. В совокупности это позволяет рассматривать особенности второй стадии родов у северных оленей как один из ключевых компонентов их адаптивного комплекса, наряду с сезонной синхронизацией отёлов, морфофункциональными особенностями новорождённых и высокой энергетической эффективностью раннего постнатального периода.

SEASONALITY OF CALVING AND CHARACTERISTICS OF THE PARTURITION PROCESS IN DOMESTIC REINDEER IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA).

¹*Sleptsov E.S. - Doctor of Veterinary Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Reindeer Herding and Traditional Industries, Yakutsk, ¹Alferov I.V. - Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Horse Selection and Breeding, ¹Vinokurov I.E. - Candidate of Veterinary

Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Horse Selection and Breeding, ²Fedorova P.N. - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Farm Animal Physiology and Ecology, ²Struchkov N.A. - Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Hygiene, Associate Professor

¹Yakut Scientific Research Institute of Agriculture

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Arctic State Agrotechnological University» Yakut Scientific Research Institute of Agriculture

*evgeniycemenovic@mail.ru

ABSTRACT

Reindeer herding remains a cornerstone of traditional livelihood for indigenous peoples of the Republic of Sakha (Yakutia), where harsh climatic conditions profoundly shape the reproductive cycle of domestic reindeer (*Rangifer tarandus*). This study examines the seasonality of calving and the morphofunctional characteristics of the parturition process in female reindeer (vaizhenki) across diverse natural and climatic zones of the republic.

Data were collected from reindeer herding farms in Olenyoksky, Momsky, Bulunsky, Nizhnekolymsky, and Anabarsky uluses during peak calving periods (April–June). The earliest calving was observed in Nizhnekolymsky ulus, whereas in Anabarsky, Bulunsky, and the northern part of Olenyoksky ulus, mass calving typically begins in early May and concludes in the third decade of May to the first decade of June. The overall calving season lasts 30–45 days (6–9 five-day periods), with 70–80% of females calving within a highly synchronized window of only 3–4 five-day periods. This pronounced reproductive synchrony reflects adaptation to the short favorable season and is influenced by local climatic factors, rut timing, and the physiological condition of breeding females. Early and compact calving holds significant practical value for herds undertaking long nomadic migrations, as early-born calves

gain sufficient strength by river breakup and the onset of mass insect emergence, thereby reducing risks of hypothermia, pneumonia, and mortality.

These findings highlight adaptive mechanisms in the reproductive system of reindeer to Arctic environments and offer valuable insights for improving herding technologies, veterinary monitoring, and selective breeding practices in Yakutian reindeer farms.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова, П. Ю. Анализ состояния, проблем и тенденций продовольственной безопасности в арктических районах Республики Саха (Якутия) / П. Ю. Иванова, С. А. Неустроев // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. – 2022. – № 4(12). – С. 16-30. – DOI 10.51823/74670_2022_4_16. – EDN JTPLTW.
2. Южаков А.А. Северное оленеводство в XXI в.: генетический ресурс, культурное наследие и бизнес // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2. С. 131–137.
3. Технология производства и переработка оленины в условиях Республики Саха (Якутия): методические указания / Н.С. Роббек, В.И. Федоров, Т.Д. Румянцева, И.П. Павлов, И.М. Баланов. – Якутск: ГКУ ЦИКОСХ, 2017. – 16 с.
4. Федоров В.И., Слепцов Е.С., Винокуров Н.В., Осипов В.Г., Румянцева Т.Д. Северное домашнее оленеводство Республики Саха (Якутия): ретроспективный анализ и направления развития. Генетика и разведение животных. 2018;(4):43-50.
5. Специфическая профилактика в системе противобруцеллезных мероприятий у северных оленей в условиях Енисейского севера: монография / К.А. Лайшев, В.А. Забродин, М.И. Гулюкин, А.М. Гулюкин, Е.С. Слепцов, Н.В. Винокуров, М.И. Искандров, В.И. Федоров, И.И. Бочкарев, О.И. Захарова. – Новосибирск: Изд-во «СибАК», 2018. – 206 с.
6. Laptander, R., Horskotte, T., Habeck, J. O., Rasmus, S., Komu, T., Matthes, H., Tommervik, H., Istomin, K., Eronen, J. T., & Forbes, B. C. (2024). Critical seasonal

- conditions in the reindeer-herding year: A synopsis of factors and events in Fennoscandia and northwestern Russia. *Polar Science*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2023.101016>.
7. Nagy S., Lindeberg H., Nikitkina E., et al. Reproduction of male reindeer (*Rangifer tarandus*). *Anim Reprod Sci*. 2021;227:106722. doi:10.1016/j.anireprosci.2021.106722.
8. Lindeberg H., Nikitkina E., Nagy S., et al. Potential applications of assisted reproductive technologies (ART) in reindeer (*Rangifer tarandus*). *Anim Reprod Sci*. 2021;235:106890. doi:10.1016/j.anireprosci.2021.106890.
9. Paoli A., Weladji R.B., Holand, Kumpula J. Response of reindeer mating time to climatic variability. *BMC Ecol*. 2020;20(1):44. Published 2020 Jul 29. doi:10.1186/s12898-020-00312-8.
10. Шапкин А.М., Арсентьева Н.Ф., Суханова Н.С. О репродуктивном возрасте самцов таймырских диких северных оленей (*Rangifer tarandus*). *Генетика и разведение животных*. 2022;(4):98-107. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-4-98-107>.
11. Gerasimova, A. et al. (2024). Adaptation to Change in Reindeer Husbandry in the Republic of Sakha (Yakutia), Russia. In: Mathiesen, S.D., Eira, I.M.G., Turi, E.I., Oskal, A., Pogodaev, M., Tonkopeeva, M. (eds) *Reindeer Husbandry*. Springer Polar Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42289-8_3
- 12). – S. 16-30. – DOI 10.51823/74670_2022_4_16. – EDN JTPLTW.
2. Yuzhakov A.A. Severnoe olenevodstvo v XXI v.: geneticheskij resurs, kul'turnoe nasledie i biznes // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2017. № 2. S. 131–137.
3. Tekhnologiya proizvodstva i pererabotka oleniny v usloviyah Respubliki Saha (Yakutiya): metodicheskie ukazaniya / N.S. Robbek, V.I. Fedorov, T.D. Rumyancheva, I.P. Pavlov, I.M. Balanov. – Yakutsk: GКУ CIKOSH, 2017. – 16 с..
4. Fedorov V.I., Slepcev E.S., Vinokurov N.V., Osipov V.G., Rumyancheva T.D. Severnoe domashnee olenevodstvo Respubliki Saha (Yakutiya): retrospektivnyj analiz i napravleniya razvitiya. *Genetika i razvedenie zhivotnyh*. 2018;(4):43-50.
5. Specificheskaya profilaktika v sisteme protivobrucellevykh meropriyatij u severnykh oleney v usloviyah Enisejskogo severa: monografiya / K.A. Lajshev, V.A. Zabrodin, M.I. Gulyukin, A.M. Gulyukin, E.S. Slepcev, N.V. Vinokurov, M.I. Iskandrov, V.I. Fedorov, I.I. Bochkarev, O.I. Zaharova. – Novosibirsk: Izd-vo «SibAK», 2018. – 206 s.
10. Shapkin A.M., Arsent'eva N.F., Suhanova N.S. O reproduktivnom vozraste samcov tajmyrskih dikih severnykh oleney (*Rangifer tarandus*). *Genetika i razvedenie zhivotnyh*. 2022;(4):98-107. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-4-98-107>.
11. Gerasimova, A. et al. (2024). Adaptation to Change in Reindeer Husbandry in the Republic of Sakha (Yakutia), Russia. In: Mathiesen, S.D., Eira, I.M.G., Turi, E.I., Oskal, A., Pogodaev, M., Tonkopeeva, M. (eds) *Reindeer Husbandry*. Springer Polar Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42289-8_3

REFERENCES

1. Ivanova, P. Yu. Analiz sostoyaniya, problem i tendencij prodovol'stvennoj bezopasnosti v arkticheskikh rajonah Respubliki Saha (Yakutiya) / P. Yu. Ivanova, S. A. Neustroev // *Arktika 2035: aktual'nye voprosy, problemy, resheniya*. – 2022. – № 4



ХИРУРГИЯ

УДК: 619:617.7

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.427

АНЕСТЕЗИЯ ГЕРИАТРИЧЕСКИХ ЖИВОТНЫХ (КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ)

Буйносова А.А.¹ – асп. каф. морфологии, физиологии и общей патологии (ORCID 0009-0002-8723-9868); Коморников И.С.¹ – асп. каф. морфологии, физиологии и общей патологии (ORCID 0009-0000-1130-4243); Сидорова К.А.^{1*} – д-р биол. наук, проф., зав. каф. морфологии, физиологии и общей патологии (ORCID 0000-0001-6912-7454); Щипакин М.В.² – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0002-2960-3222).

¹ ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

* sidorova.clavdija@yandex.ru

Ключевые слова: анестезия, гериатрический пациент, кератэктомия, новообразование, клинический случай, процедуры, рекомендации.

Key words: anesthesia, geriatric patient, keratectomy, neoplasm, clinical case, procedures, recommendations.

Поступила: 28.10.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В хирургической помощи могут нуждаться животные всех возрастов. У пожилых пациентов в большинстве случаев имеются хронические заболевания и резервные возможности организма значительно отличаются от молодых особей. Возрастная инволюция обменных процессов, уменьшение реактивности и адаптационной способности пожилого организма, наряду с послеоперационной травмой, болью и испытываемым стрессом, существенно увеличивает риск послеоперационных осложнений и летальности. Цель исследований – выявить особенности анестезиологических и терапевтических мероприятий при проведении кератэктомии и удалении новообразования глаза у гериатрического животного. Исследования проведены на базе ветеринарной клиники «Ветком», г. Тюмени в 2025 году. В статье описан случай из практики, на примере 18-летнего кота, которому была проведена кератэктомия и удаление новообразования в медиальном углу глаза. Операция проводилась для улучшения качества жизни пациента. В статье представлен анестезиологический протокол, а также схемы лечения до проведения хирургии и в послеоперационный период. В процессе старения наступает снижение обменных процессов,

уменьшение реактивности организма, что увеличивает риск развития послеоперационных осложнений и послеоперационной летальности. Несмотря на все физиологические изменения, у гериатрических пациентов, нельзя считать их возраст противопоказанием к анестезии. Проводимый мониторинг физиологических показателей в период анестезии пациента способствовал благоприятному течению операции по удалению новообразования глаза. Внимательное отношение лечащего врача с регулярными осмотрами и фиксирование динамики лечения позволило излечить данную патологию. Следовательно, данный клинический случай является свидетельством того, что состояние животного в послеоперационный период стабилизировалось, жалоб по его самочувствию от владельцев не поступало.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В проведении анестезии могут нуждаться пациенты разных возрастных групп, пожилые животные не являются исключением. У гериатрических пациентов с большей долей вероятности встречаются хронические заболевания: сердечно-сосудистой системы, мочеполовой, нервной, эндокринных систем, органов дыхания, кроветворения, пищеварения, опорно-двигательного аппарата, нередко их сочетание. Процесс старения вызывает прогрессирующее и необратимое снижение функциональных резервов основных систем организма, что приводит к изменённому ответу на многие факторы, такие как стресс, боль. Восстановительный период у пожилых животных может занять больше времени, чем у животных того же вида, но более молодого возраста. Смертность от анестезии собак и кошек в возрасте старше 12 лет значительно превышает (у собак – в 7 раз, у кошек – в 2 раза) смертность молодых особей данных видов, однако это не должно являться препятствием к проведению оперативного вмешательства [3,5].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ / PURPOSE OF RESEARCH»

Цель исследований – выявить особенности анестезиологических и терапевтических мероприятий при проведении кератэктомии и удалении новообразования глаза у гериатрического животного [3,5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В данном исследовании проводился глубокий анализ одного клинического случая на примере оперативного вмешательства у пожилого пациента. На момент хирургии возраст кота 18 лет, 7 месяцев,

вес 4 кг, кастрирован. Порода – британская.

Операция требовалась пациенту из-за нескольких причин:

Образования секвестра роговицы. При данном заболевании участок роговицы отмирает и замещается пигментным участком, что приводит к образованию тёмного пятна на глазу. В запущенных случаях животное может потерять зрение. При данной патологии рекомендовано проведение кератэктомии, процедуры, направленной на удаление патологически изменённого участка роговицы глаза. Заболевание чаще встречается у кошек носителей герпесвирусной инфекции [1,6].

Новообразование в медиальном углу правого глаза, которое приносило животному дискомфорт и натирало роговицу. Чаще всего новообразования на веках являются доброкачественными. Опухоль не была связана с образованием секвестра роговицы, т.к. находилось на другом участке глаза [7].

Этиология происхождения новообразования у гериатрического пациента может быть обусловлена несколькими факторами: наследственная предрасположенность, снижение иммунной функции организма, хроническая вирусная инфекция [1].

Пациенту была проведена предоперационная диагностика на ветеринарном оборудовании: аппарат для ультразвуковой диагностики SIUI Arogee 5300Pro, анализатор для клинического анализа крови Abaxis HM5, анализатор для проведения биохимического анализа крови VETLICA B-01.

Для подачи ингаляционного анестети-

ка использовался ветеринарный наркозно-дыхательный аппарат Zoomed MinorVet Optima, кислородный концентратор с высоким выходным давлением Longfian JAY-10.

Контроль за физиологическими параметрами пациента осуществлялся при помощи ветеринарного монитора CMS8000VET, тонометра ветеринарного МЛ-430 VET “Микролюкс”, капнографа ветеринарного МЛ-405 VET “Микролюкс”.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В статье рассмотрен клинический случай проведения кератэктомии и удаления новообразования в медиальном углу правого глаза под общей анестезией у кота в возрасте 18 лет (рис. 1). Статья подготовлена с информированного согласия владельца на публикацию случая болезни животного. Исследования проведены на базе ветеринарной клиники «Ветком», г. Тюмени в 2025 году.



Рисунок 1 – гериатрический пациент.

Владелец животного обратился с жалобой, что в области правого глаза у кота выросла «шишка», а также появилось пятно на роговице. Кот не проявлял видимого дискомфорта на момент приёма. На осмотре специалист поставил предварительные диагнозы: секвестр роговицы; киста апокриновой железы. Внутриглазное давление (ВГД) в правом глазе 16 мм

рт.ст., в левом глазе – 15 мм рт.ст.

Лечащий врач назначил следующее лечение: Глазные капли Ирис (гентамицина сульфат – 4 мг) по 1 капле в правый глаз 6-8 раз в сутки, в левый глаз 3 раза в день в течение 14 дней. Рекавери-Гель закладывать по 0,5 см 6-8 раз в день в течение 2-х недель. Ношение защитного воротника.

Перед оперативным вмешательством было проведено обследование пациента: УЗИ брюшной полости, УЗИ-скрининг сердца, общий клинический и развёрнутый биохимический анализы крови, общий анализ мочи (рис. 2;3;4) Пациенту ранее был поставлен диагноз хроническая почечная недостаточность 1 степени в 2022 году. После проведённой диагностики прогрессирования заболевания не выявлено. При данной почечной патологии на начальных стадиях не требуется специальная предоперационная подготовка и пациенту была назначена дата операции – 2 февраля 2025 года.

Все анестетики вызывают некоторую степень дозозависимого угнетения центральной нервной системы, а большинство из них вызывают угнетение как дыхательной, так и сердечно-сосудистой системы. Здоровые, молодые пациенты хорошо переносят многие физиологические эффекты анестетиков, либо эти эффекты можно свести к минимуму при помощи назначения кислорода в предоперационную подготовку или внутривенной инфузионной терапии. У пациентов с патологией внутренних органов эти физиологические эффекты могут усугубляться, способствуя дальнейшему ухудшению состояния [2].

В день операции скорость наполнения капилляров 1,5 с. Тургор кожи 5%. Ранее из операций коту была проведена блефаропластика 8 лет назад, кастрация три года назад. Во время хирургии данные о мониторинге пациента фиксировались в анестезиологической карте.

Ультразвуковое исследование сердца (Эхокардиография)

СТАНДАРТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ:

ПАРАСТЕРНАЛЬНАЯ ПОЗИЦИЯ		
Параметр	Измерение(см)	Норма
Ао	1,05	+
АОутмх	1.0м/с	+
ЛП	1,06	+
МЖП	0,44/0,66	+
ЛЖ КДР/КСР	1,22/0,58	+
ЗСЛЖ	0,35/0,65	+

Перикард – без особенностей. Жидкость в полости перикарда не выявлена.

Параметры сократимости ЛЖ: Фракция сократимости 54%

Стенки аорты, створки клапанов -

Систолическая функция миокарда ЛЖ удовлетворительная.

Зоны локального гипокинеза не выявлены.

Камеры сердца не расширены.

ДАННЫЕ ДОППЛЕРОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

Диастолическая дисфункция ЛЖ не выявлена

Признаки легочной гипертензии не выявлены.

Заключение: Без видимых патологий

Врач Коморников И.С

25.01.2025

Рисунок 2 – Ультразвуковое исследование сердца.

Премедикация проводилась препаратами: Медитин 0,1% - 25 мкг/кг внутримышечно; Везотил – 0,5 мг/кг внутримышечно. Использование нескольких лекарственных средств в премедикации обеспечивает мультимодальность анестезии, благодаря чему снижается количество требуемых анестетиков и обеспечивается обезболивание, однако требуется тщательный подбор доз, особенно для пациентов с сопутствующими заболеваниями.

Для индукции использовали болюсно Пропофол 10 мг – 3 мг/кг внутривенно. Препараты во время индукции вводят медленно, пожилым пациентам, также

рекомендуется снижение дозировок. Введение пропофола часто приводит к развитию артериальной гипотензии и может спровоцировать апноэ у пациента. Гипотензия во время наркоза может спровоцировать острую почечную недостаточность и повреждение миокарда. При длительном апноэ в первую очередь страдают органы мишени: головной мозг, сердце, почки. После индукции проводится интубация трахеи эндотрахеальной трубкой, в данном случае использовали трубку №3 с манжетой.

Дата анализа	25.01.2025	Животное	Кошка	
№ анализа		Пол животного		
ФИО	Померанец	Возраст животного	Пожилой	
Адрес		Кличка животного		
Показатель	Результаты исследования	Референсный диапазон		СИ
		СОБАКА	КОШКА	
ALB (АЛЬБУМИН)	31,6	23.0-40.0	22.0-44.0	g/U
TP (ОБЩИЙ БЕЛОК)	85,3	50.0-82.0	57.0-90.0	g/U
GLOB (ГЛОБУЛИН)	53,6	21.0-45.0	23.0-52.0	g/U
A/G (АЛЬБУМИН/ГЛОБУЛИН)	0,59			
TB (ОБЩИЙ БИЛИРУБИН)	2,9	0.0-15.0	0.0-15.0	umol/L
GGT (ГГТ)	<2	0-10	0-8	U/L
AST (АСТ)	29	0-50	0-48	U/L
ALT (АЛТ)	56	5-125	5-130	U/L
ALP (ЩЕЛОЧНАЯ ФОСФОТАЗА)	25	17-212	14-111	U/L
TBA (ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ)	2,04	0.00-17.00	0.00-9.00	umol/L
AMY (АМИЛАЗА)	1516	400-1500	500-1800	U/L
LPS (ЛИПАЗА)	39	0-216	0-43	U/L
LDH (лактатдегидрогеназа)	84	40-400	0-798	U/L
СК (Креатининкиназа)	464	10-200	0-422	U/L
Cre _{ser} (КРЕАТИНИН)	194,0	30.0-159.0	45.0-278.0	umol/L
UA (МОЧЕВАЯ КИСЛОТА)	<10,00	0.00-60.00	0.00-60.00	umol/L
BUN (МОЧЕВИНА)	14,72	2.50-9.60	4.00-12.90	mmol/L
BUN/ Cre _{ser} (МОЧЕВИНА/КРЕАТИНИН)	75,869	16,000-218.000	27.000-182.000	
GLU (ГЛЮКОЗА)	5,40	4.11-7.94	3.94-8.83	mmol/L
TC (холестерин)	3,65	2.84-8.27	1.68-5.81	mmol/L
TG (триглицериды)	0,38	0.00-1.13	0.00-1.13	mmol/L
tCO ₂	20,2	12.0-27.0	13.0-25.0	mmol/L
CA (КАЛЬЦИЙ)	2,49	1.98-3.00	1.95-2.83	mmol/L
PHOS (ФОСФОР)	1,63	0.81-2.19	1.00-2.42	mmol/L

Рисунок 3 – результат биохимического анализа крови.

Для поддержания анестезии использовали Изофлуран в концентрации 1 об%, скорость потока кислорода 700 мл/мин. Газовый анестетик Изофлуран прост в управлении и практически не метаболизируется печенью, однако он оказывает угнетающее дозозависимое действие на сердечно-сосудистую и респираторную системы, что может привести к гипотензии и гиперкапнии. Острая гиперкапния может вызывать расширение сосудов головного мозга, повышение внутричерепного давления и нарушение дыхания. Длительная гиперкапния может привести к ацидемии (повышенной кислотности крови), что может способствовать летальному исходу. У каждого пациента необходимо проводить мониторинг физиологических показателей во время хирургии, чтобы снизить анестезиологиче-

ские риски [3,9].

Мониторинг пациента во время операции: время анестезии составило 39 минут. В течение этого времени показатели жизнедеятельности пациента поддерживались в следующих пределах (представлены усреднённые значения): частота сердечных сокращений – 135; частота дыхательных движений – 14; температура – 37,0°C; артериальное давление – 146/105 (среднее АД 120); EtCO₂ – 50 мм рт.ст.; SpO₂ – 100 %. Коту была проведена кератэктомия с конъюнктивальной пластикой (рис. 5), а также удаление новообразования в медиальном углу правого глаза. От гистологического исследования опухоли хозяева отказались. Чаще всего новообразования возникающие на веках у кошек являются доброкачественными [7,8].

Клинический анализ крови

Дата анализа	25.01.2025	Животное	Кошка		
№ анализа		Пол животного			
ФИО	Померанец	Возраст животного			
Адрес		Кличка животного			
Показатель	Результаты исследования	Референсный диапазон			СИ
		Кролики	Собаки	Кошки	
WBC(конц.лейкоцитов)	7,88	3.00-11.5	6,0-17,0	5,50-19,50	10 ⁹ /л
RBC (концентрация эритроцитов)	8,35	5.00-9.0	5,5-8,5	5,0-10,0	10 ¹² /л
HGB(гемоглобин)	12,0	12.7-16.3	12,0-18,0	8,0-15,0	г/л
HCT(гематокрит)	41,75	36.0-50.0	37-55	24-45	%
MCV(ср.объем эритроцитов)	50	57-70	60-77	39-55	fl
MCH(ср.содерж.гемоглобина в эритроците)	14,4	17.5-23.5	19,5-24,5	12,5-17,5	pg
MCHC(ср.конц.гемоглобина в эритроците)	28,9	30.0-38.0	31,0-39,0	30-36	г/л
RDW(ширина распредел.эритроцитов)	19,0		14-20	14,0-18,0	%
PLT(тромбоциты)	266	130-900	165-500	300-800	10 ⁹ /л
MPV(ср.объем тромбоцитов)	13,3		3,9-11,1	12,0-17	fl
Нейтрофилы	Палочкоядерные		0-4	0-4	%
	Сегментоядерные	81	20-80	55-75	60-78
Эозинофилы	0	0-2	0-6	0-6	%
Базофилы	0	0-4	0-1	0-1	%
Моноциты	5	2-10	1-4	1-4	%
Лимфоциты	14	25-85	13-30	15-38	%

Рисунок 4 – результат клинического анализа крови.

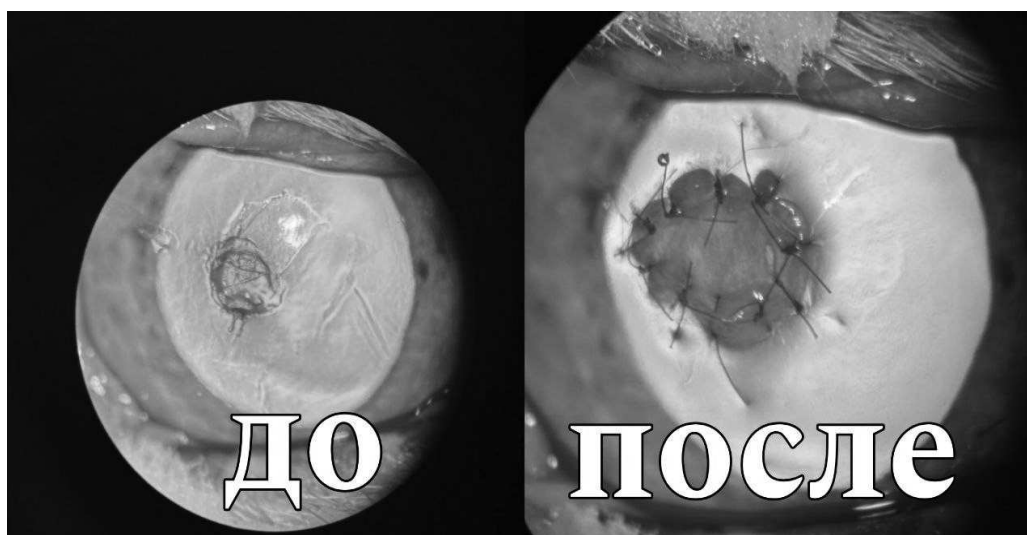


Рисунок 5 – Кератэктомия с конъюнктивальной пластикой.

После анестезии пациент находился на стационаре до полного пробуждения под контролем врачей. Мониторинг пациента продолжался до тех пор, пока пациент не пришёл в сознание. После того, как животное стало реагировать на внешние раздражители, и изменять положение тела, ему в малом объёме был дан мягкий корм и вода. Для более быстрого послеоперационного восстановления питание возобновляют в максимально ранние сроки после операции. Кошкам противопоказаны длительные голодные диеты, иначе могут проявиться негативные последствия (липидоз печени, панкреатит) [2,3].

Послеоперационное лечение включало: гигиену глаз натрием хлоридом 0,9% 2-3 раза в сутки. Ирис по 1 капле в каждый глаз 3-4 раза в день в течение трёх недель. РекавериГель по 0,5 см в левый глаз 3 раза в день в течение трёх недель. Защитный воротник не снимать в течение трёх недель. Доксифин 50 мг по 1 таблетке внутрь 1 раз в день с едой или после еды в течение трёх недель. Мелоксивет 0,2% - 0,4 мл подкожно в день операции, далее 0,2 мл подкожно в течение двух дней.

22 февраля 2025 года было проведено снятие защитного покрытия. В послеоперационный период пациент был стабилен, жалоб по состоянию здоровья нет.

Для снятия швов с роговицы использовали капли Инокаин для местного обезболивания. Часть лоскута не прижилась. Глазные капли Ирис по 1 капле в каждый глаз 3 раза в день на 10 дней. РекавериГель 0,5 см 3-4 раза в день в течение 10 дней. Продолжили носить защитный воротник.

9 марта 2025 года – послеоперационная рана на роговице заживает медленно, на самочувствии пациента это не отображается. Кот активен, нет проблем с аппетитом. Левомецитиновые капли/Барс по 1 капле в правый глаз 4 раза в сутки 10 дней. РекавериГель по 0,5 см в правый глаз 4-6 раз в сутки в течение 10 дней. Продолжили носить защитный воротник.

18 марта 2025 года на повторном осмотре продлили РекавериГель по 0,5 см

1-2 раза в сутки в течение 2 месяцев. Прекращение ношения защитного воротника.

2 июня 2025 года. Самочувствие в норме в области правого глаза произошла васкуляризация роговицы. ВГД на правом и левом глазе 16 мм рт.ст. РекавериГель продлили на пожизненное применение.

ОБСУЖДЕНИЕ / DISCUSSION

Несмотря на то, что в гериатрический период реабилитация после хирургии занимает более длительный период, чем у молодых особей, возраст не является противопоказанием к проведению анестезии, когда пациенту требуется хирургическая помощь. У 18-летнего кота восстановление после кератэктомии и удаления новообразования в медиальном углу правого глаза заняло около двух месяцев. У животных более молодого возраста восстановление после данной хирургии занимает около 3-4 недель. Ветеринарный врач анестезиолог Закирова О.В. в своей статье даёт сведения о том, примерно 30% пациентов ветеринарных клиник являются гериатрическими, и многие из них нуждаются в диагностических и хирургических процедурах, требующих наркоза или седации. Стоит заметить, что возраст сам по себе не является болезнью, но у животных старше 12 лет чаще развиваются сердечно-сосудистые или эндокринные заболевания, которые могут усложнять ведение таких пациентов во время анестезии, однако это не должно становиться причиной отказа от операции [7].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В процессе старения наступает снижение обменных процессов, уменьшение реактивности организма, что увеличивает риск развития послеоперационных осложнений и послеоперационной летальности. Несмотря на все физиологические изменения, у гериатрических пациентов, нельзя считать их возраст противопоказанием к анестезии.

Проводимый мониторинг физиологических показателей в период анестезии пациента способствовал благоприятному течению операции по удалению новообразования глаза. Внимательное отношение лечащего врача с регулярными осмот-

рами и фиксирование динамики лечения позволило излечить данную патологию.

Следовательно, данный клинический случай является свидетельством того, что состояние животного в послеоперационный период стабилизировалось, жалоб по его самочувствию от владельцев не поступало.

Таким образом, гериатрический период не является болезнью, а учет физиологических особенностей у таких пациентов, оказание своевременной эффективной помощи, проявление внимательности и осторожности при подготовке животных к наркозу, обеспечение максимально-го интраоперационного контроля за их состоянием снижает анестезиологические риски и увеличивает шансы на выздоровление пациента [4].

ANESTHESIA OF GERIATRIC ANIMALS (CLINICAL CASE)

Buinsova A.A.¹ – Postgraduate student of the Department of Morphology, Physiology and General Pathology (ORCID 0009-0002-8723-9868); **Komornikov I.S.**¹ – Postgraduate student of the Department of Morphology, Physiology and General Pathology (ORCID 0009-0000-1130-4243); **Sidorova K.A.**^{1*} – Doctor of Biology. N., Head of the Department of Morphology, Physiology and General Pathology (ORCID 0000-0001-6912-7454); **Shchipakin M.V.**² – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department. animal Anatomy (ORCID 0000-0002-2960-3222).

¹ State Agrarian University of the Northern Urals

² St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* sidorova.clavdija@yandex.ru

ABSTRACT

Animals of all ages may need surgical care. In most cases, elderly patients have chronic diseases and the body's reserve capabilities differ significantly from younger individuals. Age-related involution of metabolic processes, a decrease in the reactivity and adaptive capacity of an elderly body,

along with postoperative trauma, pain and stress, significantly increases the risk of postoperative complications and mortality. The purpose of the research is to identify the features of anesthetic and therapeutic measures during keratectomy and removal of an eye neoplasm in a geriatric animal. The research was conducted at the Vetkom Veterinary Clinic in Tyumen in 2025. The article describes a case from practice, using the example of an 18-year-old cat who underwent keratectomy and removal of a neoplasm in the medial corner of the eye. The operation was performed to improve the patient's quality of life. The article presents an anesthetic protocol, as well as treatment regimens before surgery and in the postoperative period. In the process of aging, there is a decrease in metabolic processes, a decrease in the reactivity of the body, which increases the risk of postoperative complications and postoperative mortality. Despite all the physiological changes in geriatric patients, their age cannot be considered a contraindication to anesthesia. The monitoring of physiological parameters during the patient's anesthesia contributed to the favorable course of the operation to remove the neoplasm of the eye. The attentive attitude of the attending physician with regular checkups and recording the dynamics of treatment made it possible to cure this pathology. Therefore, this clinical case is evidence that the animal's condition has stabilized in the postoperative period, and there have been no complaints about its well-being from the owners.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеева И.Г., Дорофеева В.П., Маркова М.В. Инфекционные болезни мелких домашних животных. / И.Г. Алексеева, В.П. Дорофеева, М.В. Маркова. – СПб.: Издательство «Лань», 2023. – 124с.
2. Бараш П.Дж., Куллен Б.Ф., Стэлтинг Р.К. Клиническая анестезиология. Второе издание. / П.Дж. Бараш, Б.Ф. Куллен, Р.К. Стэлтинг. – М.: Издательство «Медицинская литература», 2010. – 720с.
3. Буйносова, А. А. Послеоперационный мониторинг кошек и собак / А. А. Буйносова, К. А. Сидорова // Передовая наука -

агропромышленному комплексу: Сборник статей аспирантов и молодых ученых LVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 12–13 марта 2024 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. – С. 120-124.

4. Буйносова, А. А. Ингаляционный анестетик изофлуран - в ветеринарной практике / А. А. Буйносова, К. А. Сидорова // Актуальные вопросы современной морфологии, физиологии и патологии: Сборник национальной (всероссийской) конференции, посвященная 65-летию кафедры анатомии и физиологии, Тюмень, 14–15 ноября 2024 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. – С. 23-29.

5. Буйносова А.А., Сидорова К.А., Ермолина С.А. К вопросу анестезии мелких домашних животных в гериатрический период (обзор литературы) / А.А. Буйносова, К.А. Сидорова, С.А. Ермолина – Текст: непосредственный // Евразийское пространство: экономика, право, общество. – 2024. - № 3. – С. 95-99.

6. Буйносова А.А., Бучельникова О.А., Понятов М.П. Общая анестезия у непродуктивных домашних животных разных возрастных групп. / А.А. Буйносова, О.А. Бучельникова, М.П. Понятов – Текст: непосредственный // Аграрная наука в АПК: от идей к внедрению. Сборник трудов международной научно-практической конференции 1 часть. – 2023. - №1. – С. 85-91.

7. Закирова О.В. Анестезия у гериатрического пациента на клиническом примере. / О.В. Закирова – Текст: непосредственный // Ветеринарный Петербург. – 2021. - № 2. – С. 31-35.

8. Коморников И.С., Глазунова Л.А. Распространённость паннуса среди различных пород собак в условиях города Тюмени (клинические случаи). / И.С. Коморников, Л.А. Глазунова – Текст: непосредственный // АПК: инновационные технологии. – 2024. – С. 23-31.

9. Мэггс Дэвид Дж., Миллер Пол Э., Оффри Рон. Основы ветеринарной офталь-

мологии Слэттера. Шестое издание. / Дэвид Дж. Мэггс, Пол Э. Миллер, Рон Оффри. – СПб.: Издательство «Бальф», 2023. – 655с.

REFERENCES

1. Alekseeva I.G., Dorofeeva V.P., Markova M.V. Infectious diseases of small domestic animals. / I.G. Alekseeva, V.P. Dorofeeva, M.V. Markova. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2023. 124с.

2. Barash P.J., Kullen B.F., Stalting R.K. Clinical anesthesiology. Second edition. / P.J. Barash, B.F. Kullen, R.K. Stalting. – M.: Publishing house "Medical literature", 2010. – 720s.

3. Buinosova, A. A. Postoperative monitoring of cats and dogs / A. A. Buinosova, K. A. Sidorova // Advanced science for the agro-industrial complex: A collection of articles by graduate students and young scientists of the LVIII International Scientific and practical Conference of Students, graduate students and young scientists, Tyumen, March 12-13, 2024. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals, 2024, pp. 120-124.

4. Buinosova, A. A. Inhaled anesthetic isoflurane in veterinary practice / A. A. Buinosova, K. A. Sidorova // Current issues of modern morphology, physiology and pathology: Proceedings of the national (All-Russian) conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Anatomy and Physiology, Tyumen, November 14-15, 2024. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals, 2024, pp. 23-29.

5. Buinosova A.A., Sidorova K.A., Ermolina S.A. On the issue of anesthesia of small domestic animals in the geriatric period (literature review) / A.A. Buinosova, K.A. Sidorova, S.A. Ermolina – Text: direct // Eurasian space: economics, law, society. – 2024. - No. 3. – Pp. 95-99.

6. Buinosova A.A., Buchelnikova O.A., Ponyatov M.P. General anesthesia in unproductive pets of different age groups. / A.A. Buinosova, O.A. Buchelnikova, M.P. Ponyatov – Text: direct // Agricultural science in agriculture: from ideas to implementation. Proceedings of the international scientific

and practical conference 1 part. – 2023. - No. 1. – pp. 85-91.

7. Zakirova O.V. Anesthesia in a geriatric patient using a clinical example. / O.V. Zakirova – Text: direct // Veterinary Petersburg, 2021, No. 2, pp. 31-35.

8. Komornikov I.S., Glazunova L.A. The prevalence of pannus among various dog breeds in the city of Tyumen (clinical cas-

es). / I.S. Komornikov, L.A. Glazunova – Text: direct // Agroindustrial complex: innovative technologies. – 2024. – pp. 23-31.

9. Maggs, David J., Miller, Paul E., Ofri, Ron. Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology. Sixth edition. / David J. Maggs, Paul E. Miller, Ron Ofri. – St. Petersburg: Balfe Publishing House, 2023. – 655s.

УДК: 619:579:616.98

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.437

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОФЛОРЫ ИЗ ОЧАГОВ ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ПАЛЬЦЕВОМ ДЕРМАТИТЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Ненашев И.В. *– канд. ветеринар. наук, доцент. каф. анатомии, акушерства и хирургии (ORCID 0000-0002-3340-885X)

ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет»

*nenashev1974@inbox.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, биопсия, патология копытец, язва пальцевого мякиша, микробиологические исследования, бактерии.

Key words: cattle, biopsy, hoof pathology, finger crumb ulcer, microbiological studies, bacteria.

Поступила: 01.09.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Поражения дистального отдела конечностей у лактирующих коров могут быть как инфекционной, так и неинфекционной этиологии. Язва пальцевого мякиша или пальцевой дерматит или болезнь Мортелларо и некробактериоз являются инфекционными заболеваниями. Эти заболевания могут возникать при несоблюдении зоогигиенических правил содержания, при невыполнении профилактических мероприятий (например, несвоевременная и плохая уборка навоза, отсутствие или неправильное применение профилактических ванн). Бактериологический материал отбирался от больных животных в области мякиша пальцев от пяти животных. Животное фиксировали в специальном ортопедическом станке. Перед взятием биоптата проводили местную анестезию 2% раствором новокаина. Очаг поражения промывали водопроводной водой и высушивали стерильными салфетками. Биопсия бралась на границе здоровой и поврежденной ткани трубчатым скальпелем (панч) диаметром 5 мм. Образцы помещались в пробирки с жидкой транспортной средой Эймса. В изотермических условиях транспортировались в лабораторию в течение 3 часов. Таким образом при исследовании культурома биоптатов мякиша копытец крупного рогатого скота была выделена разнообразная микрофлора (окружающей среды, слизистых оболочек и кожи, потенциально патогенная и гноеродная микрофлора, условно-патогенные грибы) и грибы, которые могут потенциально участвовать в развитии и поддержании воспаления мягких тканей, кожи, ее придатков и подкожно-жировой клетчатки. Можно предположить, что основное проникновение микроорганизмов в очаг воспаления происходит из внешней среды, в процессе патогенеза происходит осложнение патологического процесса гноеродной микрофлорой, которая в дальнейшем усугубляет и осложняет течение болезни.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Хромота у лактирующих коров на крупных молочных животноводческих фермах и небольших фермерских хозяйствах является одной из основных проблем во всем мире [1- 3].

Появление патологий в области дистального отдела конечностей у животных как правило сопровождаются хромотой, это вызвано болевым синдромом. Поэтому чтобы уменьшить его, животные пытаются снизить нагрузку с пораженной конечности и перенести вес на здоровую [4].

Заболевания дистального отдела конечностей, в зависимости от тяжести вызывает боль [5], стресс [6], и изменения нормального поведения молочных коров [7], что приводит к ухудшению состояния животных [8]. Ортопедические заболевания у крупного рогатого скота влияют на экономическую составляющую молочных ферм, в частности: большие затраты на содержание больных коров, высокий риск выбраковки, уменьшение надоев молока, снижение репродуктивных функций [9-11].

Поражения дистального отдела конечностей у лактирующих коров могут быть как инфекционной, так и неинфекционной этиологии. Язва пальцевого мякиша или пальцевой дерматит или болезнь Мортелларо и некробактериоз является инфекционными заболеваниями. Эти заболевания могут возникать при несоблюдении зоогигиенических правил содержания, не выполнении профилактических мероприятий (например, несвоевременная и плохая уборка навоза, отсутствие или неправильное применение профилактических ванн). [12, 13].

Основные неинфекционные поражения копытцев связаны с разрушением анатомических структур дистального отдела конечностей и включают следующие заболевания: болезни белой линии, язва Рустергольца, некроз большого пальца, горизонтальную, вертикальную и осевую трещину, межпальцевую гиперплазию, тонкую подошву [14] и могут быть вторично инфицированы бактериями, ассо-

циированными с пальцевым дерматитом [15- 18].

Распространенность пальцевого дерматита копыт различаются в зависимости от породы коров, возраста, строения копытцев, наличия других инфекционных заболеваний и факторов, связанных с внутренней и внешней биозащищенностью [19- 21].

Некачественные покрытие пола, бетонные покрытия или грязные, влажные поверхности могут способствовать механическим повреждениям в области копытцев с проникновением болезнетворных бактерий и в дальнейшем развитие инфекции. Поэтому необходимо знать видовой состав микроорганизмов при правильном подборе лекарственных препаратов при лечении животных.

Целью работы являлось определение видового состава микробного пейзажа при язве пальцевого мякиша у коров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Все аспекты проведенного исследования выполнены в соответствии с Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

Проведено исследование по определению видового разнообразия микроорганизмов при язве пальцевого мякиша у крупного рогатого скота. Исследование проводилось на базе лаборатории культурных и протеомных исследований в микробиологии Научно-образовательного профессионального центра генетических и лабораторных технологий ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава России.

Образцы (биоптаты) для исследования выделялись на молочной ферме ГУП СО Купинское (сейчас АО Купинское) Безенчукского района Самарской области.

Бактериологический материал отбирался от больных животных в области мякиша пальцев в количестве пяти, на границе здоровой и поврежденной ткани.

Техника выполнения биопсии. Животное фиксировали в специальном ортопедическом станке. Перед взятием биоптата проводили местную анестезию 2% раствором новокаина. Очаг поражения промывали водопроводной водой и высушивали стерильными салфетками. Биопсия бралась на границе здоровой и поврежденной ткани трубчатым скальпелем (панч) диаметром 5 мм (рисунок 2.). Трубчатый скальпель погружали в исследуемый кожный участок, для получения биоптата (по форме напоминающий столбик). Этот столбик включал в себя поверхностные и глубокие слои кожи (эпидермис и дерму) вместе с подкожной жировой клетчаткой (гиподермой).



Рисунок 1 – Взятие биопсии из патологического очага при помощи панча для микробиологических исследований.

Образцы помещались в пробирки с жидкой транспортной средой Эймса (рисунок 2). В изотермических условиях транспортировались в лабораторию в течение 3 часов. Затем биоптаты помещали в стерильные пробирки от компании "MP BIOMEDICALS", добавляя физиологический раствор 0,9% NaCl в количестве 1 мл, и помещали в гомогенизатор "MP

BIOMEDICALS FastPrep-24 Classic Instrument". В последствии гомогенат центрифугировали в течение 2 минут. Пробирки с супернатантом и гомогенатом инокулировались на плотные питательные среды.

Культивирование посевов проводилось при следующих условиях: аэробные (в термостате лабораторном (ТВ-80-1, Россия), микроаэрофильные (в CO₂-инкубаторе (Sanyo MCO-18AC, Япония), анаэробные (в анаэробной станции Vacutron (Sheldon, США)). Инкубирование проводилось в течение 120 часов с ежедневным просмотром чашек. Все типы выросших колоний идентифицировались с использованием метода MALDI-ToF масс-спектрометрии на масс-спектрометре Microflex LT (Bruker, Германия). Подготовка образцов колоний микроорганизмов проводилась методом прямого и расширенного нанесения и методом экстракции.

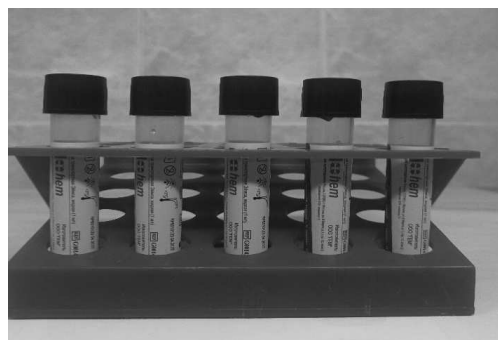


Рисунок 2 – Пробирки с биоптатами в жидкой транспортной среде Эймса.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе проведенных бактериологических исследований пяти отобранных проб – пораженных очагов в области пальцевого мякиша от больных животных были выделены: микрофлора окружающей среды 17 видов, микрофлора слизистых оболочек и кожи 18 видов, потенциально патогенная и гноеродная микрофлора 35 видов, условно-патогенные грибы семь видов.

Рост вышеобозначенных микроорганизмов на твердых питательных средах представлены на рисунках 1-5.

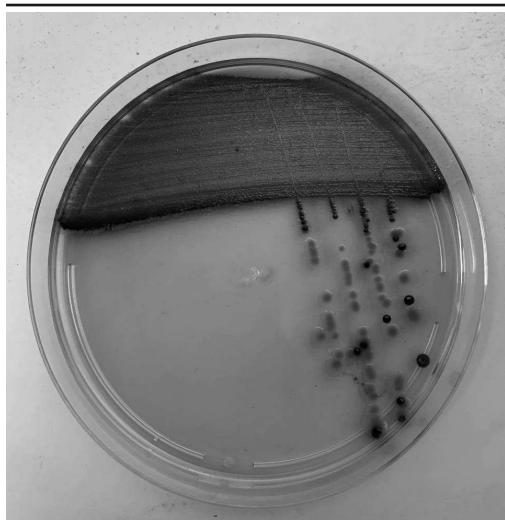


Рисунок 3 – Хлорамфеникол-агар Сабуро (Химедия, Параллелатуйлисим) для определения кишечной палочки, вариабельных ацинетобактерий, *Pediococcus pentosaceus*, *Glutamicibacter ardleyensis*.

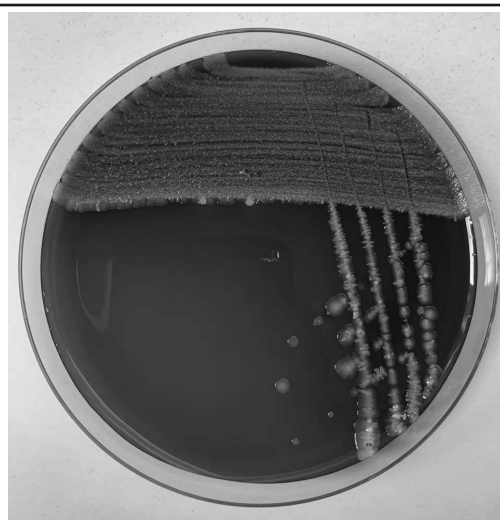


Рисунок 4 – 5%-ный красный агар с баренцевой корочкой на основе агара Мюллера Хинтона (Химедия, Индия) Кишечная палочка, янтарный стафилококк, *aerococcus viridans*, *acinetobacter pseudolwoffii*, *aeromonas salmonicidae*.

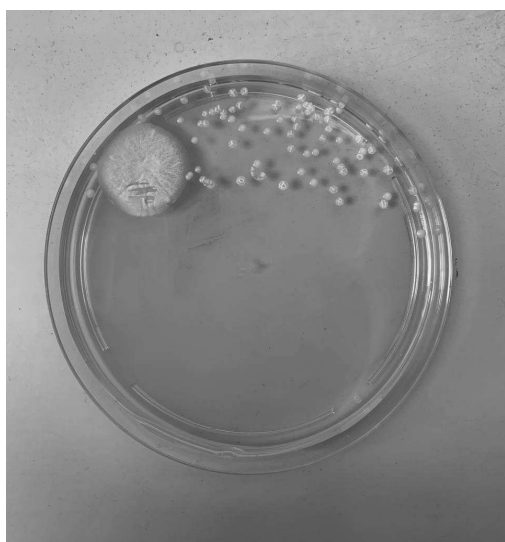


Рисунок 5 – Чапек-докс-агар (Химедия, Индия) *Pichia kudriavzevii*, *Aspergillus fumigatus*.

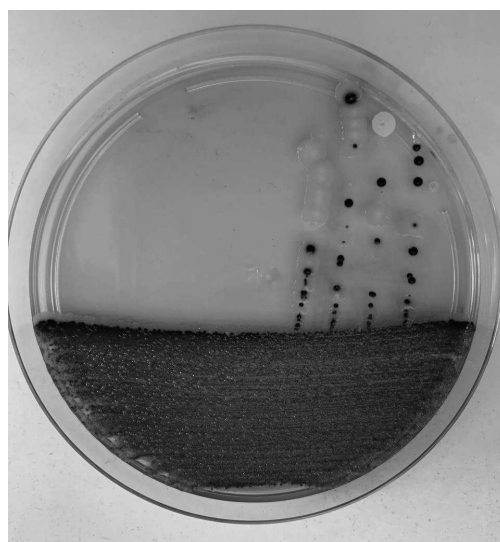


Рисунок 6 – Хлорамфеникол-агар Сабуро (Himedia, Parliamentarii), содержащий энтерококки *hirae*, *proteus mirabili*, энтеробактерии канализационные, *Comamonas Jiangduensis*, *Aerococcus viridans*, *Corynebacterium amycolatum*.

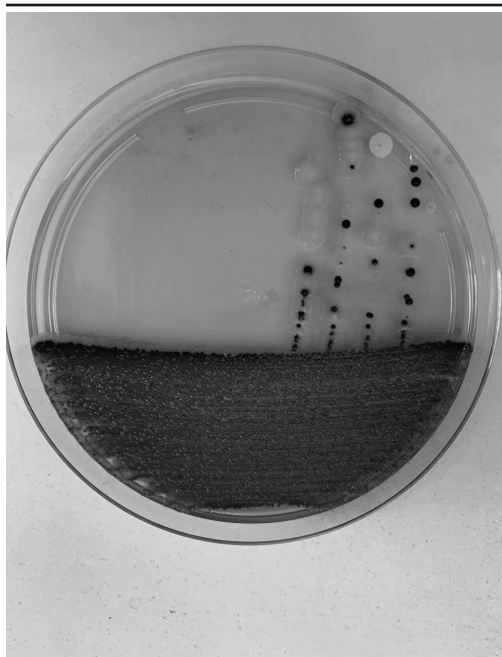


Рисунок 7 – Хлорамфениколовый агар Сабуро (*Himedia, Parliamentarii*) содержит энтеробактерии канализационных стоков, цитробактерии *braakii*, *aerococcus viridans*, фекальный энтерококк, *Acinetobacter gandensis*.

Микрофлора окружающей среды была представлена родами *Acinetobacter* и *Bacillus*, по пять из каждого рода, что составило 58,82% от всех родов. Другие представители микрофлоры из окружающей среды представлены единичными родами: *Glutamicibacte*, *Comamonas*, *Staphylococcus*, *Rummeliibacillus*, *Kosakonia*, *Kurthia*, *Paenibacillus*.

Микрофлора слизистых оболочек и кожи по пять из каждого рода *Corynebacterium* и *Staphylococcus* - 55,56%. Другая микрофлора *Aerococcus* – 11,12%. В единичных случаях *Acinetobacter*, *Lactococcus*, *Weissella*, *Ligilactobacillus*, *Vagococcus*, *Pediococcus*.

Потенциально патогенная и гноеродная микрофлора представлена широким спектром возбудителей. Основными представителями явились роды *Aer-*

omonas и *Citrobacter* – по 14,28%, из каждого рода. Другие возбудители родов *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Enterobacter* по 11,43%, из каждого рода. В меньшем количестве *Proteus* – 8,57%. Единичными представителями были роды *Escherichia*, *Leclercia*, *Staphylococcus*, *Myroides*, *Providencia*, *Shewanella*, *Kluyvera*, *Klebsiella*, *Morganella*, *Pseudomonas*.

Основным представителем условно-патогенных грибов является род *Aspergillus* - 28,57%. Реже встречались роды *Pichia*, *Meyerozyma*, *Lichtheimia*, *Rhizopus*, *Rhizomucor*. Сводные результаты культурного исследования биоптатов представлены в таблице 1.

Таким образом на основании проведенных микробиологических исследований установлено, что во всех случаях при язве пальцевого мякиша у крупного рогатого скота, в биоптатах обнаружены представители потенциально патогенной и гноеродной микрофлоры, микробы-обитатели слизистых оболочек и кожи, свободно живущие микробы окружающей среды и условно-патогенные грибы.

По данным многих авторов при ортопедических патологиях дистальных участков конечностей всегда присутствуют ассоциации микробов [22, 23, 24, 25].

Наши исследования согласуются и подтверждают результаты Д.Н. Надеждин, Е.М. Марьин, и др. (2025) о том, что при заболеваниях в области копытца являются ассоциации патогенной и условно патогенной микрофлоры и дрожжеподобные грибы [26].

Анализ результатов исследований свидетельствует об отсутствии одиночных специфических возбудителей при данной патологии. Во всех исследованиях наличествуют потенциально патогенные и гноеродные, аэробные и анаэробные микроорганизмы [27].

Таблица 1 – Результаты культурного исследования

Микрофлора окружающей среды	Микрофлора слизистых оболочек и кожи	Потенциально патогенная и гноеродная микрофлора	Условно-патогенные грибы
Acinetobacter pseudolwoffii Acinetobacter variabilis Acinetobacter townneri Acinetobacter gandensis Acinetobacter indicus Bacillus licheniformis Bacillus altitudinis Bacillus subtilis Bacillus megaterium Bacillus amyloliquefaciens Glutamicibacter ardleyensis Comamonas jiangduensis Staphylococcus borealis Rummeliibacillus suwonensis Kosakonia cowanii Kurthia huakuii Paenibacillus polymyxa	Corynebacterium amycolatum Corynebacterium stationis Corynebacterium glutamicum Corynebacterium phoceense Corynebacterium casei Staphylococcus succinus Staphylococcus sciuri Staphylococcus simulans Staphylococcus equorum Staphylococcus arlettae Aerococcus viridans Aerococcus urinaequi Acinetobacter johnsonii Lactococcus lactis Weissella cibaria Ligilactobacillus salivarius Vagococcus fluvialis Pediococcus pentosaceus	Aeromonas salmonicida Aeromonas eucrenophila Aeromonas media Aeromonas veronii Aeromonas bestiarum Citrobacter freundii Citrobacter braakii Citrobacter gillenii Citrobacter amalonaticus Citrobacter koseri Enterococcus avium Enterococcus hirae Enterococcus faecalis Enterococcus pseudoavium Streptococcus uberis Streptococcus lutetiensis Streptococcus equinus Streptococcus infantarius Enterobacter hormaechei Enterobacter asburiae Enterobacter ludwigii Enterobacter cloacae Proteus mirabilis Proteus hauseri Proteus vulgaris Escherichia coli Staphylococcus gallinarum Pseudomonas aeruginosa Leclercia adecarboxylata Myroides odoratimimus Providencia rettgeri Shewanella putrefaciens Kluyvera intermedia Klebsiella aerogenes Morganella morganii	Aspergillus fumigatus Aspergillus nidulans Pichia kudriavzevii Meyerozyma guilliermondii Lichtheimia ramosa Rhizopus stolonifer Rhizomucor pusillus.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом при исследовании культурома биоптатов мякиша копыт крупного рогатого скота была выделена разнообразная гноеродная микрофлора условно-патогенные грибы, которые могут потенциально участвовать в развитии и поддержании воспаления мягких тканей, кожи, ее придатков и подкожно-жировой клетчатки. Можно предположить, что основное проникновение мик-

роорганизмов в очаг воспаления происходит из внешней среды, в процессе патогенеза происходит осложнение патологического процесса гноеродной микрофлорой, которая в дальнейшем усугубляет и осложняет течение болезни.

Нами установлено, что на долю потенциально патогенной и гноеродной микрофлоры приходится 46,66 %, от общего числа выделенных микроорганизмов. Микроорганизмы слизистых оболоч-

чек и кожи обнаружены в 24% случаев. На долю микрофлора окружающей среды и условно-патогенных грибов приходится 22,67% и 6,67% соответственно. Специфических возбудителей при пальцевом дерматите нами не было выявлено.

Считаем, что полученные результаты необходимо учитывать при организации и проведении лечебных мероприятиях при ортопедических патологиях у лактирующих коров. Поэтому необходимо знать видовой состав микроорганизмов при правильном подборе лекарственных препаратов при лечении животных.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MICROBIOLOGICAL STUDIES IN CASE OF FINGER CRUMB ULCER IN CATTLE

Nenashev I.V.* – Candidate of Sciences. Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department. Anatomy of Obstetrics and Surgery (ORCID 0000-0002-3340-885X).

Samara State Agrarian University

* nenashev1974@inbox.ru

ABSTRACT

Lesions of the distal extremities in lactating cows can be of both infectious and non-infectious etiology. Finger crumb ulcer or finger dermatitis or Mortellaro's disease and necrobacteriosis are infectious diseases. These diseases can occur if zoogynical rules of maintenance are not followed, if preventive measures are not taken (for example, untimely and poor manure harvesting, absence or improper use of preventive baths). Bacteriological material was taken from sick animals in the area of the finger crumb from five animals. The animal was fixed in a special orthopedic machine. Before taking the biopsy, local anesthesia was performed with a 2% solution of novocaine. The lesion was washed with tap water and dried with sterile wipes. The biopsy was performed at the border of healthy and damaged tissue with a tubular scalpel (punch) with a diameter of 5 mm. The samples were placed in tubes with liquid Ames transport medium. Under iso-

thermal conditions, they were transported to the laboratory for 3 hours. Thus, when studying the culture of biopsies of bovine hoof crumb, a variety of microflora (environment, mucous membranes and skin, potentially pathogenic and purulent microflora, opportunistic fungi) and fungi that can potentially participate in the development and maintenance of inflammation of soft tissues, skin, its appendages and subcutaneous fat were isolated. It can be assumed that the main penetration of microorganisms into the focus of inflammation occurs from the external environment, during pathogenesis, the pathological process is complicated by purulent microflora, which further aggravates and complicates the course of the disease.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Комаров, В.Ю. Хромота у коров. / В.Ю. Комаров // Вестник аграрной науки. – 2021. – №. 6 (93). – С. 25-31. Режим доступа: <https://reader.lanbook.com/journalArticle/624256>
2. Симонов, Ю.И. Факторы, влияющие на здоровье копыт у коров. /Ю.И. Симонов, Л.Н. Симонова, В.В. Черненко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №. 3. – С. 99-101. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35016571>
3. Концевая, С.Ю. Оценка степени хромоты у коров. /С.Ю. Концевая, А. М. Нефедов, В.И. Луцай, и др.//Аграрная наука. – 2022. – Т. 354. – №. 11-12. – С. 43-45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47537896>
4. Moreira T. F. et al. Risk factors associated with lameness and hoof lesions in pasture-based dairy cattle systems in southeast Brazil //Journal of dairy science. – 2019. – Т. 102. – №. 11. – С. 10369-10378. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219307696>
5. Passos L. T. et al. Dairy cows change locomotion score and sensitivity to pain with trimming and infectious or non-infectious lesions //Tropical animal health and production. – 2017. – Т. 49. – №. 4. – С. 851-856. Режим доступа: researchgate.net/publication/304357256

6. Janssen S. et al. Pilot study on hormonal, metabolic, and behavioral stress response to treatment of claw horn lesions in acutely lame dairy cows //Journal of Dairy Science. – 2016. – Т. 99. – №. 9. – С. 7481-7488. Режим доступа: DOI:10.1007/s11250-017-1273-0
7. Proudfoot K. L., Weary D. M., Von Keyserlingk M.A.G. Behavior during transition differs for cows diagnosed with claw horn lesions in mid lactation //Journal of dairy science. – 2010. – Т. 93. – №. 9. – С. 3970-3978. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030218307288>
8. Whay H. R., Shearer J. K. The impact of lameness on welfare of the dairy cow // Veterinary Clinics: Food Animal Practice. – 2017. – Т. 33. – №. 2. – С. 153-164. Режим доступа: DOI:10.1016/j.cvfa.2017.02.008
9. Решетка М.Б. Распространение мастита у коров и разработка средства профилактики мастита в период сухостоя. /М.Б. Решетка //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. №. 88. С. 826-840. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26632201>
10. Симонов, П.Г. Распространение гинекологических заболеваний у коров в Алтайском крае. /П.Г. Симонов, Н.М. Семенихина //Аграрная наука-сельскому хозяйству. 2016. С. 282-284. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26072134>
11. Charfeddine N., Pérez-Cabal M. A. Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows //Journal of dairy science. – 2017. – Т. 100. – №. 1. – С. 653-665. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030216307962>
12. Bell N. J. et al. The development, implementation and testing of a lameness control programme based on HACCP principles and designed for heifers on dairy farms //The Veterinary Journal. – 2009. – Т. 180. – №. 2. – С. 178-188. Режим доступа: DOI:10.1016/j.tvjl.2008.05.020
13. Cramer G. et al. Herd-and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle //Journal of dairy science. – 2008. – Т. 91. – №. 10. – С. 3888-3895. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030208710154>
14. Ненашев, И.В. Распространенность ортопедических болезней дистального отдела конечностей у крупно рогатого скота в зависимости от условий содержания /И.В. Ненашев, Е.М. Марьин //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4. С. 103-108. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=74146301>
15. Manske T., Hultgren J., Bergsten C. Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows //Preventive veterinary medicine. – 2002. – Т. 54. – №. 3. – С. 247-263. Режим доступа: DOI:10.1016/S0167-5877(02)00018-1
16. Somers J. et al. Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems //Journal of dairy science. – 2003. – Т. 86. – №. 6. – С. 2082-2093. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030203737977>
17. Bicalho R. C., Machado V. S., Caixeta L. S. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion //Journal of dairy science. – 2009. – Т. 92. – №. 7. – С. 3175-3184. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030209706344>
18. Green L. E. et al. Temporal associations between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd //Preventive veterinary medicine. – 2014. – Т. 113. – №. 1. – С. 63-71. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587713003036>
19. Griffiths B. E., Grove White D., Oikonomou G. A cross-sectional study into the prevalence of dairy cattle lameness and associated herd-level risk factors in England and Wales //Frontiers in veterinary science. – 2018. – Т. 5. – С. 65. Режим доступа:

DOI:10.3389/fvets.2018.00065

20. Oliveira V. H. S., Sørensen J. T., Thomsen P. T. Associations between biosecurity practices and bovine digital dermatitis in Danish dairy herds //Journal of dairy science. – 2017. – Т. 100. – №. 10. – С. 8398-8408. Режим доступа: DOI:10.3168/jds.2017-12815

21. Palmer M. A., O'Connell N. E. Digital dermatitis in dairy cows: A review of risk factors and potential sources of between-animal variation in susceptibility //Animals. – 2015. – Т. 5. – №. 3. – С. 512-535. Режим доступа: DOI:10.3390/ani5030369

22. Симонова, Е.Ю. Болезни копыт у коров и патогенная микрофлора в некротических участках. /Е.Ю. Симонова, А.А. Самохина //Интенсивность и конкурентоспособность отраслей животноводства: матер. национал. науч.- практич. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, почётного работника высшего профессионального образования РФ, доктора биологических наук, профессора Ващекина Егора Павловича, Брянск, 25 января 2018 года. Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2018. С. 37 – 40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35150899>

23. Масалов, В.Н. Выявление условно патогенной микрофлоры смывов раневой поверхности при заболеваниях дистального отдела конечностей, коров /В.Н. Масалов, В.В. Крайс, С.А. Скребнев, К.С. Скребнева //Вестник аграрной науки. 2022. № 4 (97). С. 43 – 46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49455882>

24. Руколь, В.М. Исследование микробиологического состава экссудата из очагов гнойно-некротических поражений кожи дистальных отделов конечностей крупного рогатого скота. /В.М. Руколь, О.Л. Дубинина //Учёные записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины». 2013. Т. 49. № 2-2. С. 102 – 105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21483132>

25. Хузин, Д.А. Роль сапрофитных и

условно-патогенных микроорганизмов в возникновении и распространении оппортунистических инфекций крупного рогатого скота /Д.А. Хузин, С.А. Юсупов, А.И. Ерошин, Е.Ю. Тарасова, Р.М. Потехина, А.М. Тремасова //Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. НЭ Баумана. – 2022. – Т. 252. – №. 4. – С. 267-272. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49843434>

26. Надеждин Д.Н., Результаты бактериологического исследования смывов с гнойно-некротических поражений копыт у крупного рогатого скота /Д.Н. Надеждин, Е.М. Марьин, О.Н. Марьина, Л.П. Пульчеровская, И.Ф. Калимуллин. //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. №1 (111). С. 151 -158. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80372393>

27. Марьин, Е.М. Индикация микроорганизмов при гнойно-некротическом поражении основы кожи в области копыт у коров методом ПЦР. /Е.М. Марьин, В.А. Ермолаев //Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – №. 4 (36). – С. 135-139. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632792>

REFERENCES

1. Komarov, V.Y. Lameness in cows. / V.Y. Komarov //Bulletin of Agrarian Science. – 2021. – №. 6 (93). – Pp. 25-31. Access mode: <https://reader.lanbook.com/journalArticle/624256>

2. Simonov, Yu.I. Factors affecting the health of hooves in cows. /Yu.I. Simonov, L.N. Simonova, V.V. Chernenok //Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2018. – №. 3. – Pp. 99-101. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35016571>

3. Kontsevaya, S.Y. Assessment of the degree of lameness in cows. /S.Y. Kontsevaya, A.M. Nefedov, V.I. Lutsai, et al.//Agrarian Science. – 2022. – Vol. 354. – No. 11-12. – pp. 43-45. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47537896>

4. Moreira T. F. et al. Risk factors associat-

- ed with lameness and hoof lesions in pasture-based dairy cattle systems in southeast Brazil // *Journal of dairy science*. – 2019. – Vol. 102. – No. 11. – pp. 10369-10378. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219307696>
5. Passos L. T. et al. Dairy cows change locomotion score and sensitivity to pain with trimming and infectious or non-infectious diseases // *Tropical animal health and production*. – 2017. – Vol. 49. – No. 4. – pp. 851-856. Access mode: researchgate.net/publication/304357256
6. Janssen S. et al. Pilot study on hormonal, metabolic, and behavioral stress response to treatment of claw horn diseases in acutely lame dairy cows // *Journal of Dairy Science*. – 2016. – Vol. 99. – No. 9. – pp. 7481-7488. Access mode: DOI:10.1007/s11250-017-1273-0
7. Proudfoot K. L., Weary D. M., Von Keyserlingk M.A.G. Behavior during transition differences for cows diagnosed with claw horn lesions in mid lactation // *Journal of dairy science*. – 2010. – Vol. 93. – No. 9. – pp. 3970-3978. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030218307288>
8. Whay H. R., Shearer J. K. The impact of lameness on welfare of the dairy cow // *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. – 2017. – Vol. 33. – No. 2. – pp. 153-164. Available at: DOI:10.1016/j.cvfa.2017.02.008
9. Lattice M.B. The spread of mastitis in cows and the development of a means of preventing mastitis during the dry season. / M.B. Lattice // *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2013. No. 88. pp. 826-840. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26632201>
10. Simonov, P.G. The spread of gynecological diseases in cows in the Altai Territory. P.G. Simonov, N.M. Semenikhina // *Agricultural science is dedicated to agriculture*. 2016. pp. 282-284. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26072134>
11. Charfeddine N., Pérez-Cabal M. A. The effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows // *Journal of dairy science*. – 2017. – Vol. 100. – No. 1. – pp. 653-665. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030216307962>
12. Bell N. J. et al. The development, implementation and testing of a lameness control program based on HACCP principles and designed for heifers on dairy farms // *The Veterinary Journal*. – 2009. – Vol. 180. – No. 2. – pp. 178-188. Available at: DOI:10.1016/j.tvjl.2008.05.020
13. Cramer G. et al. Herd-and cow-level prevalence of foot diseases in Ontario dairy cattle // *Journal of dairy science*. – 2008. – Vol. 91. – No. 10. – pp. 3888-3895. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030208710154>
14. Nenashev, I.V. The prevalence of orthopedic diseases of the distal extremities in cattle, depending on the conditions of detention / I.V. Nenashev, E.M. Maryin // *Proceedings of the Samara State Agricultural Academy*. 2024. No. 4. pp. 103-108. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=74146301>
15. Manske T., Hultgren J., Bergsten C. Prevention and interrelationships of hoof diseases and lameness in Swedish dairy cows // *Preventive veterinary medicine*. – 2002. – Vol. 54. – No. 3. – pp. 247-263. Access mode: DOI:10.1016/S0167-5877(02)00018-1
16. Somers J. et al. The prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems // *Journal of dairy science*. – 2003. – Vol. 86. – No. 6. – pp. 2082-2093. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030203737977>
17. Bicalho R. C., Machado V. S., Caixeta L. S. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion // *Journal of dairy science*. – 2009. – Vol. 92. – No. 7. – pp. 3175-3184. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030209706344>
18. Green L. E. et al. Temporal associations

- between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd //Preventive veterinary medicine. – 2014. – Vol. 113. – No. 1. – pp. 63-71. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587713003036>
19. Griffiths B. E., Grove White D., Oikonomou G. A cross-sectional study into the prevalence of dairy cattle lameness and associated herd-level risk factors in England and Wales //Frontiers in veterinary science. – 2018. – Vol. 5. – p. 65. Access mode: DOI:10.3389/fvets.2018.00065
20. Oliveira V. H. S., Sørensen J. T., Thomsen P. T. Associations between biosecurity practices and bovine digital dermatitis in Danish dairy herds //Journal of dairy science. – 2017. – Vol. 100. – No. 10. – pp. 8398-8408. Available at: DOI:10.3168/jds.2017-12815
21. Palmer M. A., O'Connell N. E. Digital dermatitis in dairy cows: A review of risk factors and potential sources of between-animal variation in susceptibility //Animals. – 2015. – Vol. 5. – No. 3. – pp. 512-535. Access mode: DOI:10.3390/ani5030369
22. Simonova, E.Y. Diseases of hooves in cows and pathogenic microflora in necrotic areas. / E.Y. Simonova, A.A. Samokhina // Intensity and competitiveness of livestock industries: mater. National scientific- practical conference, dedication. 85th anniversary of the birth of Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Doctor of Biological Sciences, Professor Egor Pavlovich Vashchekin, Bryansk, January 25, 2018. Bryansk: Publishing House of the Bryansk State Agrarian University, 2018. pp. 37-40. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35150899>
23. Masalov, V.N. Identification of conditionally pathogenic microflora of wound surface flushes in diseases of the distal extremities, cows /V.N. Masalov, V.V. Kreis, S.A. Skrebnev, K.S. Skrebneva //Bulletin of Agrarian Science. 2022. No. 4 (97). pp. 43-46. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49455882>
24. Rukol, V.M. Investigation of the microbiological composition of exudate from foci of purulent-necrotic skin lesions of the distal extremities of cattle. /V.M. Rukol, O.L. Dubinina //Scientific notes of the educational institution "Vitebsk Order "Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine". 2013. Vol. 49. No. 2-2. pp. 102-105. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21483132>
25. Khuzin, D.A. The role of saprophytic and opportunistic microorganisms in the occurrence and spread of opportunistic infections in cattle / D.A. Khuzin, S.A. Yusupov, A.I. Eroshin, E.Y. Tarasova, R.M. Potekhina, A.M. Tremasova //Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after NE Bauman. – 2022. – Vol. 252. – No. 4. – pp. 267-272. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49843434>
26. Nadezhdin D.N., Results of bacteriological examination of flushes from purulent-necrotic lesions of hooves in cattle / D.N. Nadezhdin, E.M. Maryin, O.N. Maryina, L.P. Pulcherovskaya, I.F. Kalimullin. // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2025. No. 1 (111). pp. 151-158. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80372393>
27. Maryin, E.M. Indication of microorganisms in purulent-necrotic lesions of the skin base in the hoof area in cows by PCR /E.M. Maryin, V.A. Ermolaev //Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2016. – №. 4 (36). – Pp. 135-139. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=2763279236>. – Pp. 135-139. Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632792>

УДК: 619:616.31:636.7+636.8

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.448

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИЙ У МЕЛКИХ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ В Г. КОСТРОМА

Калашникова К.А.¹ * – асп.; Стекольников А.А.² – д-р ветеринар. наук, профессор, академик РАН; Решетняк В.В.¹ – д-р ветеринар. наук, доцент; Бурдейный В.В.¹ – д-р ветеринар. наук, профессор

¹ ФГБОУ ВО Костромская ГСХА

² ФГБОУ ВО «Санкт – Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*kalashnikovavet@yandex.ru

Ключевые слова: собаки, кошки, стоматологические заболевания.

Keywords: dogs, cats, dental diseases.

Поступила: 25.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Урбанизация общества на современном этапе развития характеризуется увеличением числа мелких домашних животных и количества обращений их владельцев в ветеринарные клиники и изменением структуры болезней. В последние годы все большее внимание исследователи и практические работники ветеринарной медицины стали уделять новому направлению - стоматологии. Обусловлено это тем, что доля стоматологических заболеваний у собак составляет 10,9, у кошек - 9,7%. Но при этом остаются открытыми вопросы об их распространении, причинах возникновения. Сведения ограничены отдельными сообщениями, результаты исследований сложно сопоставить в силу разнородности исходного материала. Цель работы – провести мониторинг по стоматологическим заболеваниям у собак и кошек в г. Кострома. Материалом для исследований служили данные автоматизированной информационной системы «VetManager», позволяющей вести электронные истории болезни ветеринарной клиники ВетЛайф о всех первично принятых мелких домашних животных (собак и кошек) за 2022-2025 гг. Диагноз у пациентов с признаками стоматологических заболеваний ставили на основании анамнеза, результатов общих и специальных (рентген и др.) методов исследований. Показано, что стоматологические патологии составляют 9,49%, при этом на долю собак и кошек приходится 49,15% и 50,85%, соответственно. У собак наиболее часто регистрируют пародонтиты (37,68%) и зубной камень (23,52%), у кошек - гингивостоматиты (26,89%). Кроме того, у обоих видов животных значительно возросло (в среднем на 7,24%) количество пациентов с диагнозом периапикальный абсцесс. Наиболее часто стоматологические патологии регистрировали в весенне-осенний период. Полученные данные свидетельствуют необходимости более детального изучения данного вопроса.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Урбанизация общества на современном этапе развития характеризуется увеличением числа мелких домашних животных и количества обращений их владельцев в ветеринарные клиники. Вместе с тем, как указывают Шапиро Е. П. и соавт. [8] в структуре заболеваемости регистрируют чаще незаразные болезни - 90,5% (87,6% у кошек и 92,9% у собак) по сравнению с заразными - 9,5%. Наиболее часто при этом у собак отмечают болезни органов пищеварения - 16,3%, в то время как у кошек - мочеполовой системы (26,8%), в меньшей степени, соответственно, болезней кожи и подкожной клетчатки - 12,9 и 11,0%, от воздействия внешних причин (травмы, ожоги, отморожения, отравления и др.) - 12,9 и 10,2 %, новообразования 7,0 и 9,9% и др. При этом, как утверждают авторы, в последние годы все большее внимание исследователи и практические работники ветеринарной медицины стали уделять новому направлению - стоматологии. На долю болезней данной группы у собак приходится 10,9%, у кошек - 9,7%. Сведения об их распространении, причинах возникновения ограничены отдельными сообщениями результаты, которых сложно сопоставить, в силу разнородности исходного материала.

При этом, большинство авторов уделяют особое внимание лишь наиболее часто регистрируемым заболеваниям - в первую очередь пародонтитам, а также гингивитам, гингивостоматитам [5, 6, 7], переломам зуба, пульпитам, периапикальным абсцессам [2].

Обусловлено это тем, что именно пародонтит является наиболее частой причиной заболевания органов ротовой полости как у животных [10], так и у человека [4].

Также, особое внимание специалисты в области ветеринарной стоматологии уделяют переломам зубов у собак и резорбтивному поражению зубов у кошек [10].

Следует отметить, что у некоторых животных к определенным патологиям

полости рта существует породная предрасположенность. Так, по данным ряда авторов у брахицефалических пород собак особенностями строения черепа обусловлена склонность к проблемам с полостью пасти [1, 6, 9], а у экзотических пород кошек установлено носительство генетически наследуемых заболеваний ротовой полости и зубочелюстной системы [3]. При этом, до настоящего времени остаются открытыми вопросы, касающиеся частоты их встречаемости и сезонной динамики в различных регионах Российской Федерации.

Исходя из вышеизложенного, цель нашей работы явилось - изучить данные по стоматологическим заболеваниям у собак и кошек в г. Кострома.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Были использованы данные автоматизированной информационной системы «VetManager», позволяющей вести электронные истории болезни ветеринарной клиники ВетЛайф г. Кострома о всех первично принятых мелких домашних животных (собак и кошек) за 2022-2025 гг. Материалы обрабатывали с помощью встроенных в вышеуказанную программу инструментов и пакета Microsoft Excel.

При клиническом осмотре ротовой полости определяли наличие клинических признаков заболеваний ротовой полости. При необходимости использовали дополнительные методы исследований.

Диагноз у пациентов с признаками стоматологических заболеваний ставили на основании анамнеза, результатов общих и специальных (рентген и др.) методов исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

За указанный период (2022-2025 гг.) клиникой было принято 43930 пациентов (собак и кошек), в том числе в 2022, 2023, 2024 и 2025 гг., - 2395; 7656; 12544 и 21335 случаев.

При этом на долю стоматологической патологии из этого числа пришлось 4169 (9,49%), в том числе по годам 8,8% (213); 6,9% (531); 11% (1385) и 9,56% (2040), соответственно.

Следует отметить, что из 4169 животных 50,85% (2120 обращений) составляли кошки и 49,15% (2049 случаев) - собаки (Рисунок 1).

При этом, анализ динамики заболеваемости, показал, что на фоне увеличения общего количества больных с патологиями ротовой полости с 213 в 2022 г. до 2040 в 2025 г. отмечали уменьшение их количества у кошек 59,15 до 48,82%, и

увеличение с 40,85; 37,1 и 51,18% у собак, соответственно (Рисунок 2).

При выборке из 4169 животных, установлено, что наиболее часто регистрируемыми патологиями у обоих видов животных являются гингивиты, гингивостоматиты, периапикальные абсцессы, зубной камень, переломы зубов, пародонтиты (рисунок 3).



Рисунок 1 – Стоматологические заболевания кошек и собак за 2022 – 2025 гг. (%).

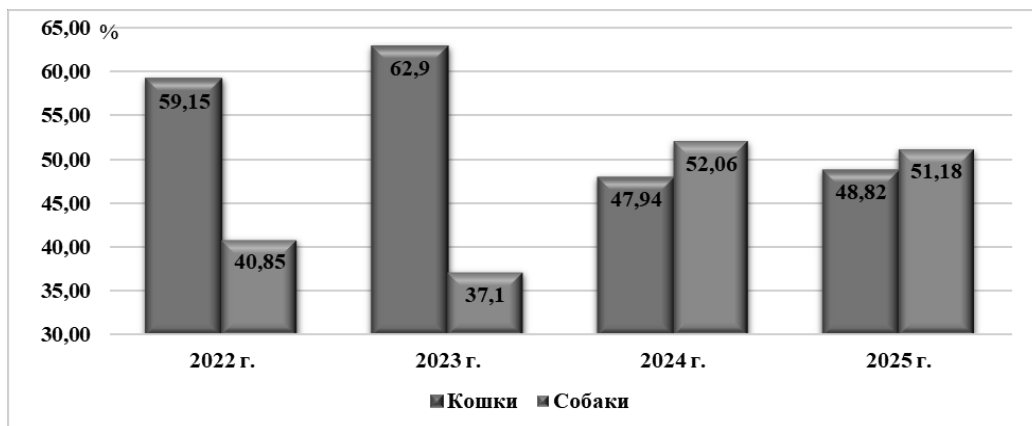


Рисунок 2 – Динамика стоматологических патологий у кошек и собак.

При этом следует отметить, что из общего числа стоматологических патологий наибольший удельный вес в 2022, 2023, 2024 гг. составляли гингивостоматиты и пародонтиты – 33,8; 30,3; 22,2 и 23,0; 27,1 и 30,6%, соответственно, тогда как в 2025 г. их показатель находился в пределах 13,09 и 27,99%, соответственно. Доля гингивитов, периапикальных абсцессов, зубного камня и переломов зубов составляла 10,3, 16,2, 13,7 0,94; 6,2, 8,52, 15,96, 17,5; 16,03, 15,9, 2,64, 8,8 и 13,38, 7,03,

26,03, 12,21%, соответственно.

Также следует отметить, что в период с 2022 по 2025 гг. резко возросло (в среднем на 7,24%) количество пациентов с периапикальными абсцессами. Так, в 2022 г. их удельный вес в структуре зубных патологий составлял 0,94%, а в 2025 - 7,3%.

Анализ данных, представленных на рисунке 4, выявил видовые отличия в структуре заболеваний ротовой полости.

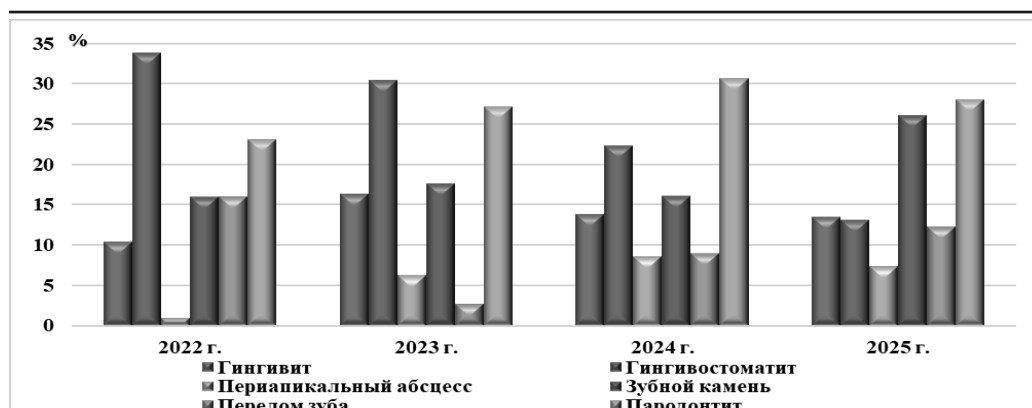


Рисунок 3 – Структура заболеваний ротовой полости у собаки и кошек.

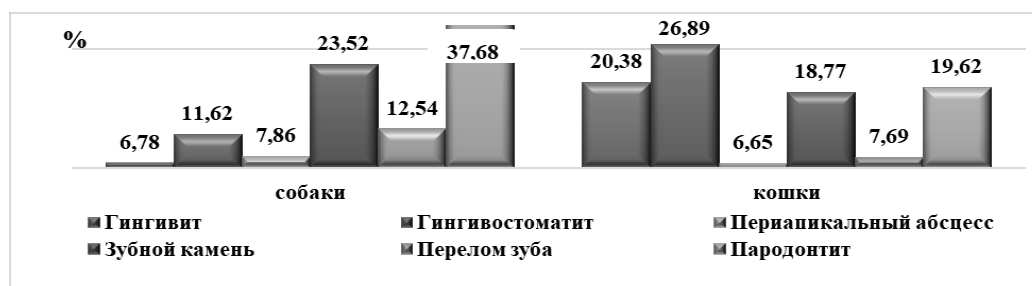
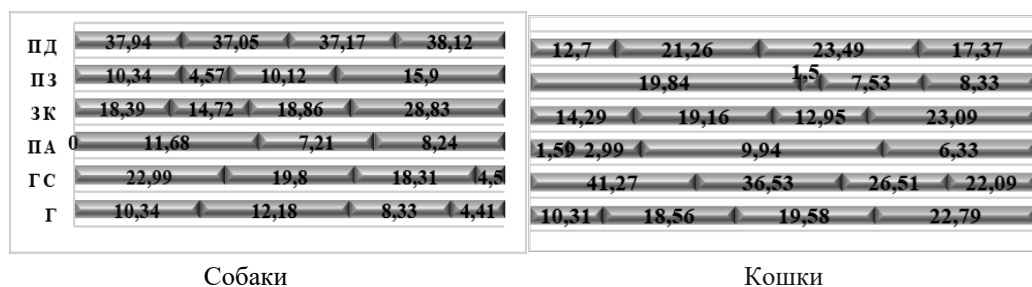


Рисунок 4 – Структура стоматологических патологий по видам животных.



Примечание:

1 – ■ – 2022, ■ – 2023, ■ – 2024, ■ – 2025 гг.

2 – ПД – пародонтит, ПЗ – перелом зуба, ЗК – зубной камень, ПА – периапикальный абсцесс, ГС – гингивостоматит, Г – гингивит.

Рисунок 6 – Структура заболеваний ротовой полости у собак и кошек в динамике.

Так, у собак в указанный период наиболее часто регистрировали пародонтиты (37,68%), зубной камень (23,52%), переломы зубов и гингивостоматиты 12,54 и 1,62%, соответственно, тогда как у кошек гингивостоматиты (26,89%), гингивиты (20,38%),

пародонтит (19,62%) и зубной камень (18,77%).

При этом, анализ динамики вышеуказанных патологий (рисунок 6) показал, что как у собак в период с 2022 по 2025 гг. наибольшее число обращений в пределах 37,05 – 38,12 % приходилось на пародонтит.

донтиты, тогда как у кошек – гингивостоматиты (41,27 – 22,09%).

При этом у обоих видов животных по сравнению с 2022 г резко возросло число периапикальных абсцессов с 0 до 11,68, 7,21 и 8,24 % и с 1,59 до 2,99, 9,94 и 6,33 % в 2022, 2023, 2024 и 2025 гг., соответственно.

Проявление стоматологических заболеваний в зависимости от времени года представлено на рисунке 7.

Исходя из рисунка 7 было установлено, что наиболее часто патологии ротовой полости отмечали с весны по осень.

При этом во все сезоны года регистрировали на одном уровне гингивостоматит, перелом зуба и пародонтит, в то время как наиболее высокие показатели регистрации гингивита и зубного камня отмечали в весенне-осенний, а периапикального абсцесса в летне-осенний периоды (рисунок 8).

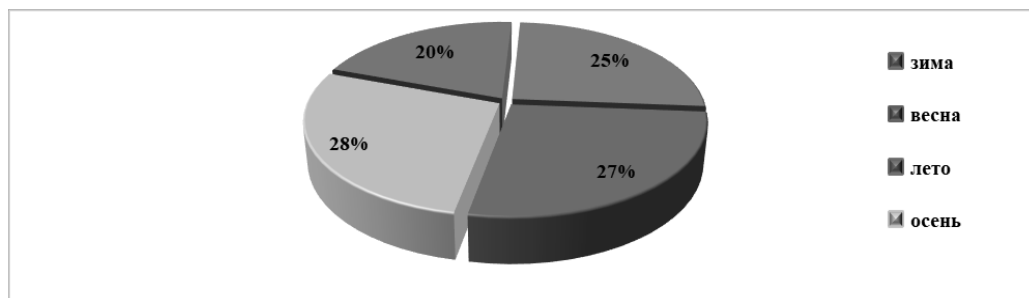


Рисунок 7 – Регистрация стоматологических патологий у собак и кошек в зависимости от сезона.

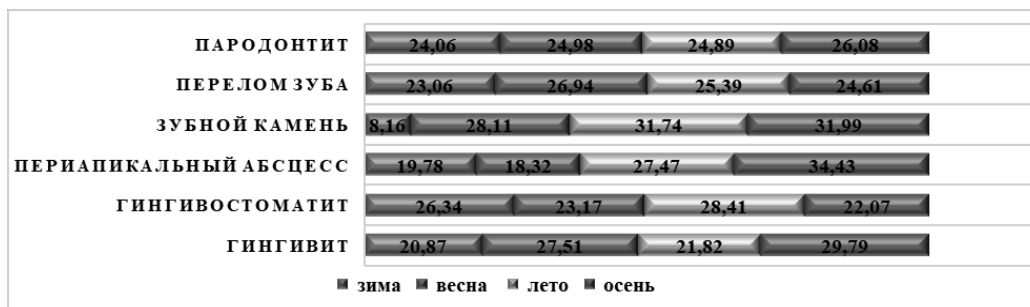


Рисунок 8 – Структура стоматологических заболеваний в зависимости от сезона года.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Стоматологические патологии у собак и кошек регистрируют у 9,49%. На долю кошек и собак приходится 50,85% и 49,15% соответственно.

Наиболее часто регистрируемыми патологиями у собак являются пародонтиты (37,68%) и зубной камень (23,52%), а у кошек - гингивостоматиты (26,89%). Также зафиксирован значительный рост количества пациентов с диагнозом «периапикальный абсцесс» у обоих видов животных — в среднем на 7,24%. Наибо-

лее часто стоматологические патологии регистрировали в весенне-осенний период. Полученные данные свидетельствуют необходимости более детального изучения данного вопроса.

STATISTICAL ANALYSIS OF DENTAL PATHOLOGIES IN SMALL PETS IN KOSTROMA

Kalashnikova K.A.¹ *- graduate student; Stekolnikov A.A.² - Doctor of Veterinary Sciences, professor, Active member of the Russian Academy of Sciences (RAS);

Reshetnyak V.V.¹ - Doctor of Veterinary Sciences, associate professor; **Burdeyniy V.V.**¹ - Doctor of Veterinary Sciences, professor.

¹ FSBEI HE "Kostroma State Agricultural Academy"

² FSBEI HE "St. Petersburg State University of Veterinary Medicine"

*kalashnikovavet@yandex.ru

ABSTRACT

Urbanisation of society at the present stage of development is characterised by an increase in the number of small domestic animals and the number of visits by their owners to veterinary clinics, as well as a change in the structure of diseases. In recent years, researchers and practitioners in veterinary medicine have begun to pay increasing attention to a new field: dentistry. This is due to the fact that the incidence of dental diseases in dogs is 10.9% and in cats 9.7%. However, questions remain about their prevalence and causes. Information is limited to individual reports, and the results of studies are difficult to compare due to the heterogeneity of the source material. The aim of the study was to monitor dental diseases in dogs and cats in Kostroma. The research was based on data from the VetManager automated information system, which allows the VetLife veterinary clinic to maintain electronic medical records for all small pets (dogs and cats) initially admitted between 2022 and 2025. The diagnosis of patients with signs of dental diseases was made on the basis of anamnesis and the results of general and special (X-ray, etc.) research methods. It was shown that dental pathologies account for 9.49%, with dogs and cats accounting for 49.15% and 50.85%, respectively. Periodontitis (37.68%) and tartar (23.52%) are most commonly recorded in dogs, while gingivostomatitis (26.89%) is most common in cats. In addition, the number of patients diagnosed with periapical abscesses increased significantly (by an average of 7.24%) in both species. Dental pathologies were most frequently recorded in the spring and autumn periods. The data

obtained indicate the need for a more detailed study of this issue.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жуков, В. М. Органопатология зубов кошки / В. М. Жуков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 9(179). – С. 127-130. – EDN JNMKXI.
2. Карпович, Е. А. Клинико-рентгенографическая диагностика и оперативное лечение пульпита коренных зубов у собак : специальность 06.02.04 "Ветеринарная хирургия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Карпович Елена Александровна. – Москва, 2010. – 20 с. – EDN QGXPLX.
3. Кривенкова, В. Е. Распространенность болезней ротовой полости у кошек / В. Е. Кривенкова, С. А. Берсенева, Л. И. Проскурина // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 7(172). – С. 128-134. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-7-128-134. – EDN PMNUOB.
4. Луцкая, И. К. Профилактическая стоматология / И. К. Луцкая, И. Г. Чухрай. – Москва : Медицинская литература, 2009. – 560 с. – ISBN 978-5-89677-136-4. – EDN ZUYPHN.
5. Распространение и причины возникновения заболеваний пародонта у собак и кошек / Н. М. Хомин, А. Р. Мисак, И. И. Иглицкий [и др.] // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – 2016. – Т. 18, № 1-1(65). – С. 194-199. – EDN VZDMHL.
6. Распространенность инфекционных гингивитов и парадонтитов у домашних животных / В. В. Кротенко, А. С. Спирина, И. В. Шипова, А. М. Коваленко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 8. – С. 188-191. – EDN VYMHMX.
7. Циулина, Е. П. Лечение хронического гингивостоматита кошек / Е. П. Циулина, Ю. С. Шакирова, О. А. Полякова // Аграрная наука на Севере - сельскому хозяйству : Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции

(с международным участием), Сыктывкар, 26 апреля 2024 года. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. – С. 447-449. – DOI 10.24412/cl-37231-2024-1-447-449. – EDN JMBSRG.

8. Шапиро, Е. П. Особенности заболеваемости домашних животных, проживающих рядом с человеком, в условиях г. Хабаровск / Е. П. Шапиро, Н. А. Краснослободцев, Н. С. Кухаренко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2019. – № 3 (51). – С. 97-104. – DOI 10.22450/1999-6837-2019-3-97-104. – EDN KWHOLM.

9. Atlas of Dentistry in Cats and Dogs Markus Eickhoff Translated by Karen Leube. 2020. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG. Rüdigerstr, 70469 Stuttgart, Germany.

10. Jerzy Gawor, Brook The Veterinary Dental Patient. A Multidisciplinary Approach. 2021 John Wiley & Sons Ltd.

REFERENCES

1. Zhukov, V. M. Organopatologiya zubov koshki / V. M. Zhukov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 9(179). – S. 127-130. – EDN JNMKXI.

2. Karpovich, E. A. Klinikorentgenograficheskaya diagnostika i operativnoe lechenie pulpita korennykh zubov u sobak: spetsialnost 06.02.04 "Veterinarnaya khirurgiya" : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata veterinarnykh nauk / Karpovich Elena Aleksandrovna. – Moskva, 2010. – 20 s. – EDN QGXPLX.

3. Krivenkova, V. E. Rasprostranennost bolezney rotovoy polosti u koshek / V. E. Krivenkova, S. A. Berseneva, L. I. Proskurina // Vestnik KrasGAU. – 2021. – № 7 (172). – S. 128-134. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-7-128-134. – EDN PMNUOB.

4. Lutsкая, I. K. Profilakticheskaya stomatologiya / I. K. Lutsкая, I. G. Chukhray. –

Moskva: Meditsinskaya literatura, 2009. – 560 s. – ISBN 978-5-89677-136-4. – EDN ZUYPHN.

5. Rasprostranenie i prichiny vozniknoveniya zabolevaniy parodonta u sobak i koshek / N. M. Khomin, A. R. Misak, I. I. Iglitskiy [i dr.] // Nauchnyy visnik Lvivskogo natsionalnogo universitetu veterinarnoi meditsini ta biotekhnologiy imeni S.Z. Gzhitskogo. – 2016. – T. 18, № 1-1(65). – S. 194-199. – EDN VZDMHL.

6. Rasprostranennost infektsionnykh gingivito- i paradontitov u domashnikh zhivotnykh / V. V. Krotenko, A. S. Spirina, I. V. Shipova, A. M. Kovalenko // Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – 2015. – № 8. – S. 188-191. – EDN VYMHHX.

7. Tsiulina, E. P. Lechenie khronicheskogo gingivostomatita koshek / E. P. Tsiulina, Yu. S. Shakirova, O. A. Polyakova // Agrarnaya nauka na Severe - selskomu khozyaystvu : Sbornik materialov VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem), Syktyvkar, 26 aprelya 2024 goda. – Kirov: Mezhtseionalnyy tsentr innovatsionnykh tekhnologiy v obrazovanii, 2024. – S. 447-449. – DOI 10.24412/cl-37231-2024-1-447-449. – EDN JMBSRG.

8. Shapiro, E. P. Osobennosti zabolevaemosti domashnikh zhivotnykh, prozhivayushchikh ryadom s chelovekom, v usloviyakh g. Khabarovsk / E. P. Shapiro, N. A. Krasnoslobodtsev, N. S. Kukharenko // Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. – 2019. – № 3(51). – S. 97-104. – DOI 10.22450/1999-6837-2019-3-97-104. – EDN KWHOLM.

9. Atlas of Dentistry in Cats and Dogs Markus Eickhoff Translated by Karen Leube. 2020. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG. Rüdigerstr, 70469 Stuttgart, Germany.

10. Jerzy Gawor, Brook The Veterinary Dental Patient. A Multidisciplinary Approach. 2021 John Wiley & Sons Ltd.

УДК: 576.362:612.111.7

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.455

ВЛИЯНИЕ СЕКРЕТОМА МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЛОШАДИ НА АГРЕГАЦИЮ ТРОМБОЦИТОВ IN VITRO

Нечаев А.Ю.^{1,2} – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. общей, частной и оперативной хирургии, интерн (ORCID 0000-0001-9035-0036); **Бокарев А.В.**¹ – д-р ветеринар. наук, доц. каф. общей, частной и оперативной хирургии (ORCID 0000-0002-4623-5388); **Минина А.О.**^{1*} – канд. ветеринар. наук, доц., доц. кафедры общей, частной и оперативной хирургии (ORCID 0000-0002-4176-4053); **Сорока В.А.**¹ – канд. ветеринар. наук, асс. каф. общей, частной и оперативной хирургии (ORCID 0000-0002-1413-4488); **Али С.Г.**³ – канд. биол. наук, начальник НПЛ клеточных технологий ООО «Стэм реновации» (ORCID 0000-0002-0528-671X);

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

² ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

³ ООО «Стэм реновации»

* bluzma-nast@yandex.ru

Ключевые слова: тромбоциты, секретом, тромбообразование, агрегации, сосудисто-тромбоцитарный гемостаз.

Key words: platelets, secretions, thrombosis, aggregations, vascular-platelet hemostasis.

Финансирование: Материалы подготовлены в рамках Российского научного фонда 2025 года «Использование продуктов секреции мезенхимальных стволовых клеток для стимуляции физиологической и репаративной регенерации кардиореспираторной системы у лошадей» (соглашение №25-16-00265 от 29.05.2025).

Поступила: 31.08.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Исследовали влияние секретом-ма МСК лошади на способность к индукции тромбообразования in vitro путем визуального оценки агрегации тромбоцитов под действием данного

препарата на предметном стекле по методу А. С. Шитиковой, наблюдая процесс под фазовым контрастом. Определение влияния секретом на тромбообразование in vitro проводили на тромбоцитарной плазме, выделенной из крови лошадей с антикоагулянт - цитратом натрия. В пробирки с тромбоцитарной плазмой вносили физиологический раствор (контроль 1), 10,0% раствора хлорида кальция (контроль 2), секретом в пропорции 10 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секретом (опыт 1), секретом в пропорции 20 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части

секретома (опыт 2), секретом в пропорции 20 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секретома и 10,0% раствора хлорида кальция (опыт 3). После добавления контрольных и опытных препаратов к образцам тромбоцитарной плазмы, 10,0 мкл смеси микроскопировали при увеличении X400 используя фазовый контраст. В результате наших исследований были получены данные, указывающие на то, что у секретома МСК лошади отсутствует способность индуцировать агрегацию тромбоцитов. Плазма, обогащенная тромбоцитами, полученная от лошадей (n=10) с цитратом натрия не проявляла признаков агрегации, в отличие от плазмы, обогащенной тромбоцитами с цитратом натрия, активированная хлористым кальцием. При добавлении секретома в концентрациях 10 к 1 (10 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секретома) и 20 к 1 (20 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секретома) агрегация тромбоцитов также не наблюдалась. В то же время, при внесении хлористого кальция в образец плазмы, обогащенной тромбоцитами с добавлением секретома, агрегация тромбоцитов была в пределах нормы.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В настоящее время мезенхимальные стволовые клетки (МСК) являются одним из перспективных направлений в регенеративной медицине. Однако применение стволовых клеток всегда сопряжено с риском возникновения неоплазий, индукции воспалительной реакции или тромбообразования [1]. Считается, что значительную часть положительных эффектов МСК оказывают за счет секреции различных факторов роста, белков, цитокинов, компонентов, выделяемых клетками в окружающую их среду и переносимых в том числе в составе внеклеточных везикул [2, 3, 4, 5, 6]. В связи с этим, если отсутствует необходимость в непосредственного ускорения регенерации путем введения МСК, более доступной и безопасной альтернативой регенеративной терапии может быть использование секретома. Т.е., кондиционной среды, обогащенной различными биологически активными веществами выделяемыми МСК в процессе роста и пролиферации.

Основными преимуществами использования секретома является снижение рисков, связанных с клеточной терапией, а также более простое и быстрое производства секретома в сравнении с МСК [7].

Секретом активно используют для ускорения регенерации тканей, в случаях альтернативы применения стволовых клеток для лечения патологий сердечно-сосудистых, дыхательных, опорно-двигательных и других систем [8, 9, 10].

Секретом, как продукт секреции ме-

зенхимальных стволовых клеток содержит различные белковые молекулы (от 0,5 до 1,5 г/мл) которые, соответственно, как и любые белки, обладающие биологической активностью, могут вызывать локальные или генерализованные изменения, вплоть до негативных, в сосудистом русле, взаимодействуя с рецепторами на мембранах клеток эндотелия или форменных элементов крови.

Целью нашей работы было определить влияние секретома МСК лошади на способность к индукции тромбообразования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Определение способности секретома МСК лошадей индуцировать тромбообразование проверяли в эксперименте *in vitro* путем визуальной оценки агрегации тромбоцитов под действием данного препарата на предметном стекле по методу А. С. Шитиковой, наблюдая процесс под фазовым контрастом.

Определение влияния секретома на тромбообразование *in vitro* проводили следующим образом:

1 – у 10 лошадей отобрали по 10,0 мл крови с антикоагулянтом натрия цитратом.

2 – кровь центрифугировали при 1500 оборотах в минуту 10 минут.

3 – плазму с тромбоцитами отобрали в отдельную пробирку.

4 – в четыре пробирки эпендорф внесли по 500,0 мкл мл тромбоцитарной плазмы.

КОНТРОЛЬ 1. В пробирку №1 добавляли 20,0 мкл физиологического раствора.

КОНТРОЛЬ 2. В пробирку №2 добавляли 20,0 мкл 10,0% раствора хлорида кальция.

ОПЫТ1. В пробирку №3 добавляли 50,0 мкл секрета (10 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секрета).

ОПЫТ2. В пробирку №4 добавляли 25,0 мкл секрета (20 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секрета).

ОПЫТ 3. В пробирку № добавляли 50,0 мкл секрета (10 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секрета) и 20,0 мкл 10,0% раствора хлорида кальция.

5 – после добавления контрольных и опытных препаратов к образцам тромбоцитарной плазмы, 10,0 мкл смеси переносили на предметное стекло и накрывали покровным. Степень агрегации тромбоцитов оценивали визуально микроскопируя образцы при увеличении X400 используя фазовый контраст.

Все контрольные и опытные варианты эксперимента выполняли в пяти (5) повторах.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты исследования показали, что в полученных образцах плазмы отсутствует спонтанная агрегация тромбоцитов (контроль №1 – Рис. 1). Но тромбоциты сохраняют способность к агрегации при активации, что показывают эксперименты с добавлением хлорида кальция (контроль №2 – Рис. 2).

Так же проведенные исследования показали, что секретом ни в высокой концентрации (10 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секрета), ни в низкой концентрации (20 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секрета) не индуцирует агрегацию тромбоцитов (Опыт №1 – Рис. 3 и Опыт №2 – Рис. 4 соответственно).

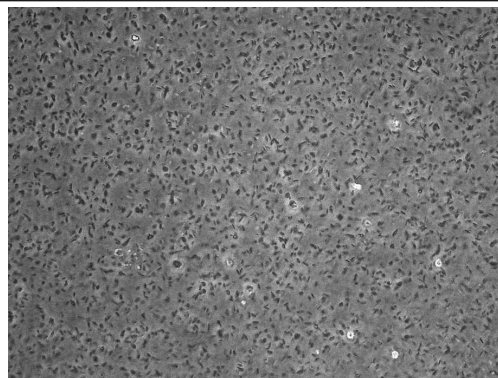


Рисунок 1 – Нативные тромбоциты.
Увеличение X 200.

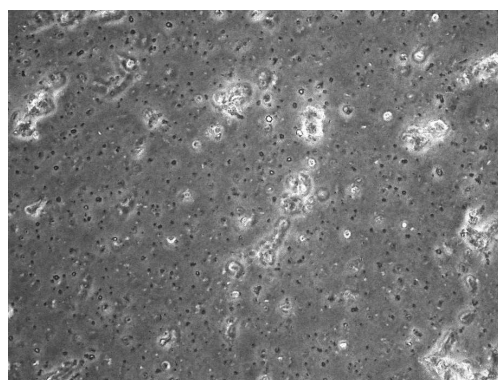


Рисунок 2 – Агрегация тромбоцитов
после внесения в образец тромбоцитар-
ной плазмы хлористого кальция.
Увеличение X 200.

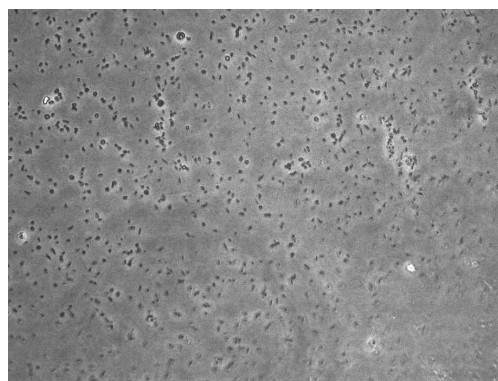


Рисунок 3 – Внешний вид тромбоцитов
после смешивания тромбоцитарной
плазмы и секрета 10 к 1.
Увеличение X 200.

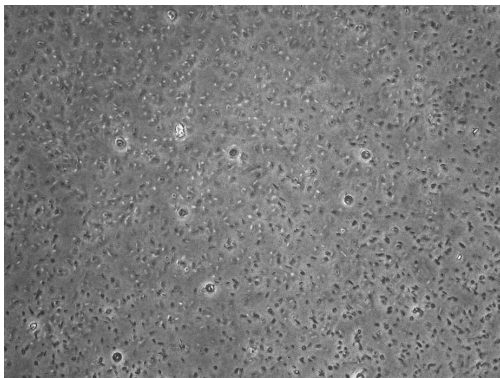


Рисунок 4 – Внешний вид тромбоцитов после смешивания тромбоцитарной плазмы и секретома 20 к 1. Увеличение X 200.

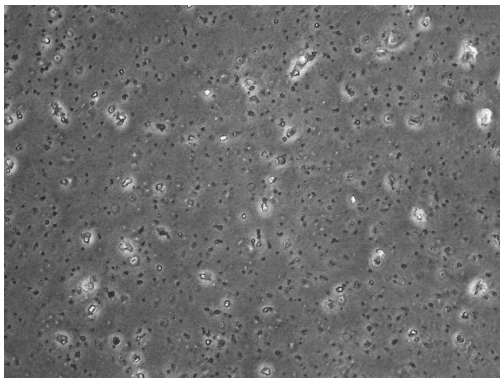


Рисунок 5 – Внешний вид тромбоцитов после смешивания тромбоцитарной плазмы и секретома в соотношении 10 к 1 и последующего добавления хлорида кальция. Увеличение X 200.

Дополнительное исследование показало, что добавление хлористого кальция к тромбоцитарной плазме, в которую предварительно уже был введен секретом в соотношении 10 к 1, индуцирует нормальную агрегацию тромбоцитов (Опыт №3 – Рис. 5).

В результате наших исследований были получены данные, указывающие на то, что у секретомы МСК лошади отсутствует способность индуцировать агрегацию тромбоцитов. Плазма, обогащенная тромбоцитами, полученная от лошадей (n=10) с цитратом натрия не проявляла признаков агрегации, в отличие от плаз-

мы, обогащенной тромбоцитами с цитратом натрия, активированная хлористым кальцием. При добавлении секретомы в концентрациях 10 к 1 (10 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секретомы) и 20 к 1 (20 частей объема плазмы, обогащенной тромбоцитами к 1 части секретомы) агрегация тромбоцитов также не наблюдалась. В то же время, при внесении хлористого кальция в образец плазмы, обогащенной тромбоцитами с добавлением секретомы, агрегация тромбоцитов была в пределах нормы.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, исследования проведенные *in vitro* позволяют сделать вывод, что секретом самостоятельно не провоцирует сосудисто-тромбоцитарного гемостаза и поэтому не может быть причиной тромбоэмболий. Но также и не препятствует индуцированному сосудисто-тромбоцитарному гемостазу поэтому не может являться причиной спонтанных или причиной нарушения остановки индуцированных кровотечений.

EFFECT OF THE SECRETOME OF HORSE MESENCHYMAL STEM CELLS ON PLATELET AGGREGATION IN VITRO

Nechaev A.Y.^{1,2} – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of General, Private and Operative Surgery, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, (orcid 0000-0001-9035-0036); **Bokarev A. V.**¹ – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General, Private and Operative Surgery of the St. Petersburg State University of Veterinary Medicine (orcid: 0000-0002-4623-5388); **Minina A. O.**^{1*} – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General, Private and Operative Surgery of the St. Petersburg State University of Veterinary Medicine (orcid 0000-0002-4176-4053), **Soroka V.A.**¹ – PhD, Assistant Professor at the Department of General, Private and Operative Surgery of the Department of General, Private and Operative Surgery of the St. Petersburg State University of Veterinary Medi-

cine (orcid 0000-0002-1413-4486); Ali S.G.³ – PhD, Head of NPL of Cellular Technologies, Stem Renovation LLC (orcid 0000-0002-0528-671X)

¹ St. Petersburg State University of Veterinary Medicine;

² Don State Technical University

³ Stem Renovation LLC

* bluzma-nast@yandex.ru

Funding: The materials were prepared within the framework of the Russian Science Foundation 2025 "The use of mesenchymal stem cell secretion products to stimulate the physiological and reparative regeneration of the cardiorespiratory system in horses" (Agreement No. 25-16-00265 dated 05/29/2025).

ABSTRACT

The effect of the equine MSCs secretome on the ability to induce thrombosis in vitro was studied by visually assessing platelet aggregation under the action of this drug on a slide using the A. S. Shitikova method, observing the process under phase contrast. The effect of secretome on thrombosis in vitro was determined on platelet plasma isolated from horse blood with the anticoagulant sodium citrate. Saline solution (control 1), 10.0% calcium chloride solution (control 2), a secret in the proportion of 10 parts of the volume of plasma enriched with platelets to 1 part of the secretome (experiment 1), a secret in the proportion of 20 parts of the volume of plasma enriched with platelets to 1 part of the secretome (experiment 2) were added to tubes with platelet plasma, a secret in the proportion of 20 parts of the volume of plasma enriched with platelets to 1 part of the secretome and 10.0% calcium chloride solution (experiment 3). After adding control and experimental preparations to platelet plasma samples, 10.0 µl of the mixture was microscoped at X400 magnification using phase contrast. As a result of our research, data were obtained indicating that the secretome of horse MSCs lacks the ability to induce platelet aggregation. Platelet-rich plasma obtained from horses (n=10) with sodium

citrate showed no signs of aggregation, unlike platelet-rich plasma with sodium citrate activated with calcium chloride. When secretome was added at concentrations of 10 to 1 (10 parts of platelet-rich plasma volume to 1 part of secretome) and 20 to 1 (20 parts of platelet-rich plasma volume to 1 part of secretome), platelet aggregation was also not observed. At the same time, when calcium chloride was added to a platelet-enriched plasma sample with the addition of secretome, platelet aggregation was within the normal range.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Novel potency assay for MSC secretome-based treatment of idiopathic male infertility employed Leydig cells and revealed vascular endothelial growth factor as a promising potency marker / A. Monakova, G. Sagaradze, N. Basalova, et al. // Int J Mol Sci. – 2022. – V. 23. – № 16. – P. 9414.
2. Изучение безопасности оригинального препарата на основе секрета мезенхимных стромальных клеток при локальном введении в яички и при внутримышечном введении крысам / А.О. Монакова, Г.Д. Сагарадзе, В.Ю. Балабаньян и др. // Безопасность и риск фармакотерапии. - 2024. - №1. - С.99-116.
3. Characterization of secretomes provides evidence for adipose-derived mesenchymal stromal cells subtypes / N. Kalinina, D. Kharlampieva, M. Loguinova, et al. // Stem Cell Res Ther. – 2015. – № 6. – P. 221.
4. Савченкова, И.П. Внеклеточные везикулы, в том числе экзосомы, из мезенхимных стволовых/стромальных клеток животных / И.П. Савченкова, Г.А. Надточей // Сельхозбиология. - 2023. - №6. – С. 1112-1121.
5. Расширенные исследования безопасности биологического лекарственного препарата на основе секрета мезенхимных стромальных клеток человека: иммуно-токсичные и онкогенные свойства / А. О. Монакова, В. Ю. Балабаньян, В. А. Вавилова и др. // Лабораторные животные для научных исследований. - 2025.- №3. - С. 56-65.
6. Влияние кондиционированной среды

мезенхимальных стромальных клеток барана на качественные показатели сперматозоидов/ Е. А. Корочкина, А. В. Трифонова, А. Ю. Нечаев, В.С. Пушкина, Д.Е. Главатская // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 276-284.

7. Teixeira, F.G. Mesenchymal stem cells secretome: current trends and future challenges / F.G. Teixeira, A.J. Salgado // *Neural Regen Res.* – 2020. – V. 15. – № 1. – P. 75.

8. Куралесова, А.И. Экзосомы, продуцируемые мезенхимальными стромальными клетками, для терапии острого респираторного дистресс-синдрома: обзор доклинических и клинических исследований / А.И. Куралесова, А.Г. Грошева, Е.Н. Генкина, и др. // *БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение.* – 2025. – №3. – С. 343-356.

9. Mesenchymal stromal cell-derived secretome-based therapy for neurodegenerative diseases: overview of clinical trials / M. Ghasemi, E. Roshandel, M. Mohammadian et al. // *Stem Cell Res Ther.* – 2023. – V. 14. – №.1. – P.122.

10. Viktorova, E.V. Multipotent mesenchymal stem cells in clinical veterinary practice / E.V. Viktorova, I.P. Savchenkova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2020. – V. 548. – P. 072072.

REFERENCES

1. A new efficacy analysis for the treatment of idiopathic male infertility based on MSC secretome using Leydig cells and identifying vascular endothelial growth factor as a promising efficacy marker / A. Monakova, G. Sagaradze, N. Basalova et al. // *Int J Mol Sci.* – 2022. – Vol. 23. – No. 16. – R. 9414.

2. Study of the safety of an original drug based on the secretome of mesenchymal stromal cells when injected locally into the testicles and intramuscularly into rats / A.O. Monakova, G.D. Sagaradze, V.Y. Balabanyan et al. // *Safety and risk of pharmacotherapy.* – 2024. – No. 1. – pp.99-116.

3. Characteristics of secretomes make it pos-

sible to identify subtypes of mesenchymal stromal cells of fatty origin / N. Kalinina, D. Kharlampieva, M. Loginova et al. // *Stem cell research.* – 2015. – No. 6. – p. 221.

4. Savchenkova, I.P. Extracellular vesicles, including exosomes, from mesenchymal stem/stromal cells of animals / I.P. Savchenkova, G.A. Nadtochey // *Agricultural biology.* 2023. No. 6. pp. 1112-1121.

5. Extended safety studies of a biological medicinal product based on the secretome of human mesenchymal stromal cells: immunotoxic and oncogenic properties / A. O. Monakova, V. Y. Balabanyan, V. A. Vavilova et al. // *Laboratory animals for scientific research.* – 2025. – No. 3. – pp. 56-65.

6. Influence of the conditioned medium of sheep mesenchymal stromal cells on the quality indicators of spermatozoa/ E. A. Korochkina, A. V. Trifonova, A. Yu. Nechaev, V. S. Pushkina, D. E. Glavatskaya // *International Bulletin of Veterinary Medicine.* 2024. No. 2. pp. 276-284.

7. Teixeira, F.G. The secret of mesenchymal stem cells: current trends and challenges of the future / F.G. Teixeira, A.H. Salgado // *Neural regeneration.* – 2020. – Vol. 15. – No. 1. – P. 75.

8. Kuralsova, A.I. Exosomes produced by mesenchymal stromal cells for the treatment of acute respiratory distress syndrome: a review of preclinical and clinical studies / A.I. Kuralsova, A.G. Grosheva, E.N. Genkina, et al. // *Biologics. Prevention, diagnosis, and treatment.* – 2025. – No. 3. – pp. 343-356.

9. Mesenchymal therapy of neurodegenerative diseases based on a secretome obtained from stromal cells: a review of clinical trials / M. Ghasemi, E. Roshandel, M. Mohammadian et al. // *Stem cell research.* – 2023. – Vol. 14. – No. 1. – p. 122.

10. Viktorova, E.V. Multipotent mesenchymal stem cells in clinical veterinary practice / E.V. Viktorova, I.P. Savchenkova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2020. – V. 548. – R. 072072.



НЕЗАРАЗНЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК: 616.6-022.7:636.7

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.461

ОСЛОЖНЕННАЯ БАКТЕРИАЛЬНАЯ ИНФЕКЦИЯ МОЧЕПОЛОВОЙ СИСТЕМЫ СОБАКИ, ВЫЗВАННАЯ *ESCHERICHIA COLI*: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Макавчик С.А. – доктор ветеринарных наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0001-5435-8321); Шляпникова Н.И. – асп.-соиск. кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии, (ORCID 0009-0001-3836-311X).

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

Ключевые слова: Пилонефрит, инфекция, лечение, собаки, бактериальный посев

Key words: Pyelonephritis, infection, treatment, dogs, bacterial culture

Поступила: 25.11.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Некоторые штаммы *Escherichia coli* проявляют себя как патогены у собак и кошек, вызывая желудочно-кишечные и внекишечные заболевания, в том числе инфекции урогенитального тракта. Наличие β-лактамаз расширенного спектра (БЛРС)-фермента, который вырабатывают грамотрицательные палочки, обуславливает резистентность этих бактерий почти ко всем β-лактамным антибиотикам (пенициллинам, цефалоспорином), что значительно осложняет лечение инфекционного процесса. Инфекции мочевыводящих путей (ИМВП), вызванные бактериальными патогенами, являются одними из самых распространенных инфекций у собак. Зачастую их развитие связано с миграцией бактерий через половые пути и уретру в мочевой пузырь. Источниками инфекционного процесса могут стать: обсеменённая бактериальной биотой перианальная область, а также нависшая, в области петли (вдавленная петля) кожа у самок. Распространение бактерий в мочевом пузыре, вовлечение в бактериальный процесс мочеточников и почек – является осложненной, жизнеугрожающей патологией. Клинически значимая инфекция подразумевает наличие клинических отклонений и характеризуется дизурией, странгурией, гематурией, поллакиурией и/или учащенным мочеиспусканием, а также наличием бактерий в моче. Однако длительно протекающие, хронические бактериальные инфекции, могут иметь минимальное количество клинических признаков и оставаться незамеченными продолжительное время. Правильная и своевременная диагностика имеет решающее значение для лечения ИМВП. Она позволяет определить как необходимость применения противомикробных препаратов, так и их оптимальную дозировку. Оценка состояния пациента, тщательный осмотр, сбор клинически

состоятельного анамнеза, в который обязательно должна входить информация о ранее перенесенных операциях, переливаниях крови, альбумина, а также о ранее диагностированных, сопутствующих заболеваниях, жалобах и симптомах. При сборе анамнеза важно так же уточнить о ранее назначенных антибактериальных препаратах и длительности их приема. Для эффективного лечения ИМВП необходимо определить преобладающие бактериальные патогены и их восприимчивость к антибактериальным препаратам. Сдача бактериального посева мочи-будет являться ключевым звеном в вопросе постановки диагноза и определения тактики терапии.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Пиелонефрит – редко диагностируемое в раннем периоде заболевание у животных и людей, обычно связанное с восходящей бактериальной инфекцией мочевыводящих путей или сепсисом [1,2,10].

Наиболее частыми возбудителями являются гемолитическая *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* [2].

Дифференцировать пиелонефрит от заболеваний нижних мочевыводящих путей, основываясь только на анамнезе и физикальном осмотре, может быть сложно, а определение локализации очага бактериальной инфекции затруднительно. При этом рост бесконтрольного назначения антибактериальных препаратов, ведет к повышению общего уровня антибиотикорезистентности и, зачастую, безуспешному лечению этой патологии. Согласно полученным данным, наиболее часто назначаемыми препаратами стали, лекарственные средства групп цефалоспоринов, полусинтетических пенициллинов и фторхинолонов, которые не всегда являются препаратами первого выбора [3,7]. Однако, даже при улучшении состояния острое повреждение почек может прогрессировать до хронической болезни почек или усугубить уже имеющуюся хроническую патологию [6].

Клинические признаки пиелонефрита включают в себя - анорексию, летаргию, лихорадку и боль при пальпации почек, резкое ухудшение показателей общего клинического и биохимического анализов крови. В общем анализе мочи выявляются гематурия, пиурия, клетки почечных канальцев и клеточные цилиндры. УЗИ брюшной полости или внутривенная пиелография могут помочь подтвердить диагноз [3].

Тщательный сбор анамнеза, осмотр,

клинические и специальные лабораторные исследования (ультразвуковая диагностика, бактериальный посев мочи с определением чувствительности к антибиотикам) могут существенно помочь в постановке верного диагноза и подборе действенного лечения. Согласно проведенным исследованиям, положительный результат терапии бактериальной инфекции почек достигался путем соблюдения диагностического протокола, а противомикробные препараты назначались после получения положительных результатов бактериальных посевов мочи [6].

Цель исследований: изучить методы диагностических и лечебных мероприятий при подозрении на восходящую бактериальную инфекцию, пиелонефрит.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Среди многочисленных факторов, обуславливающих развитие пиелонефрита (ПН), приоритетное значение имеют биологические свойства микроорганизмов, колонизирующих почечную ткань и нарушение уродинамики. Среди возбудителей ПН преобладает грамотрицательная флора, которая высевается в преобладающем количестве клинических случаев.

Данные гуманной медицины свидетельствуют о том, что за последние годы среди возбудителей пиелонефрита лидирующее место заняли *Escherichia coli*, которая высевается у 80 % пациентов, на втором месте *Proteus mirabilis*- 21% и далее *Klatsiella pneumoniae*- 15% [4].

Согласно литературным данным у животных основными возбудителями пиелонефрита являются: *Escherichia coli*, *Klatsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*. В настоящее время ПН считается исключительно восходящей уриногенной

инфекцией, при которой бактерия из мочевого пузыря попадает в почечную паренхиму. Резервуаром уропатогенных бактерий является прямая кишка и уретра. А пиелонефрит выступает как осложнение перенесенных заболеваний (мочекаменная болезнь, опухоли мочеполовой системы) или возникает как послеоперационное осложнение [5]. У самцов источником бактериальной инфекции так же может стать предстательная железа [5].

Клинические признаки: энурез, гипорексия, апатия, отмечается полиурия, поллакиурия. При пальпации поясничной области-болезненность, реномегалия, животное испытывает боль, в том числе при мочеиспускании, горбит спину [5].

В моче визуализируется мутный осадок, нередко моча обладает едким, неприятным, белковым запахом. При морфологическом анализе мочи обнаруживаются лейкоциты, эритроциты, клетки переход-

ного и почечного эпителиев, рН мочи выше 7,0. В клиническом анализе крови отмечается снижение гематокрита, гемоглобина, повышение СОЭ, увеличение нейтрофилов. В биохимическом анализе крови растут показатели креатинина, мочевины, фосфора, снижается уровень альбумина. При поздней диагностике животное теряет массу, наблюдается кахексия, обезвоживание, лихорадка, нарастает уремия, появляется выраженный запах аммиака, а вследствие повышенной токсической нагрузки- рвота. Без лечения животное погибает [5].

В 2024 году из сторонней клиники в ООО ВК Клевер, город Тюмень улица Тимирязева 10/4 поступила собака породы русский спаниель, с подозрением на пиелонефрит. Данные животного при поступлении в ветеринарную клинику, а также перечень проведенных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные исследуемого животного

Кличка	Пол	Вид, порода	Возраст	Масса, кг	Проведенные исследования
Локки	Самка	Русский спаниель	8 лет	15	УЗИ (ультразвуковое исследование), ОАК (общий анализ крови), ОАМ (общий анализ мочи), БХАК (биохимический анализ крови)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ / RESULTS AND DISCUSSION

Согласно данным ООО ВК Клевер за 2024 г, в клинику поступило 5 собак с диагнозом - пиелонефрит. Перечень причин и исходов заболевания представлены в таблице 2. Согласно статистическим данным у 2 из 5 животных гидронефроз, а впоследствии пиелонефрит был обусловлен обструкцией мочеточника уролитом, у 1 животного, самки, заболевание разви-

лось на фоне спаечного процесса мочеточника после овариогистеректомии. Опухоль, предположительно семенника, при крипторхизме послужила развитию пиелонефрита у 1 пациента, и восходящая инфекция стала причиной развития гидронефроза, пиелонефрита и пионефроза у 1 пациента.

Рассмотрим клинический случай восходящей бактериальной инфекции. Животное, самка 8 лет, русского спаниеля, поступила в клинику по направлению на дополнительную диагностику и дальнейшую нефроктомию с подозрением на развившейся гидронефроз, на фоне обострения пиелонефрита.

В результате осмотра и сбора анамнеза было установлено: жалобы на полиурию, периодически возникающую гематурию, лихорадку, апатию. При первичном осмотре: при аускультации сердца был установлен слабый выразенный систолический шум. Напряжение поясничной области при пальпации, кахексия, увеличение размеров правой почки, температура тела 40,1°C.

Для верной постановки и подтверждения диагноза были назначены соответствующие исследования: биохимический и общий клинический анализы крови, общий анализ мочи и ультразвуковое исследование мочеполовой системы. Так же владельцы сообщили о перенесенном ранее остром цистите, с применением тера-

пии Амоксициллина клавуланата, в дозе 12 мг/кг, курсом 7 дней, после которой отметили клинические улучшения, бактериальный посев мочи не производился, антимикробный препарат (АМП) был подобран эмпирически.

По результатам общего анализа крови были отмечены следующие отклонения показателей: лейкоциты $24,2 \times 10^9/\text{л}$ (превышение нормы), такой показатель говорит о воспалительном процессе, протекающем в организме животного, гранулоциты- 19,6 %, гемоглобин- 134 г/л (норма), гематокрит 30,9 % (ниже нормы), что свидетельствуют о снижении объема красной крови в организме. Результаты общего анализа крови представлены в таблице 3. По результатам БХАК: повышение уровня креатинина и мочевины - 360 мкмоль/л и 43,2 мкмоль/л соответственно, повышение уровня фосфора - 2,88 ммоль/л. Нарушения в биохимическом составе крови свидетельствуют о снижении экскреторной функции почек. Результаты биохимического анализа крови представлены в таблице 4.

Таблица 2 – Причины заболевания, исходы болезни

Число пациентов	Пол животного	Основной диагноз	Исход
n=2	самка	Обструкция мочеточника уролитом	Благоприятный
n=1	самка	Спаечный процесс вследствие овариогистеректомии	Благоприятный
n=1	самец	Образовавшийся конгломерат ткани, вследствие неоплазии семенника, с вовлечением мочеточника	Неблагоприятный, пациент погиб
n=1	самка	Восходящая инфекция	Неблагоприятный, пациент погиб

Рассмотрим клинический случай восходящей бактериальной инфекции. Животное, самка 8 лет, русского спаниеля, поступила в клинику по направлению на дополнительную диагностику и дальнейшую нефроктомию с подозрением на развившейся гидронефроз, на фоне обостре-

ния пиелонефрита.

В результате осмотра и сбора анамнеза было установлено: жалобы на полиурию, периодически возникающую гематурию, лихорадку, апатию. При первичном осмотре: при аускультации сердца был установлен слабый выразенный систо-

лический шум. Напряжение поясничной области при пальпации, кахексия, увеличение размеров правой почки, температура тела 40,1°C.

Для верной постановки и подтверждения диагноза были назначены соответствующие исследования: биохимический и общий клинический анализы крови, общий анализ мочи и ультразвуковое исследование мочеполовой системы. Так же владельцы сообщили о перенесенном ранее остром цистите, с применением терапии Амоксициллина клавуланата, в дозе 12 мг/кг, курсом 7 дней, после которой отметили клинические улучшения, бактериальный посев мочи не производился, антимикробный препарат (АМП) был подобран эмпирически.

По результатам общего анализа крови

были отмечены следующие отклонения показателей: лейкоциты $24,2 \times 10^9/\text{л}$ (превышение нормы), такой показатель говорит о воспалительном процессе, протекающем в организме животного, гранулоциты- 19,6 %, гемоглобин- 134 г/л (норма), гематокрит 30,9 % (ниже нормы), что свидетельствуют о снижении объема красной крови в организме. Результаты общего анализа крови представлены в таблице 3. По результатам БХАК: повышение уровня креатинина и мочевины - 360 мкмоль/л и 43,2 мкмоль/л соответственно, повышение уровня фосфора - 2,88 ммоль/л. Нарушения в биохимическом составе крови свидетельствуют о снижении экскреторной функции почек. Результаты биохимического анализа крови представлены в таблице 4.

Таблица 3- Результаты общего анализа крови пациента

Показатели	Результат	Нормы
Лейкоциты (WBC), $\times 10^9/\text{л}$	24,2	6–17
Лимфоциты (LYM%), %	15,9	12–30
Моноциты (MID%), %	3,4	2–9
Гранулоциты (GRAN%), %	80,7	60-83
Лимфоциты (LYM#), $\times 10^9/\text{л}$	3,8	0,8-5,1
Моноциты (MID#), $\times 10^9/\text{л}$	0,8	0,0-1,8
Гранулоциты (GRAN#), $\times 10^9/\text{л}$	19, 6	4-12,6
Эритроциты (RBC), $\times 10^{12}/\text{л}$	5,26	5,5–8,5
Гемоглобин (HGB), г/л	134	110–190
Гематокрит (HCT), %	30,9	39–56
Тромбоциты (PLT), $\times 10^9/\text{л}$	282	117–460
Тромбоцит (PCT), %	0,20	0,108-0,282
Коэффициент больших тромбоцитов, (P_LCR), %	13,2	13-43
Фракция больших тромбоцитов, (P_LCC), $\times 10^9/\text{л}$	37	110-400

Таблица 4 - Результаты биохимического анализа крови

Показатели	Результат	Нормы
Альбумин, г/л	29	26-46
Общий белок, г/л	75	52-82
Глюкоза, ммоль/л	5,7	3,3-7,3
Щелочная фосфатаза, Ед/л	110	0-212
Аланинаминотрансфераза, Ед/л	58	0-88
Общий билирубин, мкмоль/л	6,8	0-15,4
Амилаза, Ед/л	1625	400-1500
Мочевина, мкмоль/л	47,1	2,1-9,3
Креатинин, мкмоль/л	377	35-141
Кальций, ммоль/л	3,03	1.98-3
Фосфор, ммоль/л	2,42	0,81-2,19
Натрий, ммоль/л	152	138-160
Калий, ммоль/л	4,5	3,5-5,8
Глобулин, г/л	46	22-46

Таблица 5 - Результаты общего анализа мочи

Цвет мочи		Оранжевая	
Прозрачность		Мутная	
Запах		Специфический	
Кровь в моче		Присутствует	
Химические свойства			
Уробилиноген	17 мкмоль/л	Эритроциты	200 кл/мкл
Билирубин	-	Лейкоциты	500 кл/мкл
Кетоновые тела	-	Белок	3,0 г/л
Нитриты	-	Глюкоза	-
Относительная плотность мочи	1,015 г/л	pH	7,5

В ходе клинических исследований так же были отобраны и выполнены: общий анализ и бактериальный посев мочи. Отбор последнего производился методом цистоцентеза и отправлен в лабораторию "Vet Union" г. Москва, готовность бактериального посева мочи составила 7 дней. Результаты общего анализа мочи: эритроциты 200 кл/мкл - выраженная гематурия, лейкоциты- 500 кл/мкл- протекающий острый воспалительный процесс, белок - 3,0 г/л - наличие протеинурии, а так же при выполнении анализа мочи с помощью автоматического анализатора, за белок может приниматься бактериальная флора, находящаяся в образце, плотность 1,015 г/л -говорит о неспособности почек концентрировать мочу (таблица 5).

Дополнительно была проведена ультразвуковая диагностика, по заключению которой выявлены: УЗ признаки гидронефроза левой почки. Размер левой почки 92*59 мм, толщина коркового слоя 3,7 мм, содержимое почки анэхогенное. Область проксимальной части мочеточника гетерогенной структуры, детализация затруднена (рис.1). Так же выявлены признаки оментита, уретрита, небольшого количества крупно дисперсной взвеси (крупный песок) в мочевом пузыре.

Далее пациент был направлен на хирургию (нефрэктомия). Операция прошла штатно. Анестезиологический протокол: премедикация Дексметомедин 5 мкг/кг в/м; Индукция: Пропофол 3- 5 мг/кг до эффекта, Золетил 1 мг/кг; Поддержание: Изофлуран 1,5- 2 об.%; Анальгезия: Дексметомедин ИПС 0,5 мкг/кг/час + Золетил 1 мг/кг/час, Лидокаин - болюс 1 мг/кг, далее ИПС 30 мкг/кг/мин. В ходе хирургии была удалена левая почка с выраженными признаками гидронефроза (рис.2).

Аспират из удаленного органа был направлен на цитологическое исследование (рис.3).

Заключение цитологического исследования: цитологическая картина характерна для септического воспаления. С учетом локализации клиники, высока вероятность септического пионефроза.

Комментарий: зачастую причиной воспаления является восходящая инфекция. Для уточнения диагноза рекомендована гистология, сочетанная с бактериальным посевом.

Результаты цитологического исследования и бактериального посева пришли посмертно, пациент скончался в ранний послеоперационный период (таблица 6). В образце мочи высеялась *Escherichia coli* в высоком титре 10^7 КОЕ/мл, устойчивая к Амоксициллину клавуланату. Таким образом, выверенной тактикой диагностики заболевания является -тщательный сбор анамнеза. Одним из важнейших пунктов которого – это полная информация о ранее перенесенных заболеваниях и используемых препаратах. Необходимо произвести расширенную лабораторную диагностику, включающую в себя, помимо стандартных анализов крови, отбор и оценку бактериального посева мочи с обязательной антибиотикограммой.

Придерживаясь принципов антибиотикосберегающей терапии, необходимо подобрать «рабочий» лекарственный препарат в необходимых, урологических, дозировках, указанных в «Рекомендациях международного общества по инфекционным заболеваниям домашних животных по диагностике и лечению бактериальных инфекций мочевыводящих путей у собак и кошек» и отменить его прием только после получения «чистого» повторного бактериального посева мочи.

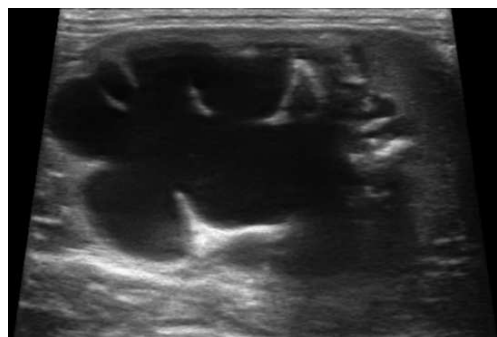


Рисунок 1- Ультразвуковая картина развившегося гидронефроза

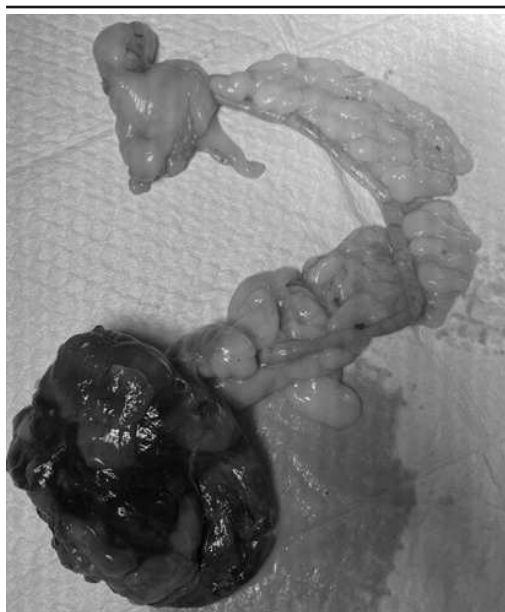


Рисунок 2 – Удаленная почка с признаками гидронефроза

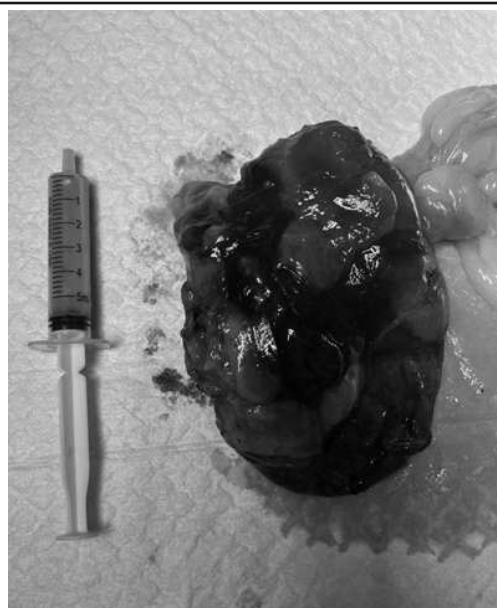


Рисунок 3 – Аспират из удаленного органа

Таблица 6 — Результаты бактериального посева мочи

<i>Escherichia coli</i>	10 ⁷ КОЕ/мл
Чувствительность к препаратам	
Амоксициллин/клавуланат AMOXICILLINE CLAVULANAT	R
Ко-тримоксазол CO-TRIMOXAZOL	S
Нитрофурантоин NITROFURANTOIN	S
Цефотаксим CEFOTAXIME	R
Цефтриаксон CEFTRIAXON	R
Амикацин AMIKACIN	S
Энрофлоксацин ENROFLOXACIN	S

Примечание: S - чувствительный; R – устойчивый.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Причина возникновения пиелонефрита- восходящая инфекция. В современной ветеринарной медицине к диагностике этого заболевания подходят комплексно, тщательно собирая анамнез, учитывая хронические заболевания и ранее произведенную терапию.

Исходя из вышеизложенного, важным этапом постановки диагноза и лечения бактериальных инфекций является- клиническая и лабораторная диагностика. Своевременно выполненные анализы (общий клинический анализ и бактериальный посев мочи), даже при неосложненных бактериальных инфекциях, позволят выявить воспаление, протеинурию, а также указать на возбудителя инфекции. Антибиотикограмма поможет подобрать «рабочий» антибактериальный препарат, а также определить длительность лечения. Окончанием терапии ИМБС, считается получение «чистого» бактериального посева. Все эти действия позволяют предотвратить развитие восходящей инфекции и минимизировать негативные последствия ее течения.

COMPLICATED ESCHERICHIA COLI BACTERIAL INFECTION OF THE CANINE GENITOURINARY SYSTEM: CLINICAL CASE

Makavchik S.A. – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Microbiology, Virology, and Immunology (ORCID 0000-0001-5435-8321); **Shlyapnikova N.I.** – Postgraduate Research Fellow, Department of Microbiology, Virology, and Immunology (ORCID 0009-0001-3836-311X).

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation.

*Shhedrina91@bk.ru

ABSTRACT

Some strains of *Escherichia coli* are pathogenic in dogs and cats, causing gastrointestinal and extraintestinal diseases, including urogenital tract infections. The presence of extended-spectrum β -lactamases

(ESBL), an enzyme produced by gram-negative bacteria, makes these bacteria resistant to almost all β -lactam antibiotics (penicillins, cephalosporins), significantly complicating the treatment of the infectious process. Urinary tract infections (UTIs) caused by bacterial pathogens are among the most common infections in dogs. Their development is often associated with the migration of bacteria through the genital tract and urethra into the bladder. Sources of infection can include the perianal area contaminated with bacterial biota, as well as overhanging skin in the area of the loop (depressed loop) in females. The spread of bacteria to the bladder, involving the ureters and kidneys, is a complicated, life-threatening pathology. Clinically significant infection implies the presence of clinical abnormalities and is characterized by dysuria, stranguria, hematuria, pollakiuria and/or frequent urination, as well as the presence of bacteria in the urine. However, long-term, chronic bacterial infections may have minimal clinical signs and remain undetected for a long time. Accurate and timely diagnosis is crucial for UTI treatment. It allows for the determination of both the need for antimicrobial medications and their optimal dosage. This includes an assessment of the patient's condition, a thorough examination, and collection of a clinically relevant history, which must include information about previous surgeries, blood and albumin transfusions, as well as previously diagnosed and concomitant diseases, complaints, and symptoms. When collecting the history, it is also important to clarify any previously prescribed antibacterial medications and the duration of their use. To effectively treat UTIs, it is necessary to identify the predominant bacterial pathogens and their susceptibility to antibacterial agents. A urine culture will be key to establishing a diagnosis and therapeutic strategy.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Макавчик, С. А. Ранжирование возбудителей гнойно-септических инфекций домашних животных в ветеринарной практике / С. А. Макавчик, А. Л. Крото-

ва // Международный вестник ветеринарии. – 2023. – № 1. – С. 20-27. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.1.20.

2. Чиркова, А.С. Антибактериальная терапия при патологии почек мелких домашних животных / А. С. Чиркова, К. А. Сидорова, Л.Н. Скосырских [и др.] // Нормативно правовое регулирование в ветеринарии, 2024. – № 1. – С. 54-58. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.1.54

3. Скосырских, Л. Н. Принципы профилактики

антибиотикорезистентности при лечении урологического синдрома кошек / Л. Н. Скосырских, А. С. Чиркова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (68). – С. 118-125

4. Гертман, А.М. Болезни почек и органов мочевыделительной системы животных: Учебное пособие. / А.М. Гертман, Т.С. Самсонова. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2021. – 388 с.

5. Жаров, А. В. Физиология и патологическая анатомия животных. / А. В Жаров, Т. В. Лосева. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», - 2022. – 416с.

6. Зеленецкий, Н.В. Анатомия животных: Международный вестник ветеринарии, учебник для вузов / Н.В. Зеленецкий, М.В. Щипакин. – 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 484с.

7. Weese, J. S., Blondeau, J., Boothe D. et al. International Society for Companion Animal Infectious Diseases (ISCAID)

guidelines for the diagnosis and management of bacterial urinary tract, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S109002331830460X> (дата обращения 19.11.2025)

8. Fathallah, I., Qatza, A. et al. Successful nephrectomy of isolated renal hydatid cyst associated with chronic pyelonephritis: A case report from Syria, Urology Case Reports, Vol. 59, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214442025000610> (дата обращения 19.11.2025)

9. Weese, J. S., Morgan E. et al. Antimicrobial dispensing for common conditions in

dogs and cats at a large veterinary practice network, The Veterinary Journal, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090023325000784>

(дата обращения 19.11.2025)

10. Kranz, J., Bartolutti, R., Bruyère, F. et al. (2024). European Association of Urology Guidelines on Urological Infections: Summary of the 2024 Guidelines. European Urology, No. 86 (1), pp. 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.03.035>

REFERENCES

1. Makavchik, S. A. Ranking of pathogens of purulent-septic infections of domestic animals in veterinary practice / S. A. Makavchik, A. L. Krotova // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2023. – No. 1. – pp. 20-27. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.1.20.

2. Chirkova, A.S. Antibacterial therapy in kidney pathology of small domestic animals / A. S. Chirkova, K. A. Sidorova, L. N. Skosyrskikh [et al.] // Regulatory legal regulation in veterinary medicine, 2024. – No. 1. – pp. 54-58. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.1.54

3. Skosyrskikh, L. N. Principles of antibiotic resistance prevention in the treatment of feline urological syndrome / L. N. Skosyrskikh, A. S. Chirkova // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. -2023. – № 4 (68). – Pp. 118-125

4. Gertman, A.M. Diseases of the kidneys and organs of the urinary system of animals: A textbook. / A.M. Gertman, T.S. Samsonova. Saint Petersburg: Lan Publishing House, 2021. 388 p.

5. Zharov, A.V. Physiology and pathological anatomy of animals. / A. V. Zharov, T. V. Loseva. Saint Petersburg: Lan Publishing House, 2022. 416s.

6. Zelenevsky, N.V. Animal anatomy: International Bulletin of Veterinary Medicine, textbook for universities / N.V. Zelenevsky, M.V. Shchipakin. – 2nd ed., ster. - St. Petersburg: Lan, 2021. – 484с.

7. Weese, J. S., Blondeau, J., Boothe D. et al. International Society for Companion Animal Infectious Diseases (ISCAID) guidelines for the diagnosis and management of bacteri-

- al urinary tract, 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S109002331830460X> (дата обращения 19.11.2025)
8. Fathallah, I., Qatza, A. et al. Successful nephrectomy of isolated renal hydatid cyst associated with chronic pyelonephritis: A case report from Syria, *Urology Case Reports*, Vol. 59, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214442025000610> (дата обращения 19.11.2025)
9. Weese, J. S., Morgan E. et al. Antimicrobial dispensing for common conditions in dogs and cats at a large veterinary practice network, *The Veterinary Journal*, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090023325000784> (дата обращения 19.11.2025)
10. Kranz, J., Bartolutti, R., Bruyère, F. et al. (2024). European Association of Urology Guidelines on Urological Infections: Summary of the 2024 Guidelines. *European Urology*, No. 86 (1), pp. 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.03.035>

УДК: 579.62:611.34:615.874:636.7
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.472

ВЛИЯНИЕ ВЕТЕРИНАРНОЙ ДИЕТЫ АКАДЕМИЯ» ПРИ РАССТРОЙСТВАХ ПИЩЕВАРЕНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПРИ ЭКЗОКРИННОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НА СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОМА КИШЕЧНИКА СОБАК

Прокофьева В.*- асп. (ORCID: 0009-0002-8567-8234),
Карпенко Л. Ю.- проф., д-р биол.н., зав. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-2781-5993), Бахта А. А., доц., к.биол.н., доц.каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-5193-2487)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

*vprokofjeva13@gmail.com

Ключевые слова: собаки, болезни пищеварительного тракта, гастроинтестинальная диета, кишечные бактерии, пребиотики, пробиотики.

Keywords: dogs, diseases of the digestive tract, gastrointestinal diet, intestinal bacteria, prebiotic, probiotics.

Поступила: 04.01.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

По данным различных литературных источников развитие энтеропатий у собак в условиях мегаполиса достигает 76-84%. Заболевания пищеварительного тракта животных являются острой проблемой, поэтому ее решение – одна из наиболее актуальных задач в ветеринарной медицине. Крайне важный фактор здорового пищеварения у собак – нормальный состав микробиоты кишечника, который в большой степени зависит от рациона, поэтому при создании и назначении диеты для терапии необходимо учитывать этот аспект. Целью данной работы является оценка влияния на микробиом кишечника применения ветеринарной диеты "Академия" для собак с расстройствами пищеварения и экзокринной недостаточностью поджелудочной железы (производитель АО "Гатчинский комбикормовый завод", Россия). Исследование представило трехмесячный эксперимент с применением собакам, у которых наблюдались расстройства пищеварения, исследуемой ветеринарной диеты. В статье рассмотрено влияние про- и пребиотиков на состав микробиома кишечника и проведен анализ изменений микробиома содержимого прямой кишки исследуемых животных путем посева исследуемого материала на селективные питательные среды с последующим определением числа микробных тел и видового состава микрофлоры. В результате исследования установлено, что исследуемая ветеринарная диета оказывает положительное влияние на

микрофлору кишечника – при ее применении у собак снижается количество условно-патогенных микроорганизмов в большинстве образцов проб относительно исследований до применения диеты. Благоприятное влияние данной диеты состоит также в увеличении количества «полезных» микроорганизмов (бифидобактерий и лактобактерий) в кишечнике. При этом отмечено, что лучший результат достигается путем применения смешанной формы рациона – сочетания сухого и влажного корма.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

По данным различных литературных источников развитие энтеропатий у собак в условиях мегаполиса достигает 76-84% [1, 2]. Важнейшую роль в развитии таких нарушений играет неполноценное и неадекватное потребностям организма кормление, а лечение таких патологий должно быть, в первую очередь, направлено на коррекцию кратности и качества кормления. Чувствительное пищеварение – частичная или полная непереносимость тех или иных веществ, вызванная индивидуальными особенностями организма собак или сбоями в работе в одном из отделов пищеварительной системы. При данном состоянии наблюдается недостаточная выработка ферментов, нужных для расщепления молекул пищи для их лучшего усваивания. При недостатке ферментов, молекулы питательных веществ не расщепляются и начинают скапливаться в толстой кишке – это и приводит к нарушению стула и повышенному газообразованию [3]. Основными признаками являются: плохой аппетит, запоры или диарея, рвота, частые (более 4 раз в сутки) или редкие (менее 1 раза в сутки) позывы к дефекации, острое реагирование на новый корм. В решении этой проблемы необходимо особое внимание уделить специализированным кормам, позволяющим быстро и эффективно компенсировать недостатки рациона [4, 5]. На сегодняшний день многочисленные исследования указывают на то, что взаимодействие микробиома с макроорганизмом очень многогранно и во многом влияет на состояние здоровья животных. Роль микроорганизмов не сводится только к перевариванию компонентов корма, он принимает активное участие в работе иммунной системы, синтезе различных веществ, участвует в защите слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта. Так, в ходе

жизнедеятельности, различные штаммы микроорганизмов синтезируют короткоцепочечные жирные кислоты, которые необходимы для поддержания определенного уровня pH в кишечнике, снижение кислотности является основным фактором подавления роста условно-патогенной микрофлоры и способствует снижению реадсорбции ряда эндогенных токсинов, в том числе аммиака. Немаловажным является участие короткоцепочечных жирных кислот в энергетическом обмене клеток эпителия кишечника, способствуя их пролиферации, что необходимо для выполнения данными клетками барьерной функции [6, 7]. При рассматриваемых патологиях пищеварительного тракта у собак развивается дисбиоз, что приводит к нарушению переваривания нутриентов, вследствие чего образуются гнилостные соединения, которые могут быть токсичными (фенолы, аммиак, индол) [8, 9, 10]. В связи с вышесказанным, разработка и применение эффективной диеты животным с чувствительным пищеварением является важным аспектом в борьбе с заболеваниями данного типа и при исследовании кормов необходимо уделять большое внимание изучению изменений микробиома кишечника у животных, которые принимают такую диету. Целью данной работы является оценка влияния на микробиом кишечника применения ветеринарной диеты "Академия" для собак с расстройствами пищеварения и экзокринной недостаточностью поджелудочной железы (производитель АО "Гатчинский комбикормовый завод", Россия).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводили на 30 беспородных собаках с чувствительным пищеварением, животные подбирались по методу пар-аналогов, все животные стерили-

лизованы, привиты согласно графику вакцинаций, предварительно животным были проведены гельминтологические исследования. В ходе эксперимента было сформировано 3 подопытные группы по 10 голов в каждой: опытная группа № 1 – беспородные собаки с чувствительным пищеварением, которым применяется влажная форма и сухая формы ветеринарной диеты «Академия» при расстройствах пищеварения, в том числе при экзокринной недостаточности поджелудочной железы производства АО «Гатчинский комбикормовый завод»; опытная группа №2 – беспородные собаки с чувствительным пищеварением, которым применяется сухая форма ветеринарной диеты «Академия» при расстройствах пищеварения, в том числе при экзокринной недостаточности поджелудочной железы производства АО «Гатчинский комбикормовый завод»; контрольная группа 3- беспородные собаки с чувствительным пищеварением, которым исследуемая ветеринарная диета не применялась. Кормление животных осуществляли в течении 3 месяцев согласно характеристике подопытных групп. Дополнительное медикаментозное лечение животных не проводилось.

Отбор проб: трижды в течении исследования изучение биообразцов от собак (до начала кормления; через месяц после начала кормления; через 3 месяца после начала кормления). Исследование микрофлоры содержимого прямой кишки собак включало посев материала на селективные питательные среды с последующим определением количества и состава микрофлоры, а именно *Bifidobacterium* spp. (Бифидобактерии), *Lactobacillus* spp. (Лактобактерии), *E.coli* с нормальной ферментативной активностью, *E.coli* со слабо выраженными ферментативными свойствами, *E.coli* лактозонегативные, *E.coli* гемолитические, *Enterococcus* spp. (Энтерококки), *Proteus* spp. (Микробы рода Протея), *Klebsiella* spp. (Клебсиелла), *Enterobacter* spp. (Энтеробактер), *Staphylococcus aureus* (Стафилококк золотистый), *S.epidermidis*

(Стафилококк эпидермальный), *S.saprophyticus* (Стафилококк сапрофитный), Грибы рода *Candida*, Неферментирующие грамотрицательные бактерии, *Clostridium* spp. (Клостридии), *Clostridium difficile*, *Pseudomonas* spp. (Синегнойная палочка). Результаты полученных исследований подвергнуты статистической обработке с использованием программ MS Excel и Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Полученные результаты представлены в таблице №1.

При анализе таблицы выявлено, что до назначения ветеринарной диеты во всех группах значительно снижено количество *Escherichia coli* с нормальной ферментативной активностью в количестве 10^4 КОЕ/г во всех исследуемых группах, снижение данного показателя у животных контрольной группы было выявлено у 65 % исследуемых собак, в подопытной группе, которым применялся только сухой рацион – у 54 % животных, а в группе, которым применялся смешанный тип кормления у 55% исследуемых животных.

В исследуемых группах до начала применения изучаемой ветеринарной диеты была выделена *Escherichia coli* с гемолитической активностью в количестве 10^3 КОЕ/г в каждой: у животных контрольной группы данный микроорганизм был выявлен у 20 % исследуемых собак, в опытной группе, которым применялся только сухой рацион – у 18 % животных, в группе, которым применялся смешанный тип кормления у 17 % исследуемых животных.

В исследуемых группах до начала применения изучаемой ветеринарной диеты была выделена *Clostridium perfringens* в количестве 10^3 КОЕ/г. Так, у животных контрольной группы данный микроорганизм был выявлен у 15 % исследуемых собак, в опытной группе, которым применялся только сухой рацион – у 10 % животных, в опытной группе, которым применялся смешанный тип кормления у 10 % исследуемых животных.

Таблица №1 - Микробиальный профиль содержимого прямой кишки у собак с чувствительным пищеварением, которым применялись сухая и влажная формы ветеринарной диеты «Академия» при расстройствах пищеварения, в том числе при экзокринной недостаточности поджелудочной железы производства АО «Гатчинский комбикормовый завод» (% из выборки относительно референтных значений: ниже референтных значений)

Показатель	Норма	Группа 1			Группа 2			Группа 3		
		До	ч/з 1 мес	ч/з 3 мес	До	ч/з 1 мес	ч/з 3 мес	До	ч/з 1 мес	ч/з 3 мес
<i>Bifidobacterium spp.</i> (Бифидобактерии)	$10^{*9}-10^{*10}$	↓ у 10 %	Норма у 100%	Норма у 100%	↓ у 10 %	↓ у 10 %	↓ у 10 %	↓ у 10 %	↓ у 15 %	↓ у 15 %
<i>Lactobacillus spp.</i> (Лактобактерии)	$10^{*7}-10^{*8}$	↓ у 20 %	Норма у 100%	Норма у 100%	↓ у 20 %	↓ у 10 %	↓ у 10 %	↓ у 20 %	↓ у 15 %	↓ у 20 %
<i>E.coli</i> с нормальной ферментативной активностью	$10^{*7}-10^{*8}$	↓ у 55 %	Норма у 100%	Норма у 100%	↓ у 54 %	↓ у 45 %	↓ у 35 %	↓ у 65 %	↓ у 75 %	↓ у 85 %
<i>E.coli</i> гемолитиче- ские	Не обнаруже- но	+ у 17%	-	-	+ у 18%	-	-	+ у 20%	+ у 12%	+ у 16%
Грибы рода <i>Candida</i>	Не более 10^{*4}	-	-	-	-	-	-	-	↑ у 20%	↑ у 25%
<i>Clostridium difficile</i>	Не более 10^{*5}	+ у 10 %	-	-	+ у 10 %	-	-	+ у 15%	+ у 7%	+ у 10%

После применения ветеринарной диеты в контрольной группе отмечалось значительное снижение количества *Escherichia coli* с нормальной ферментативной активностью до 10^4 КОЕ/г: так через месяц количество данных микроорганизмов было снижено у 75% животных и у 85% после 3 месяцев исследования. Также в контрольной группе выявлялись грибы рода *Candida* в количестве 10^4 КОЕ/г через месяц у 20% животных и у 25% после 3 месяцев исследования.

При приеме назначенной ветеринарной диеты в группе животных, употребляющих сухой корм в одной из проб было отмечено значительное снижение уровня *Bifidobacterium* spp. в количестве 10^6 КОЕ/г и *Escherichia coli* с нормальной ферментативной активностью до 10^2 КОЕ/г.

При приеме назначенной ветеринарной диеты в группе животных, употребляющих сухой и влажный корм, увеличилось количество *Bifidobacterium* spp. до 10^9 КОЕ/г и *Lactobacillus* spp. до 10^8 КОЕ/г. При этом показатели, характеризующие нормальный состав микробиома кишечника, достигли референтных значений у всех животных. Представители патогенной микрофлоры не обнаружены.

Таким образом, применение различных форм ветеринарной диеты «Академия» при расстройствах пищеварения, в том числе при экзокринной недостаточности поджелудочной железы производства АО «Гатчинский комбикормовый завод» для собак оказывает положительное влияние на микрофлору кишечника, что проявляется снижением или полным отсутствием условно-патогенных микроорганизмов и увеличением количества «полезных» микроорганизмов (бифидобактерий и лактобактерий), которые обеспечивают расщепление и переваривание пищи, усвоение железа, нейтрализацию токсинов, абсорбируют желчные кислоты, желчные пигменты, холестерин, стимулируют перистальтику кишечника, предупреждая расстройства (диарею и задержку эвакуации), активизируют лимфоидную ткань, обеспечивая механизмы врожденного иммунитета.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Учитывая вышеизложенное, можно сделать выводы, что нормальный микробиом кишечника – один из важнейших факторов здоровья животных, и важная роль в его стабилизации отводится именно кормлению. Исследуемая ветеринарная диета оказала положительное влияние на микрофлору кишечника: при ее применении у собак наблюдается снижение количества или полное отсутствие условно-патогенных микроорганизмов в большинстве образцов проб кала относительно исследований до ее использования. Благоприятное влияние состоит и в увеличении количества «полезных» микроорганизмов (бифидобактерий и лактобактерий) после применения ветеринарной диеты, особенно в группе собак, употребляющих сухой и влажный корм.

EFFECT OF THE VETERINARY DIET "ACADEMY" ON DIGESTIVE DISORDERS, INCLUDING EXOCRINE PANCREATIC INSUFFICIENCY, ON THE MICROBIOME OF CANINE GASTROINTESTINAL TRACT

Prokofjeva V.*- postgraduate (ORCID: 0009-0002-8567-8234), Karpenko L. Y.- professor, doctor of biological sciences, head of the department of biochemistry and physiology (ORCID 0000-0002-2781-5993), Bakhta A.A.-associate professor, candidate of biological sciences, associate professor of the department of biochemistry and physiology (ORCID 0000-0002-5193-2487)

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine

*vprokofjeval3@gmail.com

ABSTRACT

According to various literary sources, the development of enteropathies in dogs in metropolitan conditions reaches 76-84%. Diseases of the digestive tract in animals are a pressing problem, and their treatment is one of the most important tasks in veterinary medicine. A crucial factor in healthy digestion in dogs is the normal composition of the intestinal microbiota, which is highly de-

pendent on the diet. Therefore, it is essential to consider this aspect when creating and prescribing therapeutic diets. The aim of this study was to investigate the impact of the new veterinary diet "Academia" with added probiotics and prebiotics on the intestinal microflora of dogs with digestive disorders, including exocrine pancreatic insufficiency, produced by JSC Gatchina Feed Factory. The study presented a three-month experiment using a veterinary diet in dogs with digestive disorders. The article examines the effect of probiotics and prebiotics on the composition of the intestinal microbiome and analyzes changes in the microbiome of the rectal contents of the study animals by culturing the samples on selective nutrient media and determining the number of microbial bodies and the species composition of the microflora. As a result of the study, it was found that the veterinary diet under study has a positive effect on the intestinal microflora, as it reduces the number of opportunistic pathogens in most of the samples compared to the pre-diet studies. Additionally, the diet has a beneficial effect on increasing the number of "beneficial" microorganisms (bifidobacteria and lactobacteria) in the intestines. It was also noted that the best results were achieved by using a mixed diet that combines dry and wet food.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hayes G. Gastrointestinal foreign bodies in dogs and cats: a retrospective study of 208 cases. *J Small Anim Pract.* 2009 Nov;50 (11):576-83.
2. Столбова, О.А. Анализ заболеваний желудочно-кишечного тракта у собак и кошек в городе Тюмени / О.А. Столбова, Ю.А. Рачинская // Молодой ученый. - 2017. - № 3 (137). С.278-282.
3. Ткачев-Кузьмин А.А. Гастроэнтерология собак; анатомия, этиология, основные методы диагностики / А.А. Ткачев-Кузьмин, Т.Б. Горовая, А.В. Тютюнников. М., 2010; - 42 с.
4. Сбалансированное диетическое кормление при лечении энтеропатий у мелких домашних животных / Ю. И. Филиппов, С. В. Позябин, В. В. Белогуров, А. А. Андриенко // *VetPharma.* – 2014. – № 2(18). – С. 42-44.
5. Карпенко, Л. Ю. Биохимические показатели крови у собак с синдромом острого расширения желудка в предоперационный период / Л. Ю. Карпенко, А. И. Козицына, А. А. Бахта // *Международный вестник ветеринарии.* – 2022. – № 3. – С. 127-131. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.3.127.
6. Topping D. L., Clifton P. M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides // *Physiological Reviews.* 2001. P. 1031-1064.
7. Катаргин, Р. С. Влияние пробиотика, пребиотика и синбиотика на восстановление клинического состояния и баланса микробиома кишечника после антибиотикотерапии / Р. С. Катаргин, А. В. Прусаков, М. С. Голодяева // *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии.* – 2024. – № 3. – С. 67-72. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.3.67.
8. Barry A. K7 Vester B. M. Prebiotics in companion and livestock animal nutrition // *Prebiotics and Probiotics Science and Technology.* London : Springer Science + Business Media, LLC, 2009. P. 353-463. (in Eng.)
9. Карпенко Л. Ю., Бахта А.А. Применение кормовых добавок для коррекции окислительного стресса у собак // *Современные проблемы ветеринарной диетологии и нутрициологии: Материалы IV международного симпозиума СПбГАВМ, Санкт-Петербург, 06–08 мая 2008 года.* С. 21-23.
10. Трушкин, В. А. Результаты клинического исследования крови служебных собак, больных острым энтероколитом / В. А. Трушкин // *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии.* – 2022. – № 2. – С. 61-64. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.2.61.

REFERENCES

1. Hayes G. Gastrointestinal foreign bodies in dogs and cats: a retrospective study of 208 cases. *J Small Anim Pract.* 2009 Nov;50 (11):576-83.

2. Stolbova, O.A. Analysis of gastrointestinal diseases in dogs and cats in the city of Tyumen/O.A. Stolbova, Yu.A. Rachinskaya//Young Scientist.-2017.-No. 3 (137). Pp. 278-282.
- 3.Tkachev-Kuzmin, A.A. Gastroenterology of Dogs: Anatomy, Etiology, and Basic Diagnostic Methods / A.A. Tkachev-Kuzmin, T.B. Gorovaya, and A.V. Tyutyunnikov. Moscow, 2010; 42 p.
- 4.Balanced Dietary Feeding in the Treatment of Enteropathies in Small Pets / Yu. I. Filipov, S. V. Pozyabin, V. V. Belogurov, and A. A. Andrienko // VetPharma. – 2014. – No. 2(18). – Pp. 42-44.
- 5.Karpenko, L. Yu. Biochemical blood parameters in dogs with acute gastric dilation syndrome in the preoperative period / L. Yu. Karpenko, A. I. Kozitsyna, A. A. Bakhta // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2022. – No. 3. – Pp. 127-131. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.3.127.
- 6.Topping D. L., Clifton P. M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides // Physiological Reviews. 2001. P. 1031-1064.
- 7.Katargin, R. S. The effect of probiotics, prebiotics, and synbiotics on the restoration of the clinical condition and balance of the intestinal microbiome after antibiotic therapy / R. S. Katargin, A. V. Prusakov, and M. S. Golodyaeva // Regulatory and Legal Regulation in Veterinary Medicine. – 2024. – No. 3. – Pp. 67-72. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.3.67.
- 8.Barry A. K7 Vester B. M. Prebiotics in companion and livestock animal nutrition // Prebiotics and Probiotics Science and Technology. London : Springer Science + Business Media, LLC, 2009. P. 353-463. (in Eng.)
- 9.Karpenko L. Yu., Bakhta A.A. Application of Feed Additives for the Correction of Oxidative Stress in Dogs // Modern Problems of Veterinary Dietetics and Nutrition: Proceedings of the IV International Symposium of St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, May 6-8, 2008. Pp. 21-23.
- 10.Trushkin, V. A. Results of a clinical study of the blood of service dogs suffering from acute enterocolitis / V. A. Trushkin // Regulatory and Legal Regulation in Veterinary Medicine. – 2022. – No. 2. – Pp. 61-64. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.2.61.

КОРОТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК: 616.98:578.834.11:636.5

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.479

ДИАГНОСТИКА ИНФЕКЦИОННОГО БРОНХИТА КУР (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)

Абгарян С.Р.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0002-6970-428X); **Приходько Е.И.** – канд. ветеринар. наук, доц. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0002-0013-3765)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* suzanna@yandex.ru

Ключевые слова: инфекционный бронхит кур, диагностика, выделение вируса, ИФА, ПЦР.

Key words: Infectious bronchitis of chickens, diagnosis, isolation of the virus, ELISA, PCR.

Поступила: 24.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

Инфекционный бронхит кур наносит огромный экономический ущерб птицеводству, который складывается из падежа птицы, снижения яичной продуктивности, снижения динамики набора живой массы, низкой конверсии корма и др. ИБК часто протекает в ассоциированной форме с другими вирусными инфекциями, и течение всегда осложняется вторичной бактериальной флорой. Существует более 100 серотипов вируса ИБК, появление которых обусловлено изменениями в результате точечных мутаций в гене S, который кодирует белок S1, что приводят к возникновению новых свойств у полевого вируса. Причем иммунитет, приобретенный к одному серотипу часто, не обеспечивает защиту от заражений другими серотипами вируса ИБК. Для выявления антител к определенным серотипам вируса ИБК используют РН, РТГА, ИФА. Для выделения вируса ИБК проводят 3-4 пассажа на 9-10 суточных куриных эмбрионах заражением в аллантоисную полость, но ассоциированное течение ИБК с другими вирусными инфекциями, появление новых вариантов и штаммов вируса затрудняет проведение диагностических исследований классическими методами, в то время как использование ОТ-ПЦР с последующим секвенированием нуклеотидной последовательности гена S1 вируса ИБК позволяют выявить и дифференцировать возбудителя, что имеет важное значение для профилактики данной болезни. В случае возникновения ИБК в хозяйстве необходимо проведение своевременных диагностических, лечебных, профилактических, мероприятий с использованием средств специфической профилактики. Комплексное применение живых и инактивированных вакцин обеспечивают форми-

рование стойкого иммунного ответа, достаточного для защиты поголовья от полевого вируса в течение всего продуктивного периода.

ВВЕДЕНИЕ/ INTRODUCTION

Вирус инфекционного бронхита впервые был описан в 1931 г. и до сих пор является одной из основных причин респираторной болезни кур [1,2].

Возбудитель инфекционного бронхита кур (ИБК) относится к роду *GammaCoronaviridae*, семейства *Coronaviridae*, геном которого представляет одноцепочечную молекулу РНК положительной полярности, составляющей 27,6 т.п.н., кодирующей поверхностный гликопротеин (S), белок оболочки (E), мембранный гликопротеин (M), нуклеопротеин (N) (рис.1). РНК вируса связанная с нуклеопротеином (N), образует нуклеокапсид. N-белок, по химической структуре является фосфорилированным белком и защищает РНК-вируса, сохраняя ее в устойчивом состоянии внутри вирусной оболочки.

Поверхностный гликопротеин (S) в форме булавовидных выступов, присутствующий на поверхности вируса посттрансляционно расщепляется на две субъединицы S1, образующий внешнюю шиповидную часть белка и отвечающий за прикрепление к рецепторам клетки-хозяина, и S2-белок, обеспечивающий слияние с мембраной клетки, таким образом, обеспечивающий проникновение в клетки-хозяина [4,5].

Субъединица S1 содержит вируснейтрализующие и серотипспецифические антигенные детерминанты, которые отвечают за нейтрализацию и иммунный ответ. Существует более 100 серотипов вируса ИБК, появление которых обусловлено изменчивостью нуклеотидной последовательности гена шипа, приводящей к снижению перекрестной защиты между серотипами.

Высокая вариабельность нуклеотидных последовательностей гена шипа может изменить защитную способность вакцины или иммунный ответ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для написания статьи использовали актуальные отечественные и иностранные

литературные источники, а также данные собственных исследований, которые позволили в полном объеме осветить вопросы этиологии, эпизоотологии, клинического проявления, форм течения и методов контроля ИБК в промышленном птицеводстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Передача вируса осуществляется воздушно-капельным путем, возможен алиментарный путь заражения. Трансовариальный путь заражения не доказан [7,8]. К вирусу ИБК восприимчивы куры всех возрастов, но наиболее остро болезнь протекает у цыплят до 30-суточного возраста и проявляется вялостью, ухудшением аппетита, затрудненным дыханием, конъюнктивитами, ринитами.

У взрослой птицы инфекционный бронхит протекает бессимптомно или с легкими признаками поражения органов дыхания, которые наблюдаются в течение 5-6 дней. Однако сопровождается не только респираторным, но и репродуктивным и нефрозо-нефритным синдромом. Основным показателем поражения взрослых кур вирусом инфекционного бронхита кур является снижение яйценоскости на 10-50%, обесцвечивание скорлупы яйца, деформацией скорлупы, разжижением яичного белка [7,8].

При патологоанатомическом исследовании в носовой полости, в трахее, обнаруживают скопление умеренного количества серозного или серозно-слизистого экссудата, в инфраорбитальных синусах встречается скопление казеозных масс.

При нефрозо-нефритном синдроме наблюдают поражение почек, проявляющиеся их увеличением, изменением цвета до светло-коричневого, дряблой консистенцией, скоплением уратов в канальцах и мочеточниках.

При репродуктивном синдроме отмечают атрофию яичных фолликулов, признаки сальпингита, кисты яичников, может развиваться желточный перитонит [3,4].

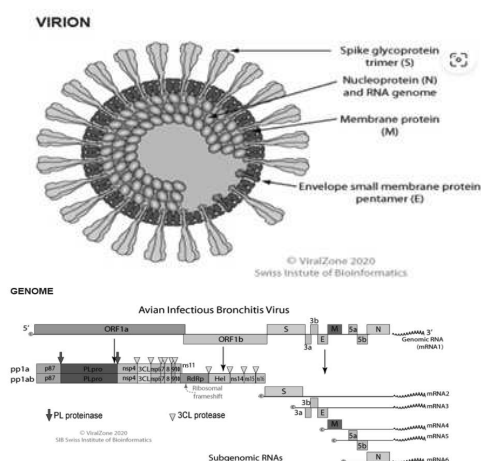


Рисунок 1 – Схематическое изображение генома вируса
заимствовано Viralzone.

Экономический ущерб при ИБК складывается из падежа птицы, снижения яичной продуктивности, снижения динамики набора живой массы, низкой конверсии корма и др.

Течение ИБК часто протекает в ассоциированной форме с другими вирусными инфекциями (метапневмовирусная инфекция птиц, ньюкаслская болезнь), и всегда осложняется признаками поражения вторичных бактериальных инфекций, таких как колибактериоз, орнитобактериоз, микоплазмоз, пастереллез и т.д., что затрудняет диагностику болезни классическими методами [11,12,13].

Диагноз на ИБК ставят комплексно, с учетом эпизоотологических данных, клинических признаков, патологоанатомических изменений и лабораторных исследований, включающие серологические, вирусологические и молекулярно-генетические методы. Для ретроспективной диагностики широкое применение в ветеринарной практике получило использование ИФА, который позволяет при определении титра антител парных сывороток быстро поставить диагноз [9,10].

Классическими методами диагностики ИБК являются РН и РТГА, которые используются для выявления антител к

определенным серотипам вируса. Однако, РН по трудоемкости, а РТГА по чувствительности уступают ИФА [14]. Для выделения вируса ИБК проводят 3-4 пассажа на 9-10 суточных куриных эмбрионах заражением в аллантоисную полость. Вирус ИБК вызывает характерные поражения, такие как «карликовость», «скрученность» эмбрионов (рис.2).

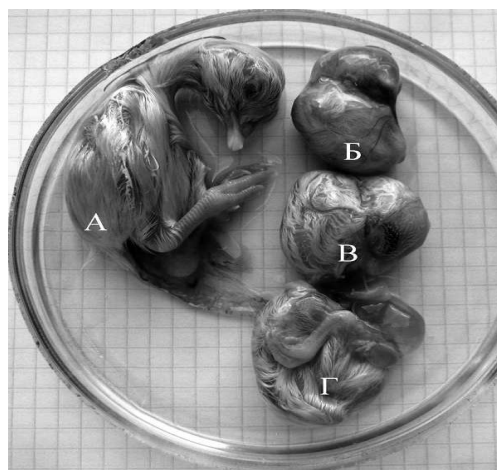


Рисунок 2 – Патологоанатомические изменения у РЭК
А-контроль;
Б, В, Г-проявление ИБК на КЭ

Однако, ассоциированное течение ИБК с другими вирусными инфекциями, появление новых вариантов и штаммов вируса затрудняет проведение диагностических исследований классическими методами, в то время как использование ОТ-ПЦР с последующим секвенированием (определением нуклеотидной последовательности) гена S вируса ИБК позволяют выявить и дифференцировать возбудителя, что имеет важное значение для профилактики данной болезни, так как перекрестная защита между штаммами разных серотипов практически отсутствует [3, 5, 6].

Защита птицепоголовья от ИБК может быть обеспечена только проведением специфической профилактики посредством вакцинации птицы живыми и инактивированными вакцинами. Для защиты

респираторного тракта цыплят от ИБК наиболее эффективным методом профилактики является формирование местного иммунитета, который достигается использованием живых вакцин спрей методом начиная с суточного возраста [15].

Инактивированные вакцины не стимулируют локальный, клеточно-опосредованный иммунитет, но помогают стимулировать однородные и персистирующие титры антител, что предотвращает распространение вируса из трахеи к репродуктивным органам и почкам [16].

Известно, что перекрестная защита между штаммами разных серотипов практически отсутствует, и при установлении в хозяйстве вариантных штаммов вируса ИБК необходимо введение вакцинации против вариантного штамма, не отменяя вакцинации с использованием штамма Массачусетс.

ВЫВОДЫ/CONCLUSION

Таким образом, меры борьбы с ИБК должны быть основаны на соблюдении ветеринарно-санитарных норм и на строгом выполнении противоэпизоотических мероприятий.

В случае возникновения ИБК в хозяйстве необходимо проведение своевременных диагностических, лечебных, профилактических, мероприятий с использованием средств специфической профилактики.

Комплексное применение живых и инактивированных вакцин обеспечивают формирование стойкого иммунного ответа, достаточного для защиты поголовья от полевого вируса в течение всего продуктивного периода.

DIAGNOSIS OF INFECTIOUS BRONCHITIS IN AVIAN

Abgaryan S.R. – PhD of Veterinary Sciences (ORCID 0000-0002-6970-428X);
Prikhodko E.I. – PhD of Veterinary Sciences (ORCID 0000-0002-0013-3765)

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine

* suzannaa@yandex.ru

ABSTRACT

Infectious bronchitis of chickens causes enormous economic damage to poultry farming, which consists of poultry deaths, decreased egg productivity, decreased body weight gain, low feed conversion, etc. IB of chickens often occurs in association with other viral infections, and the course is always complicated by signs of secondary bacterial infection. There are more than 100 serotypes of the IB of chicken's virus, the appearance of which is due to changes as a result of point mutations in the S1 gene subunit of the S protein, which lead to the emergence of new properties in the field virus. Moreover, acquired immunity to one serotype often does not provide protection against infections with other serotypes of the IB of chicken's virus. To detect antibodies to certain serotypes of the IB of chicken's virus. To isolate the IB of chickens virus, 3-4 passages are carried out on 9-10 day-old chicken embryos by infection into the allantoic cavity, but the associated course of IBC with other viral infections, the appearance of new variants and strains of the virus makes it difficult to conduct diagnostic studies using classical methods, while the use of RT-PCR followed by sequencing of the nucleotide sequence of the S1 gene of the IBC virus makes it possible to identify and differentiate the pathogen, which is important for the prevention of this disease. In case of IBD in the household, timely diagnostic, therapeutic, preventive measures should be carried out using specific preventive measures. The combined use of live and inactivated vaccines ensures the formation of a stable immune response sufficient to protect livestock from the field virus throughout the productive period.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абгарян, С. Р. Молекулярно-биологические методы диагностики болезней птиц / С. Р. Абгарян // Актуальные вопросы ветеринарной медицины и лабораторной диагностики : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В.В. Рудакова,

- Санкт-Петербург, 25–26 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2023. – С. 3-5. – EDN IY-FAKA.
2. Абгарян, С. Р. Диагностика метапневмовирусной инфекции птиц с применением мультиплексной ПЦР / С. Р. Абгарян, С. В. Панкратов, А. Н. Семина // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 4. – С. 42-45. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.4.42.
3. Абгарян, С. Р. Эпизоотологические особенности метапневмовирусной инфекции птиц у кур-несушек : специальность 06.02.02 "Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология" : диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Абгарян Сусанна Рафиковна. – Санкт-Петербург, 2021. – EDN SXCCMM.
4. Дмитриева, М. Е. Молекулярно-генетическая диагностика инфекционного бронхита кур / М. Е. Дмитриева, С. Р. Абгарян // Инновационные разработки и их освоение в промышленном птицеводстве : Материалы XVII Международной конференции ВНАП, Сергиев Посад, 15–17 мая 2012 года / редколлегия: В.И. Фисинин редактор; И.А. Егоров, Т.В. Васильева ответственной за выпуск. – Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2012. – С. 529-530. – EDN YRGHFF
5. Никитина, Н. В. Выделение метапневмовируса птиц на различных биологических системах / Н. В. Никитина, С. Р. Абгарян // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2019. – № 2. – С. 34-36. – EDN NCYGGGE.
6. Панкратов, С. В. Современные подходы в диагностике пастереллеза птиц / С. В. Панкратов, С. Р. Абгарян // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 4. – С. 68-71. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.4.68. – EDN DZKNJV.
7. Респираторный синдром - открытые ворота для инфекции / Т. Н. Рождественская, С. В. Панкратов, А. В. Рузина, О. Б. Новикова // Птица и птицепродукты. – 2020. – № 6. – С. 40-42. – DOI 10.30975/2073-4999-2020-22-6-40-42. – EDN BYXSKV.
8. Рождественская, Т. Н. Система обеспечения эпизоотического благополучия птицеводческих хозяйств в отношении бактериальных болезней птиц / Т. Н. Рождественская, А. В. Рузина, С. В. Панкратов, С. С. Яковлев // Сборник статей Научно-практической конференции "Современные научные разработки и передовые технологии для промышленного птицеводства", Санкт-Петербург, 12–14 июля 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО "Медиапапир", 2023. – С. 76-89.
9. Респираторный синдром птиц / Т. Н. Рождественская, С. В. Панкратов, А. В. Рузина, О. Б. Новикова // Сборник статей Научно-практической конференции "Современные научные разработки и передовые технологии для промышленного птицеводства", Санкт-Петербург, 12–14 июля 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО "Медиапапир", 2023. – С. 124-128. – EDN GUNCPR
10. Респираторный синдром птиц. Этиология, диагностика, меры борьбы и профилактики / С. В. Панкратов, Т. Н. Рождественская, А. А. Сухинин, А. В. Рузина // Птица и птицепродукты. – 2021. – № 4. – С. 34-36. – DOI 10.30975/2073-4999-2021-23-4-34-36. – EDN TFCYYYS.
11. Семина, А. Н. Эффективные методы обнаружения возбудителей респираторных болезней в биологическом материале птиц / А. Н. Семина, О. Б. Новикова // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 1. – С. 24-29. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2021.1.24. – EDN ICPVSJ.
12. Семина, А. Н. Идентификация сальмонеллезов птиц методом пцр в формате мультиплекс / А. Н. Семина, С. Р. Абгарян // Эффективное животноводство. – 2019. – № 4(152). – С. 61-63. – DOI 10.24411/9999-007A-2019-1034. – EDN TGQOOR.
13. Семина, А. Н. Изучение генома *Pasteurella multocida* для специфического определения в птицеводстве / А. Н. Семина // Эффективное животноводство. –

2020. – № 4(161). – С. 142-143. – DOI 10.24411/9999-007A-2020-10021. – EDN LSEEZM.

14. Семина, А. Н. Новые подходы в диагностике иммунодепрессивных болезней птиц / А. Н. Семина, С. Р. Абгарян, М. С. Борисова // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и биотехнологии : Сборник научных трудов Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию открытия специальности "Ветеринария", Кинель, 10–11 июня 2024 года. – Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2024. – С. 140-144. – EDN KIQVYR.

15. Терюханов, А. Б. Результаты испытаний инактивированной эмульсионной вакцины "АВИВАК ИБК+НБ+ССЯ-76" / А. Б. Терюханов, С. В. Панкратов, Т. В. Уткина // Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные. – 2006. – № 4. – С. 41-42. – EDN JZBGPH.

16. Трефилов Б.Б. Генетические маркеры вакцинных штаммов метапневмовируса птиц / Б. Б. Трефилов, Н. В. Никитина, В. С. Бочкарев, М. С. Борисова // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 3. – С. 137-140. – EDN UDZWIB.

REFERENCES

1. Abgaryan, S. R. Molecular biological methods for the diagnosis of avian diseases / S. R. Abgaryan // Current issues of veterinary medicine and laboratory diagnostics : proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor V.V. Rudakov, St. Petersburg, May 25-26, 2023. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2023. – pp. 3-5. – EDN IYFAKA.

2. Abgaryan, S. R. Diagnosis of avian metapneumovirus infection using multiplex PCR / S. R. Abgaryan, S. V. Pankratov, A. N. Semina // Regulatory and legal regulation in veterinary medicine. – 2022. – No. 4. – pp. 42-45. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.4.42.

3. Abgaryan, S. R. Epizootological features of avian metapneumovirus infection in laying hens : specialty 02/06/02 "Veterinary

microbiology, virology, epizootology, mycology with mycotoxicology and immunology" : dissertation for the degree of Candidate of Veterinary Sciences / Abgaryan Susanna Rafikovna. – Saint Petersburg, 2021. – EDN SXCCMM.

4. Dmitrieva, M. E. Molecular genetic diagnosis of infectious bronchitis in chickens / M. E. Dmitrieva, S. R. Abgaryan // Innovative developments and their development in industrial poultry farming: Proceedings of the XVII VNAP International Conference, Sergiev Posad, May 15-17, 2012 / Editorial board: V.I. Fisinin editor; I.A. Egorov, T.V. Vasilyeva responsible for the issue. Sergiev Posad: All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Poultry Farming, 2012. pp. 529-530. EDN YRGHFF

5. Nikitina, N. V. Isolation of avian metapneumovirus on various biological systems / N. V. Nikitina, S. R. Abgaryan // Issues of regulatory regulation in veterinary medicine. – 2019. – No. 2. – pp. 34-36. – EDN NCYGGG.

6. Pankratov, S. V. Modern approaches in the diagnosis of avian pasteurellosis / S. V. Pankratov, S. R. Abgaryan // Regulatory and legal regulation in veterinary medicine. – 2022. – No. 4. – pp. 68-71. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.4.68. – EDN DZKNJV.

7. Respiratory syndrome - an open gate for infection / T. N. Rozhdestvenskaya, S. V. Pankratov, A.V. Ruzina, O. B. Novikova // Poultry and poultry products. – 2020. – No. 6. – pp. 40-42. – DOI 10.30975/2073-4999-2020-22-6-40-42. – EDN BYXSKV.

8. Rozhdestvenskaya, T. N. The system of ensuring epizootic well-being of poultry farms in relation to bacterial diseases of birds / T. N. Rozhdestvenskaya, A.V. Ruzina, S. V. Pankratov, S. S. Yakovlev // Collection of articles of the Scientific and practical conference "Modern scientific developments and advanced technologies for industrial poultry farming", St. Petersburg, 12-14 July 2023. Saint Petersburg: Mediapapir LLC, 2023, pp. 76-89.

9. Avian respiratory syndrome / T. N. Rozhdestvenskaya, S. V. Pankratov, A.V. Ruzina, O. B. Novikova // Collection of articles of the Scientific and practical Conference

- "Modern scientific developments and advanced technologies for industrial poultry farming", St. Petersburg, July 12-14, 2023. – Saint Petersburg: Mediapapir LLC, 2023. – pp. 124-128. – EDN GUHCPR
10. Avian respiratory syndrome. Etiology, diagnosis, control and prevention measures / S. V. Pankratov, T. N. Rozhdestvenskaya, A. A. Sukhinin, A. V. Ruzina // Poultry and poultry products. – 2021. – No. 4. – pp. 34-36. – DOI 10.30975/2073-4999-2021-23-4-34-36. – EDN TFCYYS.
11. Semina, A. N. Effective methods for detecting respiratory pathogens in the biological material of birds / A. N. Semina, O. B. Novikova // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2021. – No. 1. – pp. 24-29. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2021.1.24. – EDN ICPVSJ.
12. Semina, A. N. Identification of avian salmonellosis by the PCR method in the multiplex format / A. N. Semina, S. R. Abgaryan // Efficient animal husbandry. – 2019. – № 4(152). – Pp. 61-63. – DOI 10.24411/9999-007A-2019-1034. – EDN TGQOOR.
13. Semina, A. N. Study of the *Pasteurella multocida* genome for specific determination in poultry farming / A. N. Semina // Efficient animal husbandry. – 2020. – № 4(161). – Pp. 142-143. – DOI 10.24411/9999-007A-2020-10021. – EDN LSEEZM.
14. Semina, A. N. New approaches in the diagnosis of immunosuppressive diseases of birds / A. N. Semina, S. R. Abgaryan, M. S. Borisova // Actual problems of veterinary medicine and biotechnology : Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation dedicated to the 25th anniversary of the opening of the specialty "Veterinary Medicine", Kinel, June 10-11, 2024. – Kinel: IBC Samara State Agrarian University, 2024. – pp. 140-144. – EDN KIQVYR.
15. Teryukhanov A. B., Pankratov S. V., Utkina T. V. Test results of the AVIVAK IBK+NB+SS-76 inactivated emulsion vaccine // Russian Veterinary Journal. Farm animals. – 2006. – No. 4. – pp. 41-42. – EDN JZBGXP.
16. Trefilov B.B. Genetic markers of avian metapneumovirus vaccine strains / B. B. Trefilov, N. V. Nikitina, V. S. Bochkarev, M. S. Borisova // Successes of modern natural science. – 2015. – No. 3. – pp. 137-140. – EDN UDZWIB.



ПАРТНЁР™

ВЕТЕРИНАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
8-800-200-07-12



ТЕХНОЛОГИИ НАШЕГО ВРЕМЕНИ

ДЛЯ ВЕТЕРИНАРИИ И ЖИВОТНОВОДСТВА

- Ветеринарные УЗИ сканеры
- Рентгеновское оборудование для ветеринарии
- Товары для мечения животных (микрочипы, ридеры, бирки и др.)
- Термометры, инфракрасные пирометры
- Счетчики молока

ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ

- Анализаторы молока
- Тесты на антибиотики в молоке
- Ветеринарные биохимические экспресс-анализаторы
- Ветеринарные гемоанализаторы
- Ветеринарные анализаторы мочи
- Трихинеллоскопы

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

п.Тярлево, Всероссийский Институт генетики и разведения с/х животных, Московское шоссе, 55А, 1 этаж
Тел. (812) 928-07-23

НОВОСИБИРСК

п.Краснообск, Сибирский Федеральный Научный Центр Агробиотехнологий, ИЭВСиДВ, 2, 3 этаж
Тел. (383) 375-07-23

info@partnerlab.ru • www.partnerltd.ru • www.partnerlab.ru



Редакция журнала
«Международный вестник ветеринарии»
196084, Санкт-Петербург, Черниговская 5,
СПбГУВМ.
Телефон/факс (812) 387-11-58
Mail to: farm_vestnik@mail.ru