DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3

№3/2025

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЕСТНИК ВЕТЕРИНАРИИ

№3

International bulletin of Veterinary Medicine





МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЕСТНИК ВЕТЕРИНАРИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ- 2025

www.spbguvm.ru

Международный вестник ветеринарии 3.2025

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. Зеленевский - 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., Н. 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, Turkiye.
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.
Ilia Tsachev - DVM, MSc, PhD, DSc Prof., Stara Zagora, Bulgaria.
О.Ю. Беспятых - 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. Шапиев - 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 01.09.2025
Подписано к печати 15.09.2025
Формат 70×100 1/16.
Бумага глянцевая № 1. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 35,5+0,25 цв. вкл.
Усл. Кр.-отт. 18,2.
Тираж 1001 экз.

Editorial council
K.V. Plemyashov - member.-corr. RAS, Doctor of Science, prof., St. Petersburg
L.Y. Karpenko - deputy editor, doctor of biology sciences, professor, St. Petersburg.
A.I. Yatusevich - 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. Zelenevskiy - 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
Ilia 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 01.09.2025
Signed for printing 15.09.2025
The format of 100 × 70 1/16 .
Glossy paper number 1. Offset printing.
Conv. Pec. liter. 35.5+0,25 fl. incl.
Conv. Cr. - ott . 18.2 .
Circulation 1001 copies.

На 1 странице обложки: 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 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.

МВВ 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» (МВВ). 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 Medi -cine 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 disci-plines.

In this magazine, you can place an advertisement for your company. Ads and commer-cial 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 editori -al board on certain issues may not coincide.

Postgraduates are not charged for the pub -lication 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" (MVV).

СОДЕРЖАНИЕ

Инфекционные болезни

• *Влияние иммуностимулятора Аллокин-альфа на клинико-гематологические показатели телят. Сухинин А.А., Борисова М.С., Степанова Н.А.* **13**

• *Сап лошадей в европейских печатных источниках XVII-го века. Виноходова М.В., Ярощук А.И., Бараев Р.Х.* **23**

• *Получение и определение серологической активности рекомбинантного О-антигена бруцелл, синтезированного в эукариотической системе экспрессии. Хаммадов Н.И., Громова Е.А., Горбунова М.Е., Галеева А.Г., Косарев М.А., Усольцев К.В., Ефимова М.А.* **37**

• *Мониторинг распространения лейкоза крупного рогатого скота в Тюменской области. Глазунов Ю.В., Зверев Р.Н., Глазунова Л.А.* **47**

• *Оценка эффективности коллоидного серебра для ингибирования образования биоплёнки у возбудителей бронхопневмонии телят. Киянчук М.В., Борисова М.С., Сухинин А.А.* **63**

• *Анализ полиморфизма гена LIPL32 патогенных лептоспир для разработки тест-системы с использованием полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. Шангараев Р.И., Усольцев К.В., Хаертынов К.С., Панкова Е.В., Горбунова М.Е., Хаммадов Н.И., Осянин К.А.* **72**

• *К вопросу визуализации параспоральных тел и спор. Хлопова К.В., Горшков-Кантакузен В.А., Чикина Ю.В., Тимофеев В.С.* **84**

Инвазионные болезни

• *Распространение основных паразитозов овец в фермерских хозяйствах ленинградской области. Палавков Е.С., Ширяева В.А.* **90**

• *Обсемененность различных типов водоемов яйцами гельминтов по зонам вертикальной поясности Кабардино-Балкарской республики. Кабардиев С.Ш., Карпущенко К.А.* **97**

•*Определение видовой принадлежности скребней при гельминтологическом вскрытии байкальской нерпы (Pusa Sibirica). Суворова И.В., Макарова Д.А., Забровская А.В.* **107**

Фармакология, токсикология, фармация

• *Разработка и валидация методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций. Бобкова К.Э., Кузнецов Ю.Е.* **114**

• *Патогенетическое обоснование фармакотерапии язвенного гастродуоденита у животных и перспективы применения лоха узколистного при патологии (обзор). Бойко Т.В., Асташева И.А., Лукша Е.А.* **125**

• *Эмбриотоксичность конъюгированных форм Зеараленона. Вафин Ф.Р., Семёнов Э.И., Мишина Н.Н., Мухарлямова А.З., Сагдеева З.Х., Майорова Е.Н., Макаева В.И.* **142**

• *Идентификация и пробиотические свойства лактобактерий из кишечника цыплят-бройлеров. Зверева О.В., Кузнецова Ю.П., Вострикова А.С., Сыромятников М.Ю., Михайлов Е.В., Корнеева О.С.* **152**

• *Оценка химиотерапевтической эффективности моксифлоксацина при экспериментальном колибактериозе цыплят. Мазур А. Д., Скворцов В.Н., Юрин Д.В., Горбанёва А.С., Лаишевцев А.И.* **164**

	• *Определение бактерицидной активности дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» в отношении Brucella abortus 54М. Панкова Е.В., Мингалеев Д.Н., Месяцев В.Г., Мустафина Э.Н., Мельникова Л.А., Назмеев М.М., Равилов Р.Х.*	**171**
	• *Изучение острой токсичности комплексного антимикотического препарата. Мусин Р.Р., Ганиев И.М., Гайнуллин Р.Р., Тремасова А.М., Идиятов И.И., Ерошин А.И., Шакирова Э.Р.*	**180**
	• *Морфометрические параметры эритроцитов цыплят под влиянием Энрофлоксацина в условиях in vitro: дозозависимый эффект. Присный А.А., Гребцова Е.А., Скворцов В.Н. Юрин Д.В.*	**188**
	• *Перспективы использования биокомпозиции на основе бактерий Bacillus subtilis в качестве безопасной добавки и профилактического средства-нейтрализатора зеараленона в птицеводстве. Крутъ У.А., Иванова С.М., Шайдорова Г.М., Кощаев И.А., Перепелица М.М.*	**195**
	• *Эффективность препарата Диронет плюс при эктопаразитозах кошек. Новиков Д.Д., Токарев А.Н., Токарева О.А., Енгашева Е.С.*	**204**
	• *Корреляционные взаимозависимости между содержанием сорбитола и «классическими» биохимическими показателями, характеризующими функциональное состояние печени у крупного рогатого скота. Понамарёв В.С.*	**210**
	• *Концентрации уровни Cypor при различных патологиях желудочно-кишечного тракта. Ефимов В.Я., Кострова А.В.*	**216**
	• *Вариативность уровня Cypor в зависимости от характера образцов тканей. Попова О.С., Былинская Д.С.*	**223**
Зоогигиена, санитария, кормление	• *Воздействие различных добавок на уровень антибактериальной защиты молоди стерляди. Салов С.Р., Микряков Д.В., Медников П.В.*	**231**
	• *Определение снижения массы и объема коровьего навоза при его переработке. Хоменко Р.М.*	**241**
	• *К вопросу о проведении исследований на наличие ГМО с помощью молекулярных методов. Калюжная Т.В., Егорова П.С.*	**247**
	• *Микотоксикологический мониторинг кормов на территории Омской области. Горюнова А.А., Нахлёскина А.А., Плешакова В.И., Герунов Т.В.*	**256**
	• *Сравнительная оценка молока коров ряда национальных пород Российской селекции. Зайцев С.Ю.*	**263**
	• *Высокобелковые кормовые добавки в рационах молодняка кур. Касанова Н.Р., Гайнуллина М.К., Капитонова Е.А., Просвирников Д.Б., Головкова Е.Е., Броднева А.В.*	**271**
	• *Гидрохимический мониторинг водных объектов в предгорной провинции Дагестана используемых для орошения пастбищ и водопоя сельскохозяйственных животных. Рамазанова Д.М.*	**280**
	• *Гигиеническая оценка комбинированных дезинфицирующих средств, применяемых в служебном собаководстве уголовно-исполнительной системы в сравнительном аспекте. Анисифоров С.Н., Никитина А.А., Белопольский А.Е.*	**290**

Биохимия, морфология, физиология

• *Морфологические изменения кожи межпальцевой области у крупного рогатого скота при хроническом дерматите. Борхунова Е.Н., Белогуров В.В., Позябин С.В., Качалин М.Д., Кузнецова М.А., Лясковский И.Д.* **296**

• *Оптическое воздействие красного спектра на линейные параметры эмбрионов индейки в процессе инкубации. Галиуллина С.А., Хохлов Р.Ю.* **306**

• *Влияние дегидратированного и обогащённого аминокислотами диатомита на гомеостаз и метаболизм у подсвинков. Дежаткина С.В., Дежаткин М.Е., Зирук П.В., Копчекчи М.Е., Копчекчи К.А.* **311**

• *Анатомо-топографические особенности фасциальных образований ягодично-бедренной области у крупного рогатого скота. Слесаренко Н.А., Оганов Э.О., Широкова Е.О.* **323**

• *Клинико-морфологическая характеристика зубного органа собак при одонтогенных образованиях. Фролов В.В., Егунова А.В., Иванцов В.А.* **331**

• *Возрастные особенности хода и ветвления вен в тазовой полости свиней породы йоркшир. Щипакин М.В., Мельников С.И.* **340**

• *Морфологические изменения сесамовидной кости у КРС при артрозе копытцевого сустава. Борхунова Е.Н., Белогуров В.В., Позябин С.В., Качалин М.Д., Кузнецова М.А., Набоков С.В.* **349**

• *Сравнительная оценка реактивности, интоксикации и активности воспаления железистой и соединительной ткани с использованием лейкоцитарных индексов. Чарторийская А.В., Крячко О.В.* **357**

• *Неинвазивный мониторинг эмбрионального развития уток с использованием МРТ и комплекса сравнительных методов. Тодороски К., Ежкова А.М., Ежков В.О.* **364**

• *Сравнительная оценка теплоизоляционных свойств волосяного покрова у жеребят разных популяций якутской лошади. Алферов И.В., Слепцов Е.С.* **376**

• *Физиолого-биохимические аспекты применения Хитозана в ветеринарии. Балыкина А.Б., Карпенко Л.Ю., Киянчук М.В., Никонов И.Н.* **385**

• *Взаимосвязи антиоксидантной активности и основных параметров молока коров голштинской породы при его пастеризации. Савина А.А., Зайцев С.Ю., Воронина О.А.* **397**

• *Содержания малонового диальдегида в тканях золотистой форели (Oncorchynchus mykiss) при обогащении кормов органоминеральными хелатными комплексами. Полистовская П.А., Карпенко Л.Ю., Махнин И.А.* **411**

• *Видовое разнообразие инфузорий рубца крупного рогатого скота и эффективность пробиотической пересадки. Слепцов Е.С., Алферов И.В., Корякина Л.П., Саввинова М.С., Румянцева Т.Д.* **419**

• *Развитие артериального русла рубца и его роль в росте стенки преджелудка у эдильбаевских овец. Мельников С.И., Щипакин М.В.* **426**

Акушерство и гинекология	• *Влияние Унитиола на жизнеспособность ооцитов Sus scrofa domesticus в системе культивирования in vitro. Притужалова А.О., Кузьмина Т.И.*	**436**
	• *Методические аспекты выделения внеклеточной ДНК из антральных овариальных фолликулов Sus scrofa domesticus. Кузьмина Т.И., Притужалова А.О., Баранова Е.И.*	**445**
	• *Оказание помощи высокопродуктивным свиноматкам при нарушении родовой деятельности. Секерин К.В., Филатов А.В.*	**458**
	• *Применение лизата мезенхимальных стволовых клеток в качестве реабилитационной среды для размороженной спермы быков-производителей. Корочкина Е.А., Беликова А.О., Бахтурина Е.И.*	**467**
	• *Морфофункциональные параметры молочной железы крупного рогатого скота голштинской породы разных генотипов по гену STAT3. Чаицкая К.Д., Чаицкий А.А., Королев А.А., Кочуева Н.А., Щеголев П.О., Дуркина В.А., Протасова Е.М.*	**473**
	• *Воспроизводство и адаптация табунных лошадей к арктическим и субарктическим условиям севера Сибири на примере Якутии: краткий обзор. Слепцов Е.С., Осипов В.Г., Стручков Н.А., Нифонтов К.Р., Винокуров И.Е., Саввинова М.С.*	**486**
	• *Обмен веществ у лактирующих коров при субклиническом мастите. Ирхина В.К., Остякова М.Е.*	**497**
Хирургия	• *Сравнительная оценка хирургического и консервативного методов лечения гнойного эндометрита у собак. Семенов Б.С., Назарова А.В., Кузнецова Т. Ш., Голикова В.Д.*	**504**
	• *«Фузогель» – эффективное средство для лечения коров при болезнях копытец. Хузин Д.А., Тарасова Е.Ю., Баймухаметов Ф.З., Спиридонов Г.Н., Быкова П.В., Юсупов С.А., Потехина Р.М., Лукина Г.Р.*	**511**
	• *Разработка алгоритма выполнения высокой эпидуральной анестезии при унилатеральной мастэктомии у кошек. Мячиков А.Д., Глазунова Л.А.*	**520**
Незаразные болезни	• *Особенности клинико-гематологических отклонений у собак с гемолитической анемией неясного генеза при первичном обращении. Чечнева А.В., Ефиминюк Е.А.*	**532**
	• *Динамика заболеваемости и синдромальной структуры патологии печени у молодняка свиней в период доращивания и откорма. Алехин Ю.Н., Попова О.С.*	**539**
	• *Особенности элиминации экзогенного сорбитола у крупного рогатого скота. Понамарёв В.С. Погодаева П.С.*	**548**
	• *Роль гистогенетических признаков опухолевых клеток в морфологической диагностике лимфомы у кошек. Митрохина Н.В., Сотникова Л.Ф.*	**555**
	• *Влияние методологических решений на результаты метагеномного секвенирования бактериальных сообществ. Прасолова О.В.*	**563**

CONTENTS

Infectious diseases	•*The effect of the Allokin-alpha immunostimulator on the clinical and hematological parameters of calves. Sukhinin A.A., Borisova M.S., Stepanova N.A.*	**13**
	• *The sap of horses in European printed sources of the 17th century. Vinokhodova M.V., Yaroshchuk A.I., Baraev R.H.*	**23**
	•*Preparation and determination of the serological activity of recombinant brucella O-antigen synthesized in the eukaryotic expression system. Hammadov N.I., Gromova E.A., Gorbunova M.E., Galeeva A.G., Kosarev M.A., Usoltsev K.V., Efimova M.A.*	**37**
	•*Monitoring the spread of bovine leukemia in the Tyumen region. Glazunov Yu.V., Zverev R.N., Glazunova L.A.*	**47**
	•*Evaluation of the effectiveness of colloidal silver for inhibiting biofilm formation in pathogens of bronchopneumonia in calves. Kiyanchuk M.V., Borisova M.S., Sukhinin A.A.*	**63**
	•*Analysis of the polymorphism of the LIPL32 gene of pathogenic leptospira for the development of a real-time polymerase chain reaction test system. Shangaraev R.I., Usoltsev K.V., Khaertynov K.S., Pankova E.V., Gorbunova M.E., Hammadov N.I., Osyanin K.A.*	**72**
	•*On the issue of visualization of parasporal bodies and spores. Khlopova K.V., Gorshkov-Kantakuzen V.A., Chikina Yu.V., Timofeev V.S.*	**84**
Invasive diseases	•*The spread of the main parasitosis of sheep in farms of the Leningrad region. Palavkov E.S., Shiryaeva V.A.*	**90**
	•*Contamination of various types of reservoirs with helminth eggs in the vertical zones of the Kabardino-Balkarian Republic. Kabardiev S.S., Karpushchenko K.A.*	**97**
	•*Determination of the species belonging of the scrapers during the helminthological autopsy of the Baikal seal (Pusa Sibirica). Suvorova I.V., Makarova D.A., Zabrovskaya A.V.*	**107**
Pharmacology, toxicology, pharmacy	•*Development and validation of a method for the quantitative determination of marbofloxacin in the substance and drug "Marbotim" in the form of a solution for injection. Bobkova K.E., Kuznetsov Yu.E.*	**114**
	•*Pathogenetic substantiation of pharmacotherapy of ulcerative gastroduodenitis in animals and application prospects narrow-leaved sucker in pathology (review). Boyko T.V., Astasheva I.A., Luksha E.A.*	**125**
	•*Embryotoxicity of conjugated forms of Zearalenone. Vafin F.R., Semenov E.I., Mishina N.N., Mukharlyamova A.Z., Sagdeeva Z.H., Mayorova E.N., Makaeva V.I.*	**142**
	• *Identification and probiotic properties of lactobacilli from the intestines of broiler chickens. Zvereva O.V., Kuznetsova Yu.P., Vostrikova A.S., Syromyatnikov M.Yu., Mikhailov E.V., Korneeva O.S.*	**152**
	• *Evaluation of the chemotherapeutic efficacy of moxifloxacin in experimental colibacteriosis of chickens. Mazur A.D., Skvortsov V.N., Yurin D.V., Gorbaneva A.S., Laishevtsev A.I.*	**164**
	•*Determination of the bactericidal activity of the Theotropin P+ disinfectant against Brucella abortus 54M. Pankova E.V., Mingaleev D.N., Months V.G., Mustafina E.N.,Melnikova L.A., Nazmeev M.M., Ravilov R.Kh.*	**171**

	•*Study of acute toxicity of a complex antimycotic drug. Musin R.R., Ganiev I.M., Gainullin R.R., Tremasova A.M., Idiatov I.I., Eroshin A.I., Shakirova E.R.*	**180**
	•*Morphometric parameters of chicken erythrocytes under the influence of Enrofloxacin in vitro: dose-dependent effect. Prisny A.A., Grebtsova E.A., Skvortsov V.N. Yurin D.V.*	**188**
	• *Prospects of using a biocomposition based on Bacillus subtilis bacteria as a safe additive and preventive agent-neutralizer of zearalenone in poultry farming. Krut U.A., Ivanova S.M., Shaidorova G.M., Koshaev I.A., Perepelitsa M.M.*	**195**
	• *The effectiveness of Dironet plus in cat ectoparasitosis. Novikov D.D., Tokarev A.N., Tokareva O.A., Engasheva E.S.*	**204**
	•*Correlational interdependencies between the sorbitol content and "classical" biochemical parameters characterizing the functional state of the liver in cattle. Ponamarev V.S.*	**210**
	• *Concentrations of Cypor levels in various pathologies of the gastrointestinal tract. Efimov V.Ya., Kostrova A.V.*	**216**
	•*The variability of the Cypor level depends on the nature of the tissue samples. Popova O.S., Bylinskaya D.S.*	**223**
Zoohygiene, sanitation, feeding	•*The effect of various additives on the level of antibacterial protection of juvenile sterlet. Salov S.R., Mikryakov D.V., Mednikov P.V.*	**231**
	•*Determination of the reduction in weight and volume of cow manure during its processing. Khomenko R.M.*	**241**
	•*On the issue of conducting research on the presence of GMOs using molecular methods. Kalyuzhnaya T.V., Egorova P.S.*	**247**
	•*Mycotoxicological monitoring of feed in the territory Omsk region. Goryunova A.A., Nakhleskina A.A., Pleshakova V.I., Gerunov T.V.*	**256**
	•*Comparative evaluation of milk from cows of a number of national breeds Russian breeding. Zaitsev S.Yu.*	**263**
	•*High-protein feed additives in the diets of young chickens. Kasanova N.R., Gainullina M.K., Kapitonova E.A., Prosvirnikov D.B., Golovkova E.E., Brodneva A.V.*	**271**
	•*Hydrochemical monitoring of water bodies in the foothill province of Dagestan used for irrigation of pastures and watering of farm animals. Ramazanova D.M.*	**280**
	• *Hygienic assessment of combined disinfectants used in the service dog breeding of the penitentiary system in a comparative aspect. Anisiforov S.N., Nikitina A.A., Belopolsky A.E.*	**290**
Biochemistry, morphology, physiology	•*Morphological changes in the skin of the interdigital region in cattle with chronic dermatitis. Borkhunova E.N., Belogurov V.V., Pozyabin S.V., Kachalin M.D., Kuznetsova M.A., Lyaskovsky I.D.*	**296**
	•*Optical effect of the red spectrum on the linear parameters of turkey embryos during incubation. Galiullina S.A., Khokhlov R.Yu.*	**306**
	•*The effect of dehydrated and amino acid-enriched diatomaceous earth on homeostasis and metabolism in piglets. Dezhatkina S.V., Dezhatkin M.E., Ziruk P.V., Kopchekchi M.E., Kopchekchi K.A.*	**311**

	•*Anatomical and topographic features of fascial formations of the gluteal-femoral region in cattle. Slesarenko N.A., Oganov E.O., Shirokova E.O.*	**323**
	• *Clinical and morphological characteristics of the dental organ of dogs with odontogenic formations. Frolov V.V., Egunova A.V., Ivantsov V.A.*	**331**
	• *Age-related features of the course and branching of veins in the pelvic cavity of Yorkshire pigs. Shchipakin M.V., Melnikov S.I.*	**340**
	•*Morphological changes of the sesamoid bone in cattle with arthrosis of the hoof joint. Borkhunova E.N., Belogurov V.V., Pozyabin S.V., Kachalin M.D., Kuznetsova M.A., Nabokov S.V.*	**349**
	• *Comparative assessment of reactivity, intoxication, and inflammatory activity of glandular and connective tissue using leukocyte indices. Chartoriyskaya A.V., Kryachko O.V.*	**357**
	•*Noninvasive monitoring of fetal development of ducks using MRI and a set of comparative methods. Todoroski K., Yezhkova A.M., Yezhkov V.O.*	**364**
	• *Comparative assessment of the thermal insulation properties of hair in foals of different populations of the Yakut horse. Alferov I.V., Sleptsov E.S.*	**376**
	• *Physiological and biochemical aspects of Chitosan application in veterinary medicine. Balykina A.B., Karpenko L.Yu., Kiyanchuk M.V., Nikonov I.N.*	**385**
	• *Interrelationships of antioxidant activity and the main parameters of milk of Holstein cows during its pasteurization. Savina A.A., Zaitsev S.Yu., Voronina O.A.*	**397**
	•*The content of malonic dialdehyde in the tissues of golden trout (Oncorchynchus mykiss) when foraging with organomineral chelate complexes. Polistovskaya P.A., Karpenko L.Yu., Makhnin I.A.*	**411**
	•*Species diversity of bovine rumen ciliates and the effectiveness of probiotic transplantation. Sleptsov E.S., Alferov I.V., Koryakina L.P., Savvinova M.S., Rumyantseva T.D.*	**419**
	•*The development of the arterial scar and its role in growth walls of the pancreas in Edilbaev sheep. Melnikov S.I., Shchipakin M.V.*	**426**
Obstetrics, gynecology	•*The effect of Unithiol on the viability of Sus scrofa domesticus oocytes in an in vitro culture system. Prituzhalova A.O., Kuzmina T.I.*	**436**
	•*Methodological aspects of extracellular DNA isolation from antrum ovarian follicles of Sus scrofa domesticus. Kuzmina T.I., Prituzhalova A.O., Baranova E.I.*	**445**
	• *Providing assistance to highly productive sows in case of labor disorders. Sekerin K.V., Filatov A.V.*	**458**
	•*The use of mesenchymal stem cell lysate as a rehabilitation medium for thawed sperm from breeding bulls. Korochkina E.A., Belikova A.O., Bakhturina E.I.*	**467**
	• *Morphofunctional parameters of the mammary gland of Holstein cattle of different genotypes according to the STAT3 gene. Chaitskaya K.D., Chaitskiy A.A., Korolev A.A., Kochueva N.A., Shchegolev P.O., Durkina V.A., Protasova E.M.*	**473**
	• *Reproduction and adaptation of herd horses to Arctic and subarctic conditions of northern Siberia on the example of Yakutia: a brief overview. Sleptsov E.S., Osipov V.G., Struchkov N.A., Nifontov K.R., Vinokurov I.E., Savvinova M.S.*	**486**

	•*Metabolism in lactating cows with subclinical mastitis. Irkhina V.K., Ostyakova M.E.*	**497**
Surgery	•*Comparative assessment of surgical and conservative methods of treatment of purulent endometritis in dogs. Semenov B.S., Nazarova A.V., Kuznetsova T. Sh., Golikova V.D.*	**504**
	•*Fusogel is an effective remedy for the treatment of cows with hoof diseases. Khuzin D.A., Tarasova E.Yu., Baymukhametov F.Z., Spiridonov G.N., Bykova P.V., Yusupov S.A., Potekhina R.M., Lukina G.R.*	**511**
	•*Development of an algorithm for performing high epidural anesthesia during unilateral mastectomy in cats. Balls A.D., Glazunova L.A.*	**520**
Non-communicable diseases	• *Features of clinical and hematological abnormalities in dogs with hemolytic anemia of unknown origin during initial treatment. Chechneva A.V., Yefiminyuk E.A.*	**532**
	• *The dynamics of morbidity and the syndromic structure of liver pathology in young pigs during rearing and fattening. Alyokhin Yu.N., Popova O.S.*	**539**
	•*Features of the elimination of exogenous sorbitol in cattle. Ponamarev V.S. Pogodaeva P.S.*	**548**
	•*The role of histogenetic signs of tumor cells in the morphological diagnosis of lymphoma in cats. Mitrokhina N.V., Sotnikova L.F.*	**555**
	•*The influence of methodological solutions on the results of metagenomic sequencing of bacterial communities. Prasolova O.V.*	**563**

ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК: 615.37:612.11:636.2-053.2
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.13

ВЛИЯНИЕ ИММУНОСТИМУЛЯТОРА АЛЛОКИН-АЛЬФА НА КЛИНИКО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕЛЯТ

Сухинин А.А. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0002-1234-3440); **Борисова М.С.** – канд. ветеринар. наук, асс. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0001-9726-6339); **Степанова Н.А.*** – аспирант каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0009-0006-9374-8545).

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* nas2001@list.ru

Ключевые слова: *иммунитет, бронхопневмония, телята, иммуностимулятор, Аллокин-альфа.*

Key words: *immunity, bronchopneumonia, calves, immunostimulant, Allokin-alpha.*

Поступила: 01.07.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Иммунологическая незрелость телят и нарушение условий содержания способствуют развитию заболеваний молодняка крупного рогатого скота, приводя к значительным экономическим потерям из-за падежа, снижения привесов и вынужденного убоя. В условиях роста антибиотикорезистентности актуальны альтернативные методы лечения, включая иммуностимуляторы, такие как синтетический олигопептид Аллокин-альфа. Иммуностимулирующие свойства Аллокина-альфа заключаются в индукции синтеза эндогенных киллеров, активации системы естественных киллеров, а также стимуляции детекции пораженных клеток цитотоксическими лимфоцитами и повышении выработки цитокинов. В результате происходит переключение иммунного ответа с гуморального звена на клеточное. Цель исследования заключалась в изучении влияния иммуностимулятора Аллокин-альфа на клинические и гематологические показатели телят. 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. Аллокин-альфа в дозе 1 мг на голову вводился телятам подкожно двукратно с интервалом в 6 дней. Для оценки влияния Аллокина-альфа на организм животных подопытных групп, а также для исключения сопутствующих заболеваний в начале и в конце эксперимента проводились клиническое исследование телят и гематологическое исследование крови.

Отбор крови производился до введения препарата и после окончания курса введения для оценки в динамике. Гематологическое исследование проводилось на базе лаборатории ФГБОУ ВО СПбГУВМ. Исследовали содержание лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов, гемоглобина, а также анализировали лейкограмму и выводимые на её основании лейкоцитарные индексы животных контрольной и подопытных групп. Применение Аллокина-альфа нормализует у больных бронхопневмонией телят количество лейкоцитов, облегчает течение воспалительной реакции.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Иммунологическая незрелость организма телят и нарушение зоогигиенических параметров содержания и кормления животных зачастую ведёт к возникновению и развитию болезней молодняка крупного рогатого скота. В связи с высокой степенью поражения телят и значительными последствиями болезней молодняка возникают экономические убытки, наносящие существенный урон современному животноводству. Он складывается из падежа телят и вынужденного убоя до половины поголовья молодняка, отставании телят в росте и снижении привесов массы тела [1,2,3,13,15].

Болезни дыхательной системы, в том числе бронхопневмония телят, занимают второе место по распространению после поражения желудочно-кишечного тракта. У больных животных отмечают иммунодефициты, развитие лимфоцитопении, угнетение фагоцитарной активности [14]. В связи с ростом антибиотикорезистентности среди возбудителей бронхопневмонии крупного рогатого скота в ветеринарной медицине всё больший интерес привлекают к себе новые методы профилактики и лечения продуктивных животных. К ним относится создание новых вакцин, использование современных дезинфектантов широкого спектра антимикробного действия, фаготерапия, а также применение иммуномодуляторов [6,8,9,11,15].

Препарат Аллокин-альфа представляет собой синтетический олигопептид, структурно аналогичный природным аллоферонам, являющийся близким по фармакологическому действию к интерферону альфа. Данный препарат обладает иммуномодулирующим и противовирусным действием, опосредованным активацией системы интерферона (ИФН) и стимуляцией естественных киллеров (NK-клеток) [10]. Аллокин-альфа индуцирует синтез эндогенных интерферонов, преимущественно ИФН-α и ИФН-γ, что приводит к усилению противовирусного иммунного ответа [5]. Препарат активирует систему Toll-подобных рецепторов (TLR), что стимулирует продукцию провоспалительных цитокинов (ИЛ-12, ФНО-α) и усиливает цитотоксическую активность NK-клеток и цитотоксических Т-лимфоцитов (CD8+) [16].

Противовирусный эффект Аллокина-альфа реализуется за счет подавления репликации вирусов, в гуманной медицине особенно эффективен в отношении вирусов папилломы человека (ВПЧ), герпесвирусов (ВПГ-1, ВПГ-2) и вирусов гепатита В и С [12]. Клинические исследования демонстрируют снижение вирусной нагрузки и ускорение элиминации вируса при применении препарата в комплексной терапии [5].

Цель исследования заключалась в изучении влияния иммуностимулятора Аллокин-альфа на клинические и гематологические показатели трехмесячных телят.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены весной 2025 года на базе племенного завода Ленинградской области. Хозяйство благополучно по инфекционным болезням крупного рогатого скота. На момент 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» ставился комплексно на основании клинического

исследования и анализа спектра выделенных микроорганизмов из носоглоточной слизи. У больных животных бронхопневмония была вызвана ассоциацией возбудителей. Среди клинических признаков регистрировали субфебрильную температуру тела, угнетение, одышку, периодический сухой кашель, слизисто-гнойные истечения из носовых ходов. Отбор проб носоглоточной слизи производился до начала эксперимента стерильным тупфером, который помещали в транспортную систему со средой Кэри-Блэйра. Транспортировка материала производилась в течение 3 часов после отбора. Для выделения чистых культур микроорганизмов проводили посев биоматериала на дифференциально-диагностические питательные среды. Идентификацию проводили с применением культуральных и биохимических методов. Культивация микроорганизмов проводилась на питательных средах – Эндо, кровяном агаре, МПА, солевом агаре с маннитом, железосульфитном агаре, среде Китта-Тароции, PALCAM. Микроорганизмы типизировали с помощью масспектрометрии на масспектрометре с лазерной десорбцией MALDI-TOF.

Для экспериментальной работы было сформировано 3 группы телят голштинской породы в возрасте 3 месяцев, каждая из которых состояла из 10 телят. Всего в эксперименте участвовало 30 животных. Для молодняка, участвовавшего в эксперименте, были сформированы 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, которые лечились по схеме, принятой в хозяйстве, во вторую подопытную группу – телята (n=10) с признаками бронхопневмонии, которые лечились по схеме, принятой в хозяйстве, дополненной иммуностимулятором Аллокин-альфа. Животным первой подопытной группы, получавшим схему лечения хозяйства, назначались: 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 дополнительно к схеме лечения был назначен иммуностимулятор Аллокин-альфа вводился двукратно в дозировке 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). Выбор дозировки обусловлен рекомендациями производителя, разработками кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии ФГБОУ ВО СПбГУВМ, ранними исследованиями кафедры, проводившимися в рамках работы над кандидатской диссертацией Гумберидзе М.М. «Эффективность препарата «Аллокин-альфа» при Алеутской болезни норок» [4].

У животных контрольной и подопытных групп проводились все плановые профилактические и диагностические мероприятия. Клиническое исследование телят проводили в начале исследования, а также на протяжении 21 дня эксперимента, у животных оценивали температуру, частоту сердечных сокращений и частоту дыхательных движений, аппетит, акт дефекации и мочеиспускания, двигательную активность, изменение поведения, состояние кожных покровов. Кровь исследовали в первый день эксперимента до начала лечения и на 7 день эксперимента (на следующий день после окончания лечения). Кровь отбирали из яремной вены в пробирки с активатором свертыва-

ния и антикоагулянтом ЭДТА. Гематологические исследования проводились с помощью стандартных методик в лаборатории ФГБОУ ВО СПбГУВМ. При проведении клинического анализа количество эритроцитов и лейкоцитов определяли подсчетом в счетной камере Горяева, тромбоцитов – методом микроскопии в мазке крови, содержание гемоглобина – гемоглобинцианидным методом. При оценке уровня защитного потенциала организма на основании лейкограммы определяли значение основных лейкоцитарных индексов. 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 MicrosoftExcel 2013. Определяли среднее значение (M), ошибку средней арифметической величины (± m). Достоверность влияния факторов на показатели оценивалась t-критерием Стьюдента. Отличия считались достоверными на уровне значимости $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате микробиологического исследования носоглоточной слизи больных животных были выделены и типизированы следующие микроорганизмы: *Proteus mirabilis, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa, Comamonas kerstersii, Escherichia coli, Staphylococcus xylosus, Aerococcus viridans*. Это подтверждает их роль в возникновении и развитии бронхопневмонии [7].

При проведении эксперимента у животных регистрировались достоверные изменения показателей температуры, частоты сердечных сокращений и частоты дыхательных движений (таблица 1). У больных животных отмечали учащение дыхательных движений, при перкуссии лёгких выявлены очаги притупления. При аускультации прослушивалось жёсткое везикулярное дыхание, хрипы.

При сравнении перечисленных показателей выявлено достоверное отличие температуры телят контрольной группы и телят первой подопытной группы на 3,2 %, а также между телятами контрольной группы и второй подопытной группы – на 3,0 % на начало эксперимента, которое не отмечалось в конце эксперимента. Это свидетельствует о нормализации температуры у больных животных и приближении её значений к норме. Также отмечается достоверное различие частоты дыхательных движений между телятами контрольной группы и телятами первой подопытной группы на 33,7 % в начале эксперимента и на 36,9 %, между контрольной и второй подопытной группами – на 34,7 и 35,5 % соответственно. Это свидетельствует об остром течении бронхопневмонии в начале эксперимента, а в конце эксперимента – об остаточной активности воспалительного процесса в респираторном тракте. У телят, которым применялся иммуностимулятор, частота дыхательных движений ближе к показателям здоровых животных, что может быть связано, по нашим предположениям, механизмом действия препарата. Достоверных отличий частоты сердечных сокращений среди животных исследуемых групп не выявлено, что может быть связано с устойчивостью ритма и компенсаторными механизмами сердечно-сосудистой системы, поддерживающими гемодинамику даже при умеренных воспалительных изменениях при поражении дыхательной системы.

При применении иммуностимулятора Аллокин-альфа нами не отмечались общие реакции организма, изменении в поведении животных, снижение аппетита, нарушение актов дефекации и мочеиспускания. По мере лечения на 5-6 день у обеих подопытных групп отмечали улучшение общего состояния: животные становились активнее, у них регистрировали повышение аппетита, снижение выделения носовых истечений.

Результаты гематологического исследования животных контрольной и подопытных групп в динамике представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты клинического исследования животных в начале и в конце эксперимента

Показатели	Контрольная группа (n=10)		Подопытная группа 1 (n=10)		Подопытная группа 2 (n=10)	
	Начало эксперимента	Конец эксперимента	Начало эксперимента	Конец эксперимента	Начало эксперимента	Конец эксперимента
Температура тела, °С	38,84±0,10	38,87±0,09	40,08±0,24**	39,05±0,14	40,01±0,28*	39,07±0,09
ЧДД, дв/мин	29,40±1,0	27,90±0,59	39,30±0,77**	38,20±1,86**	39,60±0,60*	37,80±0,53*
ЧСС, уд/мин	80,20±1,02	81,40±1,60	83,70±1,63	82,90±0,95	83,30±1,69	81,70±1,38

*Примечание: * - достоверны отличия группы 1 от группы 3, p≤0,001.*
*** - достоверны отличия группы 1 от группы 2, p≤0,001.*

В группе с Аллокин-альфа отмечено достоверное повышение уровня гемоглобина, превышающее на 16,4 % исходное значение. В контрольной группе и первой подопытной группе аналогичной динамики не наблюдалось. При применении иммуностимулятора Аллокин-альфа регистрировался более высокий рост содержания гемоглобина в эритроцитах, что может быть связано с облечением воспалительной реакции в лёгких, устранением негативного влияния гипоксии.

Нами отмечено снижение эритроцитов в конце эксперимента в контрольной группе на 26 % по сравнению с началом эксперимента, в первой подопытной группе – на 5,7 %, во второй подопытной группе – на 24,8 %. Выявленная динамика может быть связана с патологическим воздействием возбудителей, а именно с влиянием попадающих в кровь экзотоксинов, разрушающих эритроциты [17].

При анализе полученных данных можно сделать вывод, что у животных контрольной и подопытных групп содержание лейкоцитов находится в рамках физиологической нормы. В конце эксперимента у животных подопытных групп содержание лейкоцитов достоверно различается, у животных первой подопытной группы отмечается лейкоцитоз, что может быть объяснено продолжающейся воспалительной реакцией.

Во обеих подопытных группах наблюдается нейтрофильный лейкоцитоз, который обусловлен повышением уровня сегментоядерных нейтрофилов. Так у первой подопытной группы данный показатель вырастает на 50,9 %, а у второй – на 49,5 %.

В группе, получавшей стандартное лечение (подопытная группа 1), к концу эксперимента сохранялся лейкоцитоз, обусловленный преимущественно нейтрофильным звеном (увеличение сегментоядерных нейтрофилов на 50,9 %). При этом отмечалось снижение относительного количества лимфоцитов на 8,5 %, что может свидетельствовать о сохранении воспалительного процесса и необходимости в дальнейшем лечении.

Напротив, в группе, получавшей комбинированное лечение с Аллокин-альфа (подопытная группа 2), наблюдалась нормализация лейкоцитарного профиля: количество лейкоцитов снизилось на 24,8 % по сравнению с началом эксперимента. Согласно рисунку 2, то снижение произошло преимущественно за счет уменьшения содержания лимфоцитов (на 4,5 %) и моноцитов (на 58,0 %).

Таблица 2 – Сравнительная оценка гематологических 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)	
	Начало эксперимента	Конец эксперимента	Начало эксперимента	Конец эксперимента	Начало эксперимента	Конец эксперимента
Лейкоциты, 10^9/л	10,2±1,29	9,4±1,21	10,4±0,42	11,8±0,96	10,9±1,31	8,2±0,83*
Эритроциты, 10^{12}/л	13,0±0,38	9,62±0,33	10,5±0,9$^{\lozenge}$	9,9±0,69	13,3±0,31*	10,0±0,41
Гемоглобин, г/л	103,2±3,18	103,6±2,98	84,2±2,70$^{\lozenge}$	97,0±5,96	96,4±5,08*	112,2±5,72
Тромбоциты, 10^9/л	391,6±55,37	222,0±28,00	214,0±7,83$^{\lozenge}$	229,0±24,7	220,2±4,19°	197,0±19,72
Эозинофилы, %	2,8 ±0,33	1,8±0,20	2,6±0,36	1,8±0,49	2,0±0,00°	2,2±0,37
Палочкоядерные нейтрофилы, %	2,4±0,22	2,8±0,49	2,6±0,36	2,0±0,00	3,8±0,52°	2,4±0,51
Сегментоядерные нейтрофилы, %	24,0±1,23	28±3,71	20,8±2,40	31,4±3,31	21,4±1,78	32,0±3,73
Лимфоциты, %	62,6±0,78	63,2±3,34	66,2±2,82	60,6±3,03	61,8±2,37	59,0±2,72
Моноциты, %	8,2±0,34	4,4±1,17	7,8±0,59	4,2±1,02	10,0±0,40*,$^{\circ}$	4,2±0,92
Лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ)	0,03±0,00	0,05±0,00	0,02±0,00	0,06±0,01	0,04±0,00	0,05±0,01
Индекс иммунореактивности (ИИР)	8,03±0,35	17,72±3,08	7,01±1,09	16,49±4,40	6,14±0,35	17,92±3,05
Нейтрофильно-лимфоцитарный индекс (НЛИ)	0,42±0,02	0,50±0,08	0,35±0,07	0,66±0,09	0,44±0,06	0,55±0,07
Индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ)	0,41±0,02	0,49±0,08	0,45±0,07	0,54±0,07	0,43±0,05	0,52±0,07

*Примечание: * - достоверны отличия группы 2 от группы 3, $p<0,05$.*
$^{\lozenge}$ - достоверны отличия группы 1 от группы 2, $p<0,05$.
$^{\circ}$ - достоверны отличия группы 1 от группы 3, $p<0,05$.

Для оценки уровня защитного потенциала организма телят во время проведения эксперимента на основании данных лейкограммы оценивались лейкоцитарные индексы (таблица 2). Достоверных отличий лейкоцитарных индексов среди животных исследуемых групп не выявлено. На начало эксперимента у животных второй подопытной группы отмечено повышение лейкоцитарного индекса интоксикации (ЛИИ) на 33,3 % по сравнению с животными контрольной группы, что может указывать на повышение эндогенной интоксикации и воспалительной реакции у больных животных по сравнению со здоровым контролем. У обеих подопытных групп регистрировалось низкое значение индекса иммунореактивности (ИИР): у первой подопытной – на 12,7 %, у второй подопытной – на 23,5 %, что свидетельствует о возникшей иммуносупрессии из-за бронхопневмонии. Об этом также говорит повышение значения нейтрофильно-лимфоцитарного индекса (НЛИ): у первой подопытной – на 6,7 %, у второй подопытной – на 4,6 % по сравнению со здоровыми животными. Наличие воспалительной реакции и нарушение иммунной защиты подтверждает повышение индекса сдвига лейкоцитов (ИСЛ) – на 9,8 % и 4,9 % соответственно. На фоне проводимого лечения данные показатели стремятся к значениям здоровых животных, но стоит отметить, что у животных второй подопытной группы лейкоцитарные профили были ближе к значениям контрольной группы по сравнению с животными первой подопытной группы. Так лейкоцитарный индекс интоксикации у животных первой подопытной группы был выше по сравнению со здоровым контролем на 20,0 %, а у животных второй подопытной группы идентичен с контролем, индекс иммунореактивности – ниже на 6,9 % и выше на 1,1% соответственно, нейтрофильно-лейкоцитарный индекс – выше на 32,0 % и 10,0 %, индекс сдвига лейкоцитов – на 10,2 % и 6,1 %. Исходя из перечисленного, можно сделать вывод, что при дополнительном применении иммуностимулятора Аллокин-альфа благодаря его механизму действия ускоряется восстановление иммунной защиты и снижается воздействие эндогенной интоксикации на организм.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, анализ гематологических показателей телят с бронхопневмонией показал, что применение Аллокин-альфа в составе комплексной терапии оказывает выраженное нормализующее действие на лейкоцитарный профиль, вызывая достоверное снижение общего количества лейкоцитов, что свидетельствует об эффективном купировании воспалительного процесса. Также на фоне применения иммуностимулятора отмечается приближение исследуемых лейкоцитарных индексов у больных животных к значениям здоровых, что свидетельствует о восстановлении иммунной защиты и снижении уровня интоксикации. Наблюдаемое во всех группах снижение количества эритроцитов, наиболее выраженное в контрольной группе, может быть связано с патогенезом бронхопневмонии, в частности воздействием возбудителей на пул кровяных клеток.

THE EFFECT OF THE IMMUNOSTIMULANT ALLOKIN-ALPHA ON CLINICAL AND HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF CALVES

Sukhinin A.A. – Doctor of Biology Sciences, Professor, Head of the Department microbiology, virology and immunology (ORCID 0000-0002-1234-3440); **Borisova M.S.** – Candidate of Veterinary Sciences, Assistant of the Department microbiology, virology and immunology (ORCID 0000-0001-9726-6339); **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

Immunological immaturity of calves and suboptimal housing conditions contribute to the development of diseases in young cattle,

leading to significant economic losses due to mortality, reduced weight gain, and forced culling. With the growing antibiotic resistance, alternative treatment methods, including immunostimulants such as the synthetic oligopeptide Allokin-alpha, have become increasingly relevant. The immunostimulatory properties of Allokin-alpha include induction of endogenous killer cell synthesis, activation of the natural killer (NK) cell system, stimulation of cytotoxic lymphocyte-mediated detection of infected cells, and enhanced cytokine production. This results in a shift of immune response from humoral to cellular immunity. The study aimed to evaluate the effects of Allokin-alpha immunostimulant on clinical and hematological parameters in calves. The research was conducted during spring at a breeding farm in Leningrad region on three-month-old Holstein calves and at the Department of Microbiology, Virology, and Immunology of SPbSUVM (St. Petersburg State University of Veterinary Medicine). Allokin -alpha was administered subcutaneously at a dose of 1 mg/head twice with a 6-day interval. To assess Allokin-alpha's effects on experimental animals and rule out concurrent diseases, clinical examinations and hematological blood tests were performed at the beginning and end of the experiment. Blood samples were collected before drug administration and after treatment completion for dynamic evaluation. Hematological testing was conducted at the SPbSUVM laboratory, analyzing leukocyte, erythrocyte, and platelet counts, hemoglobin levels, leukogram profiles and derived leukocyte indices in control and experimental groups. The application of Allokin-alpha normalized leukocyte counts in calves with bronchopneumonia mitigated inflammatory responses.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Витковский М.И. Особенности клинико -морфологического проявления бронхопневмонии у телят / М.И. Витковский, Е.Г. Турицына // Вестник КрасГАУ. – 2018. – №6 (141). – С. 80-83.

2.Глотов А.Г. Влияние колострального иммунитета на эффективноть вакцинации телят против вирусных инфекций (обзор литературы) / А.Г. Глотов, Т.И. Глотова / Ветеринария. – 2019. – №6. – С. 3-11.

3.Глотов, А.Г. Этиология бронхопневмоний крупного рогатого скота на молочных комплексах / А.Г. Глотов, Т.И. Глотова, О.В. Семенова, К.В. Войтова // Ветеринария. – 2014. – №4. – С. 7-11.

4.Гумберидзе М.М. Эффективность препарата «Аллокин-альфа» при Алеутской болезни норок: диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». Санкт-Петербург, – 2023. – 145 с.

5.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.

6.Иванова С.Ф. Применение иммуностимулятора «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.

7.Киячнук М.В. Анализ микробиоты носоглоточной слизи, ассоциированной с бронхопневмонией крупного рогатого скота в животноводческих комплексах / М.В. Киянчук, А.А. Сухинин // Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 1. – С. 58-67.

8.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.

9.Кузьмин В.А. Производственные испы-

тания 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.
10.Кукес В.Г. Клиническая фармакология иммунотропных препаратов // В.Г. Кукес, Д.А. Сычев / Москва : ГЭОТАР-Медиа. – 2020. – 432 с.
11.Макавчик С.А. Эффективность Азициклина при респираторных инфекциях телят бактериальной этиологии // С. А. Макавчик, А. А. Сухинин, С. В. Енгашев, Е. С. Енгашева / Ветеринария. – 2020. – № 5. – С. 24-27.
12.Прилепская В.Н. Клинические рекомендации по лечению папилломавирусной инфекции // Москва: Медпресс-информ. – 2022. – 48 с.
13.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.
14.Сисягина Е.П. Разработка средств и способов терапии и профилактики респираторных болезней телят : диссертация ... доктора ветеринарных наук : 06.02.02 // Нижегор. гос. с.-х. акад. Нижний Новгород. – 2010. – 317 с.
15.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.
16.Хаитов Р.М. Иммунофармакология: руководство для врачей // Москва: Медицина. – 2021. – 512 с.
17.Шабынин С.А. Показатели крови при заболевании телят бронхопневмонией / С.А. Шабынин, О.Н. Марьина // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». Электронный ресурс [Студенческий форум]. – Режим доступа: https://scienceforum.ru/2018/article/2018007020 (Дата обращения: 10.07.2025).

REFERENCES

1.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.)
2.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.)
3.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.)
4.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.)
5.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.)
6.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.)
7.Kiyanchuk, M.V. Analysis of nasopharyngeal microbiota associated with bovine bronchopneumonia in livestock complexes / M.V. Kiyanchuk, A.A. Sukhinin // International Veterinary Bulletin. – 2025. – №. 1. – P. 58-67. (In Russ.)
8.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.)
9.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.)
10.Kukes V.G. Clinical pharmacology of immunotropic drugs // V.G. Kukes, D.A. Sychev / Moscow: GEOTAR-Media, 2020. – 432 p. (In Russ.)
11.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.)
12.Prilepskaya V.N. Clinical guidelines for the treatment of papillomavirus infection // Moscow: Medpress-inform, 2022. – 48 p. (In Russ.)
13.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.)
14.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.)
15.Sukhinin A.A. Etiological structure of respiratory diseases in cattle in the North-western region // A.A. Sukhinin, S.A. Makavchik, S.V. Gerasimov, O.V. Prasolova / Veterinary. – 2015. – №12. – P. 21–23. (In Russ.)
16.Khaitov R.M. Immunopharmacology: a guide for physicians // Moscow: Medicine. – 2021. – 512 p. (In Russ.
17.Shabynin, S.A. Blood parameters in calves with bronchopneumonia / S.A. Shabynin, O.N. Maryina // Proceedings of the X International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum" [Electronic resource]. – Available at: https://scienceforum.ru/2018/article/2018007020 (Accessed: 10 July 2025).

УДК: 619:636.1
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.23

САП ЛОШАДЕЙ В ЕВРОПЕЙСКИХ ПЕЧАТНЫХ ИСТОЧНИКАХ XVII-ГО ВЕКА

Виноходова М.В.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. организации, экономики и управления ветеринарным делом (ORCID 0000-0002-7120-8955); **Ярощук А.И.** – канд. ветеринар. наук, асс. каф. организации, экономики и управления ветеринарным делом (ORCID 0000-0003-1811-6186); **Бараев Р.Х.** – асп., асс. каф. организации, экономики и управления ветеринарным делом (ORCID 0009-0007-3282-4193)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*hscmvmv@mail.ru

Ключевые слова: сап, лошади, история ветеринарии, заразные болезни лошадей

Key words: glanders, horses, history of veterinary medicine, infectious diseases of horses

Поступила: 27.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Сап – инфекционная болезнь лошадей и других однокопытных животных из семейств лошадиных, могут болеть также некоторые другие животные. Сап может проявляться в носовой, легочной и кожной формах. Течение болезни может быть острым и хроническим. Целью исследования стало выявить представления о возникновении и лечении сапа в XVII веке, согласно информации из печатных источников того времени на английском и испанском языках. Материалами для исследования стали печатные источники XVII века на английском и испанском языках, в которых содержатся сведения о диагностике, этиологии, патогенезе и способах борьбы с сапом лошадей. В процессе исследования нами было установлено, что во всех изученных источниках упоминается сап, чаще всего ему посвящены отдельные главы. Большинство авторов ссылаются в главах о сапе на знания, полученные из античности, и описывают сап, как «очень плохую болезнь», «болезнь, маловероятно излечимую» (*malleus* от греческого *malis* - плохой, злой). Сапом называли, в основном, носовую форму течения болезни, легочная и кожные формы в некоторых источниках описаны под видом других болезней с неопределенным названием глав. Очевидно, что сап часто путали с мытом и африканским сапом. Основной причиной появления сапа считали либо «нехорошую» воду, либо контакт с больными животными. Причинами развития сапа считали «гуморы». Среди основных описанных способов лечения в печатных источниках XVII века описаны кровопускание, применение средств местного действия, средства – «панацеи».

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Сап (*malleus*) – одна из первых известных человеку болезней в основном однокопытных, впервые была описана в источниках во времена Аристотеля (384-322 г. до н.э.) [4,7,15,16]. С развитием микробиологии и эпизоотологии, она стала известна, как зооантропонозная инфекционная болезнь лошадей, ослов, мулов и других однокопытных семейства лошадиных, а также семейств верблюжьих, кошачьих и некоторых других животных [4].

За последние сто лет, распространение сапа ограничилось областями Южной Америки, Африки, Средней Азии, а также некоторыми другими. В остальном, вспышки сапа имеют спорадический и энзоотический характер. Эпидемии сапа не регистрируются. В настоящее время, согласно официальной статистике Россельхознадзора, наша страна имеет стационарное благополучие по сапу [5,17-21].

Возбудителем болезни является бактерия *Burkholderia mallei* семейства *Burkholderiaceae*. Источником являются больные животные. Заражение происходит в основном алиментарным путем через зараженные выделениями больных животных корм и воду, предметы ухода, а также напрямую контактным путем, реже – воздушно-капельным. Распространение сапа в табунах происходит сравнительно медленно, иммунитет нестерилен. Человек также заражается в основном от однокопытных [4].

Течение болезни у однокопытных чаще хроническое, к острой форме расположены ослы, мулы и человек. Клиническая картина болезни выражена тремя основными формами - носовой, кожной и легочной. Разнообразие проявления сапа в основном в двух клинически различимых формах – носовой и кожной, позволяло врачам древности регистрировать эти две формы сапа как две разные болезни, поэтому в большинстве европейских языков и, в том числе, в русском, сап имеет два названия [4,7,15,16,22-24]. На Руси кожную форму называли «лихой» (то есть «плохой», что совпадает с этимологией «malleus» от греческого «malis» - плохой, злой), носовую форму называли «носатик» [23].

В европейских странах и в России лошадь и другие однокопытные были основной рабочей силой и транспортом, а также широко использовались в армии вплоть до 1950х годов. Поэтому распространение сапа вплоть до первой половины двадцатого века объясняется и большим количеством животных, и близким контактом их с человеком, и отсутствием точных методов диагностики, особенно при хроническом течении сапа, когда признаки болезни не выражены, а периоды обострения чередуются с ремиссией [7,15,16,25]. По причине неясного проявления и длительных периодов внешнего благополучия у животных, мнения специалистов о заразности сапа до конца XIX века сильно разнились [25]. Также появлялась убежденность о случаях «полного выздоровления» лошади [7-11]. Многие специалисты обращали внимание на повышенную частоту проявления болезни при попадании животных в плохие условия содержания и это поддерживало теорию о незаразной природе сапа и его связи с простудными заболеваниями. Вместе с тем, характерное проявление, возможность его распространения среди лошадей, находящихся в одной конюшне, на которое тоже обратили внимание в древности, указывали на то, что болезнь заразна [8,9,11].

Несмотря на разности во мнении о заразности болезни, особое значение приобретал сап во время военных действий. Военачальники древности практиковали приемы перегона и подбрасывания больных сапом лошадей в лагерь противника или на его пути с целью вывести его лошадей из строя (заражение людей как основная цель этих действий в источниках не рассматривается) [25]. Заражение животных и выведение их из строя временно или на постоянной основе приводило к серьезным затруднениям при ведении маневров, так как достать лошадей определенного качества и обученных, например, не бояться работы огнестрельных

орудий, иногда было затруднительно.

После публикации первых источников в области ветеринарии, можно сказать, что изучение сапа и борьба с ним в XVII-XVIII веке состояли в основе развития ветеринарии того периода, а проблема его распространения – одна из первых, которыми пришлось заниматься профессорам и студентам первых ветеринарных школ Европы [25].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS: Материалами для исследования стали печатные источники XVII века на английском и испанском языках, в которых содержатся сведения о диагностике, этиологии, патогенезе и способах борьбы с сапом лошадей.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS:

В каждом из изученных нами печатных источников о болезнях лошадей XVII века был описан сап, часто ему посвящены отдельные главы. Однако, выявлено, что практикующие ветеринарные специалисты того времени могли недостаточно точно дифференцировать сап от мыта, эпизоотического лимфангита, африканского сапа, ринита, язв различной этиологии и, возможно, некоторых других болезней [7-11].

Труды французского всадника и ветеринарного специалиста-самоучки Жака Лабесси де Соллейселя (1617-1680) содержат довольно точное описание кожной и носовой форм сапа. Он считал их разными заболеваниями, а также делал явное предположение об их заразности [7]. Прочие специалисты смешивали разные формы сапа в некоторые объединенные понятия или же наоборот разные формы сапа считали разными болезнями [15,16]. Так, Бальтазар Франсиско Рамирес, практиковавший в середине XVII века в Чинчоне (современный город и муниципалитет в Испании, комарка (район) Лас-Вегас) в своем издании 1655 года выделяет описанию и лечению сапа отдельную главу, где утверждает, что «сап – это опасная болезнь, многие эту болезнь описывают тремя или четырьмя разными названиями», рис.1 [11]. Английский ученый-энциклопедист Герваз Маркхэм писал [7-9], что существует два мнения о сапе: одно от «итальянцев», а другое от «старинных кузнецов». Итальянцы считали, что сап диагностируется по опуханию желез в задней части горла, поэтому называли его «glandule» (оно трансформируется в английское название сапа «glanders», в некоторых источниках - «glaunders») [7-9]. Другие специалисты считали, что сап — это опухание челюстной кости. Однако Маркхэм в своей книге явно дифференцирует сап («glanders») от мыта («strangles») [7-9].

Причинами возникновения сапа во всех изученных испаноязычных и части англоязычных источников (в том числе несколько источников XVI века) авторы называют гуморы (или «хуморы», от лат. humor - жидкость, содержащаяся в чем-то), в соответствии с гуморальной теорией, господствовавшей в Европе с конца античности и вплоть до эпохи просвещения [7,10,15,16]. Все авторы, которые по нашим предположениям, являлись практиками, в своих изданиях утверждают, что при сапе отмечается «огромное количество гуморов, которые попадают в голову животных» [8-11]. В качестве причин появления гуморов и течения патологических процессов ими обусловленных разные авторы упоминают пыль (имеются ввиду частицы возбудителя, части заражающей материи - хумора – прим.авторов) в еде, от которой она становится ядовитой, а также воздух и холод [8-10].

Однако теория Дж. Фракасторо уже была достаточно известна, чтобы дать некоторое понимание о заразности болезни: «Влажная или сырая болезнь правильно называется сапом, который часто исходит из печени и легких, когда они заражены гниением и гнилью; или когда они порождают воспаленные опухоли, узлы или зерна под покровами; все это происходит от простуды, полученной из-за неумеренной езды и работы, а также из-за отсутствия ухода впоследствии, что порождает злые соки в организме, которые, когда они начинают выходить из лошади

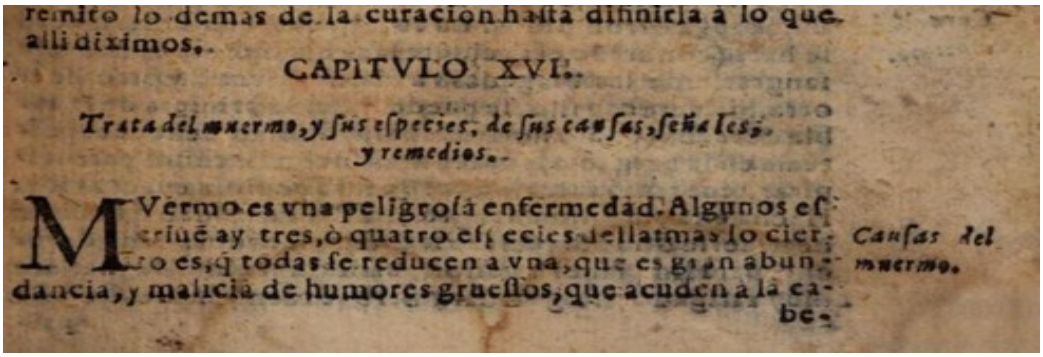
из-за ее бега и с истечениями из носа, другие лошади будут иметь доступ к лизанию его, и таким образом они заражаются.» [7,10].

В Испании также причинами возникновения сапа считали хуморы: «Этот яд провоцирует возникновение хумора в голове, и его так много, что он конденсируется и выходит через нос и рот, он мешает дыханию, мешает аппетиту, уменьшает желание животных двигаться и они впадают в меланхоличное состояние» [11].

С другой стороны, существовала теория конституциональной предрасположенности к болезни. Согласно де ля Грею [10], к сапу были предрасположены лошади определенных мастей, относимых им к «сангвиническим», у которых «много воздуха», отличавшимися также «легким, приветливым нравом».

Г. Маркхэм писал [8,9]: «Сап - это скопление влажных и гнилостных жидкостей, которые текут через нос; или, можно сказать, это истечение жидкости, которое иногда выходит через одну, иногда через обе ноздри; причиной этого является широта прохода, так что холод, щедро проникая в мозг, связывает и сдавливает его таким образом, что заставляет находящиеся там жидкости выделяться; которые, спустившись в духовные части и овладев ими, в конце концов душат лошадь либо своим избытком, либо убивают ее, разрушая главные части; или, застывая там понемногу, подавляют естественное тепло».

Г. Маркхэм определял сап как патологический процесс с четырьмя стадиями. Первая стадия проявлялась в результате простуды, которая вызывала выход плохих жидкостей из мозга и выделение их из носа (решетчатая кость считалась проницаемой, поэтому определенная роль в синтезе гуморов приписывалась и гипофизу). Во второй стадии клиника усиливалась, процесс распространялся на заднюю часть горла и вызывал выделение белого вещества из носа. Третья стадия также объяснялась процессом в мозге, который продолжался на горло, но вызывал коричневые выделения из носа и лихорадку. Последнюю стадию Маркхэм назвал «mournynge on the chyne» (от французского «mort d'eschine» «смерть позвоночника» [7-9]. Это выражение встречается только во французской пословице, цитируемой Фицгербертом (1523), исходит также из предположения, что сап произошел от поражения позвоночника. Также с французского morve - насморк, сап) [15,16]. Он утверждал, что эта последняя стадия развивается, потому что за животными не ухаживали должным образом. Г. Маркхэм также описывает, что красные жидкости выделялись из носа и что «эта болезнь является грязным выделением печени» [8-9].



remito lo demas de la curacion hasta dinnicia à lo que alli diximos.

CAPITVLO XVI.

Trata del muermo, y sus especies, de sus causas, señales, y remedios.

MVermo es vna peligrosa enfermedad. Algunos escriuẽ ay tres, ò quatro especies dellas mas lo cierto es, q todas se reducen a vna, que es gran abundancia, y malicia de humores gruessos, que acuden à la cabe-

Causas del muermo.

Рисунок 1 – Заголовок главы 16 книги Б.Ф. Рамиреса – «Trata del muermo, y sus especies, de sus causas, señales, y remedios» (О сапе, его видах, причинах, признаках и лечении). Первая строка – «Muermo es una peligrosa enfermedad» (Сап – опасная болезнь) [11].

Среди других клинических признаков сапа отмечают «сильнейший храп, опухание глаз», «животное хочет кашлять, но не может», «дыхание лошади воняет или из ее ноздрей выходит гной, это признак язвы в носу или голове; но если гной белый, то это признак сапа» [10,11], «из его ноздрей выделяется что-либо густое, вонючее или гнилостное – это сап» [7-10], а также один раз упоминается разрушение носовой перегородки [11]. При этом отмечаются признаки, являющиеся «наихудшими сигналами», которые означают близкую смерть животного: «опухание конечностей, мошонки, животное задыхается, распухает область горла и нижней челюсти» [11]. Эти изменения в печатных источниках XVII века объясняются задержкой гуморов, которая вызывает внешне заметные отеки тканей. Гумор вне головы подвержен «разложению» и, как следствие, гумор «истекает из мест, где он разлагается» [8-11].

Г. Маркхэм предлагал следующую дифференциальную диагностику кожной формы сапа [8-9]: «Если лошадь покрыта струпьями и язвами по всему телу и вокруг шеи, это признак чесотки; если это язва, полная узлов, расползающаяся по вене, это кожный сап («farcy»), если распространяется только в одном месте, это рак; если язва полая и кривая, это свищ; но, если это рыхлая бородавка, полная крови, это фурункул».

Г. Маркхэм считал, что сап первой степени легко вылечить – достаточно улучшить условия содержания, обеспечить теплую воду и корм, утеплить конюшню, а также прочистить лошади носовую полость испарениями пахучих веществ и чиханием, также в качестве добавки в корм он рекомендовал использовать семена фенхеля [7-9]. Также он приводит примеры лечения лошадей при сапе: отваром из белого вина, сажи, молока и чеснока, отваром из мочи, морской соли, коричневого леденцового сахара, порошка из лилии и анисовых семян.

Практикующие альбеитары Испании рекомендовали использовать кровопускание для лечения сапа. Бальтазар Франциско Рамирес уверяет читателей, что «кровопускание необходимо делать изо дня в день – из внутренней стороны бедра. Первое кровопускание из правого бедра, чтобы жидкость оттекала от горла, чтобы лошади было легче дышать, следующее кровопускание нужно делать из левого бедра, чтобы дать хумору оттечь от печени» [11]. Авторы не указывают на взаимосвязь ухудшения состояния животного при кровопотерях, наоборот, рекомендуют сделать дополнительное кровопускание: «если животное становится слишком вялым, то пора преступать к кровопусканию из груди лошади – с обеих сторон, чтобы отвести хумор из других частей тела». В связи с этим можно предположить, что временная «бодрость» животных при кровопускании, вероятно, воспринималась как польза и результат этого метода лечения [11].

Среди авторов испаноязычных источников есть несколько мнений относительно кровопусканий из разных частей тела лошади, и в отношении «лечения» сапа отмечается, что «кровопускание из виска добьёт животное из-за раздражения самой головы» [9,10,26,27]. Также в испаноязычной литературе упоминается, что есть практикующие альбеитары, которые считают кровопускание из виска при сапе хорошим способом лечения, а Томас де ля Грей [10] рекомендовал делать кровопускание из вен нёба и утверждал, что проглатывание собственной крови оказывает положительный эффект на лечение. Также рекомендовано делать кровопускания из вен шеи при кожной форме сапа, кровопускание с двух сторон шеи также упоминается в источнике XV века [11,24]. Есть также заметки относительно того, что количество испускаемой крови определяет сам альбеитар, учитывая «возраст животного, силу болезни, время болезни» [9,10,26,27].

Ввиду отсутствия понимания в XVII веке этиологии и патогенеза сапа (и многих других болезней) все практикующие специалисты искали способ лечения или поддержания лошадей в особом кормлении, в добавках к пище. Так, например,

рекомендовалось скармливать листья рогоза, но только после выпаивания «2 унций воды с сахаром», а Б.Ф. Рамирес в 1655 году делает громкое заявление – «используйте сироп из воды и сахара! В том числе при любых грудных болезнях – этого средства пока не знает ни одна аптека мира!» [11]. Другие рецепты включали в себя различные смеси коровьего масла, «куриных желтков» (очевидно яичных желтков, прим.авторов), порошка солодки (корень солодки и по сей день применяют при болезнях дыхательной системы, прим.авторов), меда, трагаканта (вероятно речь идет о смолистых выделениях из растений рода *Astragalus*, прим.авторов), пажитника, мха, девясила, сока ферулы, тмина и шафрана, миндального масла [8-10]. Был рекомендован и сложный порошок, именуемый Диапент, состоящий из круглолистного родырника, горечавки, мирры и некоторых других составляющих [10]. Также практиковали процедуры клизм с маслом [11], применение Триака [11]. Де ля Грей, комментируя обилие рецептов, угодных при сапе, у себя в книге, говорит об уникальности каждого случая, «что не помогло одному, помогает у другого» и необходимости искать нужный рецепт [10].

Из основных кормов для кормления лошадей с признаками сапа упоминаются солома, ячмень, листья редиса, моркови, арбузов и винограда, хотя некоторые авторы полагали, что «зеленых кормов нужно давать меньше, ведь они увеличивают количество хумора». Рекомендована «умеренная диета» и легкая работа [8-10].

Необходимо отметить, что авторы приводят прямую зависимость от влаги, поступающей в организм, и «силы» болезни. Таким образом, а также учитывая то, что припухлости также связывались со скоплением хумора, можно ещё раз подтвердить предположение, что хуморы представлялись в виде некоторой жидкости, обладающей определенным негативным действием на животных. Отдельно отмечается, что насильственное вливание сиропов или кормление считалось недопустимым, т.к. «тоже раздражает область головы и приводит к самому худшему. Лучше вообще ничего не делать, чем раздражать голову с хуморами» [11].

В испаноязычной литературе XVII века также приводится информация, что при сапе следует «омывать рот» растворами, в состав которых предлагали включать уксус, оливковую воду, сироп ежевики, орегано, порошок граната («из кожуры неспелых плодов») и меда [26,27]. Омывать ротовую полость больного животного предлагалось до 5 раз в день, а носовую полость рекомендовали омывать слабым раствором уксуса [26,27].

Отдельно отметим, что при лечении сапа применялись и наружные мази для «горла и щек», в состав которых включались различные травы, масла из ягод и растений [11]. Одно из самых подробных описаний встречается у Б.Ф.Рамиреса, который утверждает в своем труде, что такие мази приводят к «уменьшению хумора в области головы», даже приводится его собственный опыт – «у меня было много таких случаев» [11]. Для освобождения носовой полости от хуморов (отделяемого содержимого) рекомендовалось «неглубоко и малых дозах наносить порошок табака или молочая», т.к. это действие побуждало животное к чиханию и таким образом избавлению от содержимого носовой полости, при изучении этого вопроса мы вынуждены признать изобретательность альбеитаров в использовании такого метода освобождения носовой полости. Авторы англоязычных источников рекомендовали помещать рядом с ноздрями гусиные перья, смоченные в масляном растворе серы с той же целью [8-10,28]. Были предприняты попытки лечения дымом, вдыхаемым больными животными, но этот метод был признан альбеитарами сомнительным [11,12]. Дополнительно при лечении сапа практики в своих изданиях советовали подвязывать голову, уточняется, что «положение головы вниз - вредно» [10,26-28].

В случае тяжелых случаев сапа, когда «сап настолько злобен, что поражает заднюю часть тела – конечности и яички», предлагалось омывать эти области водой

с укусом и розовыми лепестками, смешанными с коровьим маслом. Также рекомендовалось содержать животное в тепле [11,12,14,26,27].

Таким образом, по полученным нами данным, альбеитары XVII века, говоря о сапе в основном имели ввиду носовую форму течения сапа с характерными выделениями и кашлем. Кожная форма косвенно упоминается ими при формулировке «отекают конечности и яички», но не отмечено никакой информации о язвах на коже. Тем не менее, в изученных печатных источниках на испанском языке мы отметили отдельные главы о язвах на коже, что дает возможность предположить, что кожную форму сапа могли считать другим заболеванием, часто даже не давая ему названия. Однако утверждать это невозможно ввиду отсутствия точных описаний или зарисовок [11,12,14,26,27].

Описаны узелки и язвы на коже лошадей, вызывающие «меланхоличное состояние животного», которые «несомненно заразны и тяжело излечимы». Эти узелки и язвы описаны как очень плотные, обычно локализующиеся в основном «в горле, между челюстями и в других местах: на спине, вымени, конечностях, подгрудке» [26,27]. По такому описанию невозможно предположить диагноз наверняка, однако вероятно, что альбеитары имели дело с мытом, сапом (кожной формой) или с эпизоотическим лимфангитом (что вполне возможно, т.к. африканский сап предположительно был завезен в страны Африки колонизаторами из Франции и Италии уже в XIV веке, французские колонии как раз располагались на севере Африки, который находится относительно близко к Испании) [30,33].

Так, отдельно упоминается болезнь, при которой возникают «los lamparones» (прямого перевода нет, имелись в виду некие кожные высыпания, которые возникают только у непарнокопытных), причиной которых «как говорил Гален» считали «флегматичные хуморы». «Лампароны» описывались во многих частях тела, но «самые опасные – в горле», при этом указывается, что эта болезнь очень тяжело лечится, предлагалось применять кровопускание, клизмы, а также срезание «лампаронов», после которого раны диктовали обрабатывать мазями. Для более быстрого разрыва «лампарона» применяли «стимулирующие мази» из алтея, лилий, мальвы. Когда «лампарон вскрывался» рекомендовалось прижечь это место («так как советовал Гален») [11].

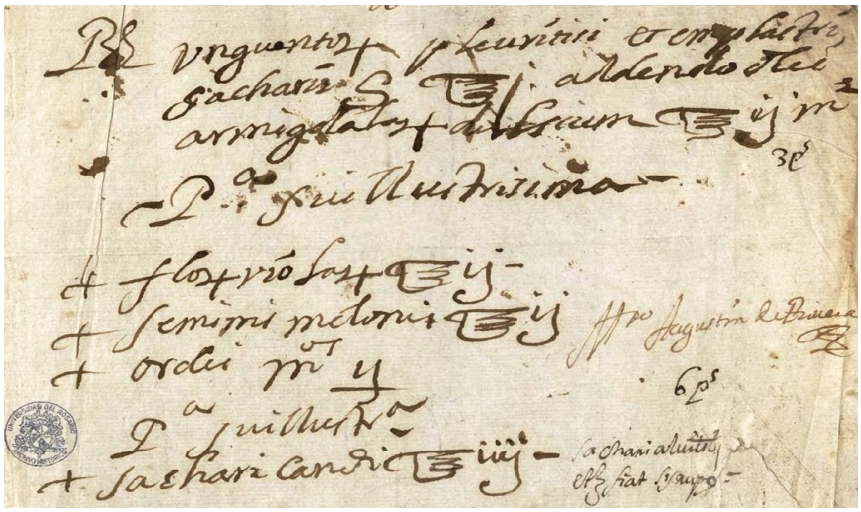


Рисунок 2 – Рецепт пластыря Закария (предположительно на латинском языке, XVII век), архив Университета Росарио, Колумбия, Богота [34].

Для лечения этих узелков и язв также применяли кровопускание, а на сами поражения кожи накладывали припарки или пластыри из листьев шафрана, овечьей кожи, льна или хлопка, «согласно наставлениям Закария» (здесь, вероятно, идет речь о рецепте пластырей Закария) [34], рис.2.

Для припарок также использовали ингредиенты растительного (мальва, лилии, финики, инжиры, лен, пажитник) и животного (свиная брюшина, куриный жир) происхождения [8-10].

Также для лечения «буйных язв» на коже использовали прижигание («botones de fuego» - дословно «огненные кнопки», вероятно в смысле «точечное прижигание») и «тогда они не будут передаваться (вероятно заражать других животных, прим. авторов), а они несомненно передаются». Таким образом, ветеринарные специалисты Европы XVII века знали о контагиозных свойствах этой болезни [8-10].

В отдельных главах, описаны симптомы заболевания, напоминающие легочную форму сапа лошадей, однако нет точных данных - относятся ли описанные симптомы именно к сапу или же у них другая этиология (в том числе незаразная) [8-10].

У испаноязычных авторов встречаются указания на предпочтительное время лечения, связанное с астрологическими причинами, например, не применять лечение за 4 дня перед или после полнолуния, или солнечного затмения [29,31].

Изученные нами печатные источники XVII века на английском языке содержат довольно подробное описание кожной и носовой форм сапа, предположения о его заразности, но демонстрируют изобилие рецептов для его лечения, практически прямо говоря о том, что однозначной тактики не существует [8-10]. Также они явно дифференцируют сап от других болезней, и в отношении этой дифференциации и лечения сапа, ссылаются на «зарубежных ковалей» [8-10].

В ходе исследования нами было замечено, что несмотря на то, что ветеринарные специалисты знали о заразной природе сапа, они часто применяли при лечении кровопускание, освобождение носовой полости от слизи путем чихания, а также выпойку растворов, удаление и обмазывание припухлостей и «бугорков» на коже. Таким образом, это должно было создавать все условия для передачи возбудителя болезни другим восприимчивым животным, порождая все новые и новые случаи сапа (и других инфекционных болезней лошадей), в том числе и у работающего с животными персонала [8-11,35].

ВЫВОДЫ/CONCLUSION:

Сап – одна из инфекционных болезней, опасных для животных и человека, известная человеку с древнейших времен [15,16,24,25]. Благодаря неизменным характерным признакам и специфическому поведению больных животных люди довольно рано научились отличать его, также это одна первых инфекционных болезней известная человеку. В настоящее время, ветеринарные специалисты располагают сравнительно точными лабораторными методами прижизненной и посмертной диагностики сапа и аллергическим методом, известным с XIX века [25,36,37]. Клиническая прижизненная диагностика сапа может быть затруднительна из-за разнообразия дифференциальных диагнозов, хронического течения, редкой встречаемости и отсутствия опыта диагностики сапа у ветеринарных специалистов в современной России. В соответствии с современными нормативными документами, лечение сапа запрещено, больные животные подлежат уничтожению [2,3,36,37].

С точки зрения истории ветеринарной медицины, распространение сапа среди лошадей в XVII-XIX веках оказалось одним из значительных факторов, способствовавших появлению ветеринарного образования и развитию ветеринарной науки [38]. Анализируя источники XVII века, в которых рассматриваются вопросы диагностики, лечения и борьбы с сапом лошадей, мы можем отметить следующее:

Во всех рассмотренных исторических источниках есть главы, посвященные сапу, что говорит о широком его распро-

странении в различных климатических зонах Европы в XVII веке. Однако, если на севере Европы (на территории Англии), ковали и кузнецы, а также ученые, занимавшиеся вопросами ветеринарии, более четко дифференцировали сап от других болезней, на него похожих (например, от мыта), по клиническим признакам, отличали две основные формы, считая их разными болезнями, то на территории Испании, возможно, из-за наличия других инфекций, нельзя говорить о точной клинической диагностике даже в острую фазу болезни или на основании вскрытий.

Причиной возникновения сапа считалось, с одной стороны – заражение путем контакта с больными животными, в английских источниках даже уточняется, что это происходит через истечения. С другой стороны, сап проявлялся клинически и в связи с неправильным содержанием и использованием животных, часто напоминая простуду. Это порождает двойственный подход к его лечению. С одной стороны, болезнь заразна и большинство авторов согласны с этим, с другой стороны, владельцы желали вернуть лошадь в строй (особенно ценных лошадей или в условиях боевых маневров). Но все подходы к патогенезу болезни, дающие пути лечения, в то время объясняются гуморальной теорией, на которой ветеринарным специалистам и приходится сосредоточиться, игнорируя теорию контагия Дж. Фракасторо, которая в XVII веке уже была известна.

Основная теория развития сапа – это гуморальная теория. Холодный воздух раздражает ткани и вызывает появление гниения и гуморов в носовой полости, откуда они распространяются по телу. Основные органы, страдающие при сапе – это мозг и печень. На основании проявления клинических признаков ветеринарные специалисты делали заключение о возникновении застоя вредных гуморов в теле и о гнилостных процессах и принимали соответствующие решения о проведении кровопусканий и иных мер. Крайняя стадия развития сапа у лошадей в англоязычных источниках, так называемая «mournynge on the chyne», со своими клиническими признаками являет собой крайнюю степень поражения спинного мозга и печени.

В отличие от относительных успехов в клинической диагностике сапа, в области его лечения единого подхода в источниках XVII века мы не наблюдаем. Для лечения носовой формы сапа на ранних стадиях применяют очистку носовой полости путем использования легкой работы, раздражающих мазей и средств, отхаркивающие средства, прижигание язв на коже, кровопускание, улучшение условий содержания и диету в той или иной форме. На более поздних стадиях применяли очистительные средства, в том числе процедуры клизмы, «сильнодействующие» смеси, типа Триака, известные со времен средневековья и др. Ряд авторов упоминает коварство болезни, особенно на поздних стадиях, когда уверенность и опыт даже самых умелых специалистов не могут спасти животное от смерти.

GLANDERS HORSES IN EUROPEAN PRINTED SOURCES OF THE 17TH CENTURY

Vinokhodova M. V.* – PhD of Veterinary Sciences, Assistant Professor, Department of Organization, Economics and Management of Veterinary Affairs; **Yaroshchuk A.I.** – PhD of Veterinary Sciences, Department of Organization, Economics and Management of Veterinary Affairs; Baraev R.H. – Department of Organization, Economics and Management of Veterinary Affairs

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*hscmvmv@mail.ru

ABSTRACT

Glanders is an infectious disease of horses and other single-hoofed animals from the equine family; some other animals may also be affected. Glanders may manifest itself in nasal, pulmonary and cutaneous forms. The course of the disease may be acute or chron-

ic. The aim of the study was to identify ideas about the occurrence and treatment of glanders in the 17th century, according to information from printed sources of that time in English and Spanish. The materials for the study were printed sources of the 17th century in English and Spanish, which contain information about the diagnosis, etiology, pathogenesis and methods of combating glanders in horses. During the study, we found that all the sources studied mentioned glanders, most often dedicated to it in separate chapters. Most authors refer to knowledge obtained from antiquity in chapters on glanders, and describe glanders as a "very bad disease", "a disease that is unlikely to be cured" (malleus from the Greek malis - bad, evil). Glanders was mainly the nasal form of the disease, the pulmonary and cutaneous forms are described in some sources under the guise of other diseases with an indefinite chapter title. Obviously, glanders were often confused with myt and African glanders. The main cause of glanders was considered to be either "bad" water or contact with sick animals. "Humors" were considered to be the causes of glanders. Among the main methods of treatment described in printed sources of the 17th century, bloodletting, the use of local remedies, and "panacea" remedies were described.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Виноходова, М. В. Развитие представлений о природе сапа у лошадей / М. В. Вин6.оходова // Лошади в мировой истории и культуре: Тезисы докладов и сообщений Всероссийской научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 14–16 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: СПбИИ РАН, 2024. – С. 80-82

2. Приказ Министерства сельского хозяйства №311 от 28 июня 2017 года «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов сапа». [Электронный ресурс] URL: https://docs.cntd.ru/document/456078970 (дата обращения 01.06.2025 года)

3. Приказ Министерства сельского хозяйства №118 от 04 марта 2025 года «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов сапа». [Электронный ресурс] URL: https://docs.cntd.ru/document/456078970 (дата обращения 01.06.2025 года)

4. Калугин, В. И. Борьба с эпизоотиями в СССР и некоторых зарубежных странах (1500-1965, гг.) : специальность 16.80.30 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / В. И. Калугин. – Омск, 1971. – 60 с.

5. Мониторинг эпизоотической ситуации при некоторых природно-очаговых зоонозах / В. А. Кузьмин, Д. А. Орехов, А. Б. Айдиев, А. В. Цыганов // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 44-50. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.2.44.

6. Мурадова, С. А. Особенности проявления сапа у лошадей / С. А. Мурадова // Современные достижения и проблемы кормления животных : сборник научных статей по материалам конференции приуроченной к 85-летию Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора кафедры кормления животных и общей биологии Злыднева Н.З., Ставрополь, 16 апреля 2024 года. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2024. – С. 138-141.

7. Scott-Macnab, David. (2014). Unrecorded Middle English Lexical Items in the Fifteenth-Century Treatise, Medicines for Horses: A Preliminary Study. Notes and Queries. 259. 344-349. 10.1093/notesj/gju103.

8. Markham, G. Markham's Methode, or Epitome: wherein is shewed his approoved Remedies for all diseases whatsoever incident to Horses, Oxen, Kine, Buls, etc. MS. notes. Великобритания, T. S., 1616. 80 p

9.Markham, G. Markham's Master-piece

Revived, Великобритания: John Wright and Thomas Passinger, 1681. – 391 p.
10. DE GREY, T. (1639). The Compleat Horseman and Expert Ferrier. In Two Bookes. The First, Shewing the Best Manner of Breeding Good Horses, with Their Choyce, Nature, Riding and Dyeting ... The Second, Directing the Most Exact and Approved Manner how to Know and Cure All Maladies and Diseases in Horses, Etc. Великобритания: Thomas Harper; sold by Nicholas Vavasor.
11. Ramírez B.F. Discurso de albeyteria, Испания, Domingo Palacio y Villegas (Madrid), 1655. – 306 p.
12. Arredondo, M. Flores de Albeyteria: tratado segundo. Испания, Madrid, 1661. – 132 p.
13. Arredondo, M. Obras de albeytería: primera, segunda y tercera parte . Испания, Caparoca, Pasqual Bueno, 1704. – 423 p.
14. Arredondo, M. Recopilacion de albeyteria: Sacada de varios autores. Испания. por Ioseph Fernandez de Buendia. A costa de Iuan de Valdes, Mercader de libros. Vendese en su casa enfrente del Colegio de Atocha, Испания, 1658. – 448 p.
15. Wilkinson L. Veterinary Cross-Currents in the History of Ideas on Infectious Disease1. Journal of the Royal Society of Medicine. 1980;73(11):818-827. doi:10.1177/014107688007301112
16. Michael H MacKay. The Rise of a Medical Specialty: The Medicalisation of Elite Equine Care c.1680 - c.1800. PhD thesis University of York History, August 2009. 436 p.
17. Эпизоотическая ситуация по сапу в России и в мире в 2024 году. [Электронный русурс]. URL: https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/ (дата обращения 01.06.2025 г.)
18. Narayan, Krishna Gopal, et al. Handbook of Management of Zoonoses. Германия, Springer Nature Singapore, 2024. Tarantola A. Four Thousand Years of Concepts Relating to Rabies in Animals and Humans, Its Prevention and Its Cure. Tropical Medicine and Infectious Disease. 2017; 2(2):5. https://doi.org/10.3390/tropicalmed2020005
19. Raj A, Pathak A, Karuppusamy S, Tripathi BN, Tripathi H and Singha H (2024) Knowledge, awareness and perception about equine glanders among veterinarians and medical professionals in India. Front. Vet. Sci. 11:1334485. doi: 10.3389/fvets.2024.1334485
20. Шухов, Ф. Г. Некоторые правовые аспекты охраны труда при работе с животными / Ф. Г. Шухов // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 3. – С. 25-28. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.3.25.
21. Van der Kolk, J.H., and Veldhuis Kroeze, EJB. Infectious Diseases of the Horse: Diagnosis, Pathology, Management, and Public Health. Великобритания, CRC Press, 2013. 336 p.
22. Орехов, Д. А. Систематизация обязательных требований при осуществлении контрольно-надзорных полномочий в области ветеринарии / Д. А. Орехов // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 23–24 ноября 2017 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, 2017. – С. 159-161.
23. Виноходова, М.В. краткая характеристика развития ветеринарного законодательства в области борьбы с инфекционными болезнями животных в Российском государстве с XVII века до первой половины XX века / М.В. Виноходова, Д.В. Заходнова, И.И. Шершнева // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: сборник научных трудов, посвященный 75-летию Победы в Великой отечественной войне, 2020. – том №151., с. 8-11.
24. Эпизоотология с основами микробиологии : учебник для СПО / А. С. Алиев, Ю. Ю. Данко, И. Д. Ещенко [и др.] ; под редакцией В. А. Кузьмин. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — 432 с. — ISBN 978-5-507-50531-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/445274 (дата обращения: 04.06.2025). — Режим доступа: для

авториз. пользователей.»
25. S.D. Jones, P.A. Koolmees. A Concise History of veterinary medicine. UK: Cambridge University Press, 2022. 438 p.
26. Calvo, F. Libro de albeiteria. Andres Garcia de la Iglesia (Madrid), 1675. – 386 p.
27. Chauliac, G., Calvo, F. La magna y canonica cirugia. Juan de Valdés (Madrid), 1658. – 716 p.
28. Wilkinson L. Glanders: medicine and veterinary medicine in common pursuit of a contagious disease. Medical History. 1981;25(4):363-384. doi:10.1017/S0025727300034876
29. Guillen, D., Aguierre. J.M. Triaca magna de los antigvos aprobada de los modernos y en justicia y conciencia defendida con authoridad, experiencia y razon, Испания, 1724. – 106 p.
30. Briony, Hudson Theriac: An ancient brand? [Электронный русурс]. URL: https://wellcomecollection.org/stories/Wc5IPScAACgANNYO (дата обращения 25.02.2025 г.)
31. Marieta, J. Historia ecclesiastica y flores de Santos de España. Испания, Cristiano Bernabé (Cuenca). 1594. – 135 p.
32. Parroquia Asuncion de nuestra señora, официальный сайт [Электронный русурс]. URL: https://parroquiadealpedrete.archimadrid.es/?page_id=2347 (дата обращения 25.02.2025 г.)
33. Ryder, A. F. C. (1990). Alfonso the Magnanimous: King of Aragon, Naples, and Sicily, 1396-1458. Великобритания: Clarendon Press, 1990, - 468 с.
34. Recetas para Cristóbal de Torres. Medicina del XVII [Электронный ресурс]. URL: https://urosario.edu.co/blog-archivo-historico/documentos/recetas-para-cristobal-de-torres-medicina-del-xvii (дата обращения 05.06.2025 г.)
35. Sellon, D. Equine Infectious Diseases E-Book. Соединенные Штаты Америки, Saunders, 2013. 664 p.
36. Донских, М. Р. Заболеваемость лошадей сапом в мире и риск появления болезни на территории Российской Федерации / М. Р. Донских, Т. Х. Абд Алхак // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны : материалы XII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 215-летию СПбГУВМ, Санкт-Петербург, 23–24 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Перевощикова Юлия Владимировна, 2023. – С. 130
37. Минова, А. В. Сап и мелиоидоз лошадей / А. В. Минова // Молодежная наука для развития АПК : сборник трудов LX Студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 14 ноября 2023 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 103-107
38. Виноходова, М.В. Бешенство лошадей в европейских печатных источниках в XVII веке / М.В. Виноходова, А.И. Ярощук // Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 1. – С. 94-106.

REFERENCES

1. Vinokhodova, M. V. Development of ideas about the nature of glanders in horses / M. V. Vin6.okhodova // Horses in world history and culture: Abstracts of reports and communications of the All-Russian scientific conference with international participation, St. Petersburg, November 14-16, 2024. - St. Petersburg: SPbI RAS, 2024. - P. 80-82
2. Order of the Ministry of Agriculture No. 311 of June 28, 2017 "On approval of the Veterinary rules for the implementation of preventive, diagnostic, restrictive and other measures, the establishment and cancellation of quarantine and other restrictions aimed at preventing the spread and eliminating foci of glanders." [Electronic resource] URL: https://docs.cntd.ru/document/456078970 (date of access 01.06.2025)
3. Order of the Ministry of Agriculture No. 118 of March 4, 2025 "On approval of Veterinary rules for the implementation of preventive, diagnostic, restrictive and other measures, the establishment and cancellation of quarantine and other restrictions aimed at preventing the spread and eliminating glanders outbreaks." [Electronic resource] URL: https://docs.cntd.ru/document/456078970 (date of access 01.06.2025)

4. Kalugin, V. I. Fight against epizootics in the USSR and some foreign countries (1500-1965): specialty 16.80.30: abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Veterinary Sciences / V. I. Kalugin. - Omsk, 1971. - 60 p.
5. Monitoring the epizootic situation in some natural focal zoonoses / V. A. Kuzmin, D. A. Orekhov, A. B. Aidiev, A. V. Tsyganov // Normative and legal regulation in veterinary medicine. - 2024. - No. 2. - P. 44-50. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.2.44.
6. Muradova, S. A. Features of the manifestation of glanders in horses / S. A. Muradova // Modern achievements and problems of animal feeding: a collection of scientific articles based on the materials of the conference dedicated to the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, professor of the Department of Animal Nutrition and General Biology Zlydnev N.Z., Stavropol, April 16, 2024. - Stavropol: Stavropol State Agrarian University, 2024. - P. 138-141.
7. Scott-Macnab, David. (2014). Unrecorded Middle English Lexical Items in the Fifteenth-Century Treatise, Medicines for Horses: A Preliminary Study. Notes and Queries. 259. 344-349. 10.1093/notesj/gju103.
8. Markham, G. Markham's Methode, or Epitome: wherein is shewed his approoved Remedies for all diseases whatsoever incident to Horses, Oxen, Kine, Buls, etc. MS. notes. Great Britain, T.S., 1616. 80 p.
9. Markham, G. Markham's Master-piece Revived, Great Britain: John Wright and Thomas Passinger, 1681. – 391 p.
10. DE GRAY, T. (1639). The Compleat Horseman and Expert Ferrier. In Two Books. The First, Shewing the Best Manner of Breeding Good Horses, with Their Choice, Nature, Riding and Dyeing ... The Second, Directing the Most Exact and Approved Manner how to Know and Cure All Maladies and Diseases in Horses, Etc. UK: Thomas Harper; sold by Nicholas Vavasor.
11. Ramírez B.F. Discurso de albeyteria, Spain, Domingo Palacio y Villegas (Madrid), 1655. – 306 p.
12. Arredondo, M. Flores de Albeyteria: tratado segundo. Spain, Madrid, 1661. – 132 p.
13. Arredondo, M. Obras de albeytería: primera, segunda y tercera parte. Spain, Zaragoza, Pasqual Bueno, 1704. – 423 rub.
14. Arredondo, M. Recopilacion de albeyteria: Sacada de varios autores. Spain. por Ioseph Fernandez de Buendia. A costa de Iuan de Valdes, Mercader de libros. Vendese en su casa enfrente del Colegio de Atocha, Spain, 1658. – 448 rub.
15. Wilkinson L. Veterinary Cross-Currents in the History of Ideas on Infectious Disease1. Journal of the Royal Society of Medicine. 1980;73(11):818-827. doi:10.1177/014107688007301112
16. Michael H MacKay. The Rise of a Medical Specialty: The Medicalisation of Elite Equine Care c.1680 - c.1800. PhD thesis University of York History, August 2009. 436 p.
17. Epizootic situation on glanders in Russia and the world in 2024. [Electronic resource]. URL: https://fsvps.gov.ru/jepizooticheskaja-situacija/ (date of access 01.06.2025)
18. Narayan, Krishna Gopal, et al. Handbook of Management of Zoonoses. Germany, Springer Nature Singapore, 2024. Tarantola A. Four Thousand Years of Concepts Relating to Rabies in Animals and Humans, Its Prevention and Its Cure. Tropical Medicine and Infectious Disease. 2017; 2(2):5. https://doi.org/10.3390/tropicalmed2020005
19. Raj A, Pathak A, Karuppusamy S, Tripathi BN, Tripathi H and Singha H (2024) Knowledge, awareness and perception about equine glanders among veterinarians and medical professionals in India. Front. Vet. Sci. 11:1334485. doi: 10.3389/fvets.2024.1334485
20. Shukhov, F. G. Some legal aspects of labor protection when working with animals / F. G. Shukhov // Normative and legal regulation in veterinary medicine. - 2024. - No. 3. - P. 25-28. - DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.3.25.
21. Van der Kolk, J.H., and Veldhuis Kroeze, E.J.B. Infectious Diseases of the Horse: Diagnosis, Pathology, Management, and Public Health
22. Orekhov, D. A. Systematization of mandatory requirements for the implementation

of control and supervisory powers in the field of veterinary medicine / D. A. Orekhov // Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country: materials of the international scientific conference of students, graduate students and young scientists, St. Petersburg, November 23-24, 2017. - St. Petersburg: St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, 2017. - P. 159-161. 23. Vinokhodova, M.V. Brief characteristics of the development of veterinary legislation in the field of combating infectious diseases of animals in the Russian state from the 17th century to the first half of the 20th century / M.V. Vinokhodova, D.V. Zakhodnova, I.I. Shershneva // Current issues of veterinary medicine: a collection of scientific papers dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War, 2020. - volume No. 151., pp. 8-11.

24. Epizootology with the basics of microbiology: a textbook for secondary vocational education / A. S. Aliyev, Yu. Yu. Danko, I. D. Yeshchenko [et al.]; edited by V. A. Kuzmin. - 5th ed., reprinted. - St. Petersburg: Lan, 2025. - 432 p. - ISBN 978-5-507-50531-9. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: https://e.lanbook.com/book/445274 (accessed: 06/04/2025). - Access mode: for authorized users. " 25. S.D. Jones, P.A. Koolmees. A Concise History of veterinary medicine. UK: Cambridge University Press, 2022. 438 p.

26. Calvo, F. Libro de albeiteria. Andres Garcia de la Iglesia (Madrid), 1675. – 386 p.

27. Chauliac, G., Calvo, F. La magna y canonica cirugia. Juan de Valdés (Madrid), 1658. – 716 p.

28. Wilkinson L. Glanders: medicine and veterinary medicine in common pursuit of a contagious disease. Medical History. 1981;25(4):363-384. doi:10.1017/S0025727300034876

29. Guillen, D., Aguierre. J.M. Triaca magna de los antigvos aprobada de los modernos y en justicia y conciencia defendida con authoridad, experiencia y razon, Spain, 1724. – 106 p.

30. Briony, Hudson Theriac: An ancient brand? [Electronic resource]. URL: https://wellcomecollection.org/stories/Wc5IPScAACgANNYO (accessed 02/25/2025)

31. Marieta, J. Historia ecclesiastica y flores de Santos de España. Spain, Cristiano Bernabé (Cuenca). 1594. – 135 p.

32. Parroquia Asuncion de nuestra señora, official website [Electronic resource]. URL: https://parroquiadealpedrete.archimadrid.es/?page_id=2347 (date of access 02/25/2025)

33. Ryder, A. F. C. (1990). Alfonso the Magnanimous: King of Aragon, Naples, and Sicily, 1396-1458. Great Britain: Clarendon Press, 1990, - 468 p.

34. Recetas para Cristóbal de Torres. Medicina del XVII [Electronic resource].

35. Sellon, D. Equine Infectious Diseases E-Book. United States of America, Saunders, 2013. 664 p.

36. Donskikh, MR Incidence of glanders in horses in the world and the risk of the disease appearing on the territory of the Russian Federation / MR Donskikh, TH Abd Alhak // Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country: materials of the XII international scientific conference of students, graduate students and young scientists dedicated to the 215th anniversary of St. Petersburg State University of Medicine and Medicine, St. Petersburg, November 23–24, 2023. – Saint Petersburg: Yuliya Vladimirovna Perevoshchikova, 2023. – P. 130

37. Minova, AV Glanders and melioidosis of horses / AV Minova // Youth science for the development of the agro-industrial complex: collected works of the LX Student scientific and practical conference, Tyumen, November 14, 2023. – Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2023. – P. 103-107

38. Vinokhodova, MV Horse rabies in European printed sources in the 17th century / MV Vinokhodova, AI Yaroshchuk // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2025. – No. 1. – P. 94-106.

УДК: 579.841.93:616-07:61-097
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.37

ПОЛУЧЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РЕКОМБИНАНТНОГО О-АНТИГЕНА БРУЦЕЛЛ, СИНТЕЗИРОВАННОГО В ЭУКАРИОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЭКСПРЕССИИ

Хаммадов Н.И. [1,2]* – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Громова Е.А.** [1] – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-0416-6193); **Горбунова М.Е.** [1] – канд. биол. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0002-0707-2117); **Галеева А.Г.** [1,2] – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-2650-6459); **Косарев М.А.** [1] – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-5587-486X); **Усольцев К.В.** – канд. ветеринар. наук, вед. науч. (ORCID 0000-0001-5279-9836); **Ефимова М.А**. [1,2]– д-р биол., наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-8786-1310)

[1] ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»
[2] ФГБОУ ВО Казанский ГАУ Институт "Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана"

* nikhammadov@mail.ru

Ключевые слова: *крупный рогатый скот, бруцеллез, рекомбинантный О-антиген, антитела, иммуноферментный анализ (ИФА)*
Keywords: *cattle, brucellosis, recombinant O-antigen, antibodies, enzyme immunoassay (ELISA)*

Поступила: 15.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Бруцеллез представляет собой опасное зоонозное заболевание, вызываемое бактериями рода *Brucella*, которое оказывает существенное негативное влияние на продуктивность сельскохозяйственных животных. В Российской Федерации успехи в борьбе с данным заболеванием у крупного рогатого скота связаны с использованием вакцины, созданной на основе штамма *Brucella abortus* 82, а также своевременным выявлением инфицированных животных. Настоящая работа посвящена получению и изучению серологической активности рекомбинантного О-антигена для индикации антител против бруцеллеза. В результате проведения поисковых запросов в базе данных GenBank нами идентифицирована аминокислотная последовательность О-полисахаридного антигена бруцелл – WP_002967174.1. Данную последовательность оптимизировали для трансляции белка на культуре клеток млекопитающих, синтезировали и клонировали в плазмиду pVAX1. Наработку pVAX1 проводили путем трансформации клеток *Escherichia coli* штамма DH5α методом теплового шока, с селекцией по гену устойчивости к канамицину с дальнейшим выделением и очисткой плазмидной ДНК. Трансфекция клеток HEK293 полу-

ченной генетической конструкцией приводила к экспрессии целевого антигена, факт наличия которого в жидкости, отобранной с клеточной культуры, установили с помощью вертикального электрофореза в 12 % ПААГ по результату визуализации мажорных паттернов на уровне 70 кДа. В результате ионообменной и гель-фильтрационной хроматографии удалось получить очищенный О-антиген в растворенном виде в концентрации 4,7 мг/мл. Полученный препарат был применен в разведении 10 мкг/мл, в качестве антигена, при проведении непрямого твердофазного ИФА для индикации антител в сыворотках крови крупного рогатого скота против S и R антигена бруцелл. Коэффициент специфичности рассчитывали относительно данных ИФА с сывороткой крови в разведении 1:256. Так при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против *Brucella abortus* коэффициент специфичности составил 6,29, против S и R антигенов бруцелл – 6,1 и 6.77 соответственно. Результаты исследования могут внести значительный вклад в развитие методов диагностики и лечения бруцеллеза, а также в создание новых вакцинных препаратов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Бруцеллез – это опасное зоонозное заболевание, вызываемое бактериями рода *Brucella*, которое оказывает негативное воздействие на продуктивность сельскохозяйственных животных [1], а в случае инфицирования человека приводит к его пожизненной инвалидности [2]. На протяжении последних десяти лет в Российской Федерации (РФ) отмечается неустойчивая эпидемиологическая ситуация по данному заболеванию [3]. Наибольшее количество заражений регистрируется на территориях Северо-Кавказского, Южного и Приволжского федеральных округов [4]. Изучение опыта борьбы с бруцеллёзом крупного рогатого скота в разных странах показывает, что эффективность противоэпизоотических мер напрямую зависит от уровня научной проработки и практического применения специфических вакцин. В РФ успехи в борьбе с данным зоонозным заболеванием тесно связаны с широким применением и научно обоснованным использованием вакцины, созданной на основе штамма *Brucella abortus* 82. К тому же основой контроля и предупреждения распространения бруцеллеза является своевременное выявление инфицированных животных с использованием бактериологических, серологических и молекулярных методов диагностики [5]. Важно отметить, что окончательное подтверждение диагноза возможно исключительно при успешном выделении *Brucella* spp. от животных, демонстрирующих серопозитивные результаты. В контексте серологической диагностики наиболее релевантными и широко применяемыми методиками являются реакция связывания комплемента (РСК), реакция радиальной иммунодиффузии (РБП) и иммуноферментный анализ (ИФА) [6]

Антигены гладкого липополисахарида (S-ЛПС), локализованные на поверхности клеточной стенки, играют ключевую роль в разработке серологических тест-систем для диагностики бруцеллеза. Особое внимание следует уделить О-полисахаридной (O-PS) части S-ЛПС, которая является наиболее доступной для антигенного взаимодействия на поверхности клеток бруцелл [7]. Такой О-полисахаридный антиген обладает высокой иммуногенностью и играет важную роль в дифференциации различных серотипов бруцелл, что делает его значимым для эпидемиологических исследований и разработки серологических диагностикумов.

Наиболее оптимальным подходом к конструированию тест-систем является использование рекомбинантных антигенов, поскольку это позволяет значительно минимизировать биологические риски [8], связанные с использованием живых штаммов бруцелл, стандартизировать анализ [9], дифференцировать поствакцинальные антитела от антител естественно инфицированных животных [10].

Таким образом, можно предположить, что использование специализированных диагностических тестов, основанных на применении синтетических аналогов мик-

робных антигенов, представляет собой перспективное направление в повышении точности и эффективности выявления бруцеллеза.

Цель работы – получить в эукариотической системе рекомбинантный О-антиген бруцелл для специфичной индикации антител против возбудителей бруцеллеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В качестве референтной последовательности использовали аминокислотную последовательность О-полисахаридного антигена бруцелл сохраненную из базы данных GenBank Интернет-ресурса NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.) – WP_002967174.1 (MULTISPECIES: O-antigen ligase family protein [Brucella]). Физико-химические показатели аминокислотной последовательности анализируемого антигена рассчитывали в онлайн-сервисе «Protein calculator» (https://pepcalc.com/protein-calculator.php). Модификацию аминокислотной последовательности О-полисахаридного антигена в нуклеотидную проводили в интернет-ресурсе IDT (https://www.idtdna.com). Полученная последовательность была синтезирована и клонирована в вектор pVAX1 в компании «Евроген» (г. Москва). Наличие генетической вставки в составе рекомбинантной плазмиды, а также её нуклеотидная последовательность были верифицированы посредством метода секвенирования по Сэнгеру, проведенного в ЗАО «Евроген» (г. Москва).

Рекомбинантной плазмидой были трансформированы химически компетентные клетки *Escherichia coli* штамма DH5α, при помощи метода теплового шока согласно протоколу F.M. Ausubel [11]. Культуру трансформированных клеток, содержащих модифицированную плазмиду с интегрированным геном, культивировали в 50 мл жидкой питательной среды LB (Lysogeny broth) с добавлением канамицина (50 мкг/мл). Выделение плазмидной ДНК из клеток *E. coli* осуществляли набором Plasmid Miniprep (ЗАО «Евроген», Россия), в соответствии с инструкцией производителя. Концентрацию выделенной плазмиды измеряли с помощью спектрофотометра UV5Nano (Mettler Toledo, США).

Клетки почек эмбриона человека HEK293 («БиолоТ», Россия) культивировали в среде DMEM с 10% фетальной бычьей сывороткой (Hyclone, Австралия), 20 мМ L-глутамина и 100 ЕД/мл пенициллина-стрептомицина («Панэко», Россия) при температуре 37 °С в атмосфере 5 % CO_2. Трансфекцию клеток HEK293 выполняли кальций-фосфатным методом согласно следующему протоколу: за 48 ч до трансфекции клетки были посеяны на культуральные чашки диаметром 150 мм («Corning», США) в количестве $1,5 \times 10^6$ в объеме 10 мл полной ростовой среды и инкубированы при температуре 37 °С в атмосфере 5 % CO_2. Двухкратный HBS-буфер 2xHBS (NaCl – 280 мМ, KCl – 10 мМ, Na_2HPO_4 – 1,5 мМ, декстроза / глюкоза – 12 мМ, HEPES pH 7,05 – 50 мМ) объемом 600 мкл был смешан с равным объемом ДНК (20 мкг) и 2,5 М $CaCl_2$ и инкубирован в течение 20 мин при комнатной температуре при постоянном перемешивании, после чего трансфекционную смесь капельно добавляли к культуральной среде. Через 6 ч трансфекционную смесь аспирировали, клетки трижды промывали фосфатно-буферным раствором (PBS) и вносили свежую культуральную среду. Экспрессию целевого антигена клетками HEK293 устанавливали с помощью вертикального электрофореза в полиакриламидном геле. Для этого готовили 5 % концентрирующий гель (3,4 мл воды, 0,82 мл 30 % акриламида, 0,63 мл трис-HCl буфера, pH 6,8, 50 мкл додецилсульфата натрия, 50 мкл персульфата аммония, 5 мкл TEMED) и 12,5 % разделяющий гель (1,89 мл воды, 4,16 мл 30 % акриламида, 3,75 мл трис-HCl буфера, pH 8,8, 100 мкл додецилсульфата натрия, 100 мкл персульфата аммония). Электрофорез проводили после нанесения в лунки геля лизированных клеточных образцов (4х лизирующая смесь: 0,5 М трис-HCl буфер, pH 6,8, 14,5 М β-меркаптоэтанола, 10 % додецилсульфата натрия, 1 % бром-

фенолового синего, 40 % глицерола; режим лизиса – 5 мин при 95 °С) в объеме 20 мкл при напряжении 140 В в электродном трис-глициновом буфере (pH 8,3) с использованием камеры «Mini-PROTEAN® Tetra» («Bio-Rad», США). После проведения электрофореза гели выдерживали в фиксирующем растворе (10 % ледяной уксусной кислоты, 25 % изопропанола) в течение 15 мин, затем окрашивали раствором Кумасси R-250 в течение 1 ч и выдерживали в отмывающем буфере с нагревом до удаления фона (7 % ледяной уксусной кислоты, 25 % изопропанола).

После получения продуктов экспрессии и трансляции проводили первичную очистку белка по средствам катионной ионообменной хроматографии, после чего осуществляли хроматографию с применением гель-фильтрации на колонке ENrich Sec70 и хроматографе NGC (BioRad, США) согласно протоколу, сгенерированному программным обеспечение прибора (для хроматографии с использованием колонки ENrich Sec70) «ChromLab». Концентрацию белка в препарате рекомбинантного антигена определяли с использованием спектрофотометра UV5Nano (Mettler Toledo, США).

В исследовании применяли сыворотку крови крупного рогатого скота, содержащую антитела против *B. abortus*, а также S и R антигенов бруцелл, входящие в состав дифференциального набора для постановки реакции агглютинации «Набор для дифференциальной серологической диагностики бруцеллеза и контроля иммунного ответа крупного рогатого скота, иммунизированного вакциной из штамма *B. abortus 82*» (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», Россия). В качестве отрицательного контрольного образца (ОКО) применяли сыворотку крови не инфицированного бруцеллами крупного рогатого скота (из того же диагностического набора).

Полученный антиген разводили на карбонат-бикарбонатном буфере (КББ) до концентрации 10 мкг/мл и синсибилизировали им планшет ВНИИ («Медполимер», Россия) в объёме 100 мкл на лунку и инкубировали 3 ч при 37 ° С. Содержимое лунок удаляли и отмывали три раза фосфатно-буферным раствором (ФБР) с добавлением 0,5% Твин-20 (ФБР-Т). Для определения минимального титра антител сыворотки вносили в объеме 4 мкл в первые лунки планшета в разведении 1:25 на ФБР и титровали методом последовательных двукратных разведений (последнее разведение 1:256). В процессе тестирования сывороток в одном разведении в качестве рабочего использовали разведение 1:25. Планшет с образцами инкубировали 1 ч при 37°С. Содержимое лунок удаляли и отмывали три раза фосфатно-буферным раствором (ФБР) с добавлением 0,5% Твин-20 (ФБР-Т). Во все лунки планшета вносили по 100 мкл антивидового конъюгата IgG крупного рогатого скота («Sigma», США) в разведении 1:20000 на ФБР и инкубировали в течение 1 ч при 37°С. Содержимое лунок удаляли и отмывали пять раз ФБР-Т. Во все лунки планшета вносили по 100 мкл ТМБ и инкубировали в темном месте при комнатной температуре (22+2°С) в течение 10 мин. Реакцию останавливали добавлением в каждую лунку планшета по 50 мкл 0,5М серной кислоты. Учет результатов ИФА осуществляли на спектрофотометре Multiskan GO («ThermoFisher», США) при длине волны 450 нм. Коэффициент специфичности определяли, как отношение значения оптической плотности, полученного в реакции с каждым наименованием сыворотки (отдельно, с S и R антителами) к значению оптической плотности полученного в реакции с отрицательным контролем.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате проведения поисковых запросов в базе данных GenBank нами была идентифицирована аминокислотная последовательность О-полисахаридного антигена бруцелл: msnivtrtrtdarmpdatgpqarirrialviasvifgvllisfrpftpaggaetetggdiinqlgfscvgavalasmamfanlrklagiirpgwlvmlvflfasifassdpatavrgvllttvgivaiiavlvlpqdgdgysallvsvasvvivisyagvvllpslgthgadaiepqnsflwrgvfshkniagpvmavfafaglylwrrgwktsglligl

salgfvsqtgskttmalvpfamllvvlpglmglrkltaglifa iqlafatfifgvvlfepirrlvenmdvdatftgrvsiwkfalea lskrpwtgygyesfwssayarhaarpyyldwdvrgivhg hnsyldvamtmgipallcaiaviivmplvhyarcrpvren mlladfflmivlfgtlnammesfyfrrmdpvwltlilaifgl gmtakvvipkrsv (GenBank: WP_002967174.1) (рисунок 1). Трехмерная модель антигена, построенная с помощью программы SWISS-MODEL, которая доступна в сети «интернет» по адресу https://swissmodel.expasy.org.

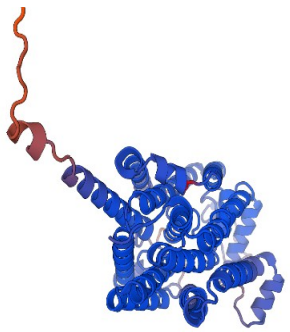


Рисунок 1 – Трехмерная модель О-полисахаридного антигена.

В целях подбора оптимальной экспрессионной системы, пригодной для наработки наибольшего количества белкового продукта, используемая аминокислотная последовательность была проанализирована на пептидном калькуляторе. В ходе анализа было определено, что молекулярный вес аминокислотной последовательности, состоящий из 441 аминокислот, равен 47,88 кДа, коэффициент экстинкции — 65290 М-1см-1, изоэлектрическая точка достигается при pH = 10,23, суммарный заряд при нейтральном pH = 13,4, белок плохо растворим в воде.

Поскольку вероятность получения искомого белка в растворимом виде в прокариотической экспрессионной системе минимальна, наиболее верным решением является использование эукариотических клеток. Действительно, повышение растворимости целевого белка может быть достигнуто путём его гликозилирования. Гликозилирование — это процесс, при котором углеводы присоединяются к белкам, что значительно влияет на их функциональные свойства, стабильность и иммуногенность. Данный процесс характерен для эукариотических клеток, что делает их более предпочтительными для экспрессии белков, требующих таких модификаций [12].

Выбор системы экспрессии — один из ключевых аспектов, влияющих на результативность и экономическую целесообразность наработки рекомбинантных белков. В данном исследовании для синтеза рекомбинантного белка была применена система экспрессии, основанная на клеточной линии HEK293.

Для построения экспрессионной системы нами была использована нуклеотидная последовательность, кодирующая исследуемый О-полисахаридный антиген. После проведенных модификаций конечная нуклеотидная последовательность для клонирования в экспрессирующий вектор была следующей: «atgagcaatatcgtaacccggacaagaactgacgcccgta tgccggatgcgacagggccacaggcacggatacgcaggat tgctcttgttatagcaagcgtcatattcggcgtgctgctgatctc gtttcgcccgtttacaccggcgggcggggcagagacggag actggcggcgatatcatcaaccagcttggtttcagttgcgtgg gggccgttgcccttgcctccatggcgatgttcgccaatttgcg gaaacttgcaggcatcatacgtcccggctggctcgtgatgct cgtctttttattcgcatcgatatttgccagttccgacccggcaac ggcggtgcgcggtgttctcctcaccacggtcggaattgtggc gatcatagcggttctggtcttgccgcaggatggcgacggttat tctgcgctgctcgtatcggtggcgtcggtcgttatcgtcatttc ctatgccgggggttgtgttgctgccgagccttggcacgcatgg ggcggatgctatcgaaccgcagaactcctttctctggcgcgg tgttttcagccataaaaacattgctggcccggtgatggcggttt tcgcgtttgccgggctttatctgtggcggcgcggttggaaaac cagcggactgctgattggcctttccgcgctgggttttgtttcgc aaaccggctccaagacgacgatggcgctcgtgccttttgcaa tgctgctcgttgttcttcccggccttatgggattgcgcaagctg acagcggggctgatttttgcaatccagcttgcatttgccacttt attttcggcgtggtgctgttcgagccgatccgccgtttggttga aaatatggatgtggacgcgacctttaccgggcgcgtttcgatc tggaagtttgcactggaagccctgtcgaagcggccatggac cggctatggctatgaaagcttctggagttcggcatatgccag gcatgcggcgcggccctattatctcgattgggatgtgcgcgg catcgtgcatggtcataattcctatctggatgtcgccatgacga tgggtatcccggcacttttatgcgcgattgcggtcatcatcgtc atgccgctggttcattatgcgcggtgcaggccggtgcgcga

gaacatgctgctggccgacttctttttgatgatcgtcttgttcgg
aacgctcaatgccatgatggaaagtttttacttccggcgcatg
gacccggtctggctcacacttatccttgccatttttcggccttgg
catgacggcaaaagtcgtcatcccgaagcgatctgtctaa».

Данная последовательность была синтезирована в компании «Евроген» (г. Москва) и клонирована в вектор pVAX1. В результате конструирования длина pVAX1 для экспрессии гена интереса в клеточной культуре HEK293 составила 4385 пар нуклеотидов. Структура разработанной рекомбинантной плазмиды, представлена на рисунке 2.

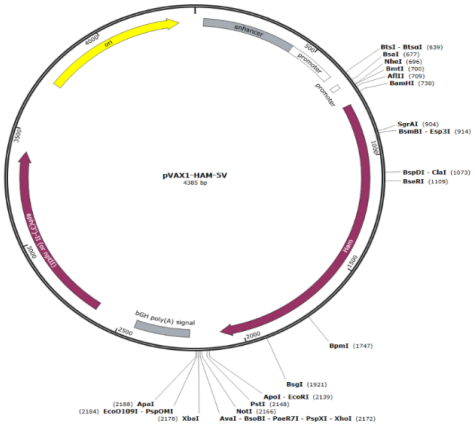


Рисунок 2 – Карта вектора pVAX1 для трансфекции культуры клеток HEK293.

Для наработки целевой ДНК, необходимой для трансфекции клеток HEK293, использовали химическую трансформацию компетентных клеток *E. coli*, после чего был осуществлен отбор трансформантов на селективной среде с канамицином с последующим выделением и очисткой плазмидной ДНК.

Далее проводили траснфекцию клеток HEK полученной генетической конструкцией. Экспрессия целевого антигена клетками HEK293 установлена с помощью вертикального электрофореза в 12 % полиакриламидном геле. Было обнаружено, что полученный рекомбинантный О-антиген претерпел значительные посттрансляционные изменения, в результате чего его молекулярная масса оказалась существенно больше расчётной. В соответствующих треках геля, в лунки которого был добавлен препарат рекомбинантной плазмиды, наблюдали мажорные паттерны на уровне 70 кДа (рисунок 3).

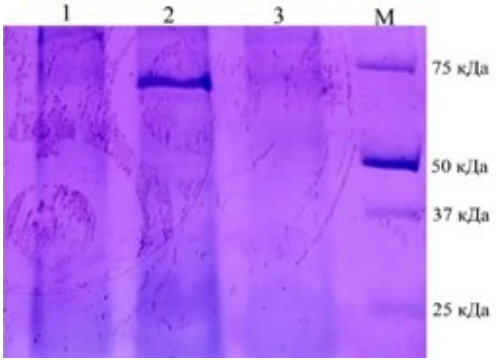


Рисунок 3 – О-антиген бруцелл в полиакриламидном геле:
М – маркеры белковые молекулярного веса, Bio-Rad; 1 – нетрансфецированная культура клеток;
2 – трансфецированная культура клеток (осадок – клетки HEK293);
3 – трансфецированная культура клеток (надосадок – среда культивирования не содержащая трансфецированные клетки).

В результате ионообменной и гельфильтрационной хроматографии удалось получить очищенный антиген в растворенном виде в концентрации 4,7 мг/мл. Далее полученный препарат был применен в разведении 10 мкг/мл, в качестве антигена, при проведении непрямого твердофазного ИФА для индикации антител в сыворотках крови крупного рогатого скота против S и R антигена бруцелл. В качестве отрицательного контроля использовали сыворотки крови крупного рогатого скота не содержащие антитела. Результат анализа серологической активности полученного рекомбинантного антигена представлен в таблице 1.

Для О-антигена бруцелл рассчитали коэффициенты специфичности относительно данных ИФА с сывороткой крови в разведении 1:256. Так при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против Brucella abortus коэффициент

специфичности составил 6.29, при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против S антигена бруцелл коэффициент специфичности составил 6.1, при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против R антигена бруцелл коэффициент специфичности составил 6.77.

Важно отметить, что представленный антиген способен выявлять как S- так и R-противобруцеллезные антитела, что свидетельствуют о высоком потенциале цельного рекомбинантного О-антигена для специфичной индикации антител против возбудителей бруцеллёза, в том числе и на территориях не подвергающейся вакцинации против данного заболевания.

Результаты нашего исследования могут внести значительный вклад в развитие методов диагностики и лечения бруцеллеза, а также в создание новых вакцинных препаратов.

Таблица 1 – Показатели серологической активности рекомбинантного О-антигена бруцелл с сывороткой крови крупного рогатого скота

Разведения	Исследуемы образцы сывороток крови			
	1	2	3	ОКО
1:2	0,91	0,889	0,865	0,201
1:4	0,77	0,837	0,858	0,177
1:8	0,77	0,82	0,853	0,15
1:16	0,699	0,766	0,801	0,141
1:32	0,63	0,783	0,707	0,164
1:64	0,616	0,735	0,732	0,104
1:128	0,504	0,623	0,545	0,085
1:256	0,497	0,482	0,535	0,079

Примечание: 1 – сыворотка крови крупного рогатого скота, содержащая антитела против B. abortus; 2 – сыворотка крови крупного рогатого скота против S антигена бруцелл; 3 – сыворотка крови крупного рогатого скота против R антигена бруцелл; ОКО – сыворотка крови крупного рогатого скота, не содержащая антитела против бруцелл.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В результате проведения поисковых запросов в базе данных GenBank нами идентифицирована аминокислотная последовательность О-полисахаридного антигена бруцелл – WP_002967174.1. С использованием пептидного калькулятора было определено, что молекулярный вес исследуемой аминокислотной последовательности, состоящий из 408 аминокислот, равен 44,26 кДа, коэффициент экстинкции — 65290 M-1cm-1, изоэлектрическая точка достигается при pH = 9,86, суммарный заряд при нейтральном pH = 9,4, белок плохо растворим в воде.

Для успешной наработки гена интереса в эукариотической системе анализируемую последовательность оптимизировали путём гликозилирования, синтезировали и клонировали в плазмиду pVAX1. В результате конструирования длина pVAX1 для экспрессии гена интереса в клеточной культуре HEK293 составила 4385 пар нуклеотидов. Наработку pVAX1 проводили путем трансформации клеток *E. coli* штамма DH5α методом теплового шока, с селекцией по гену устойчивости к канамицину с дальнейшим выделением и очисткой плазмидной ДНК. Трансфекция клеток HEK293 полученной генетической конструкцией приводила к экспрессии целевого антигена, факт наличия которого в жидкости, отобранной с клеточной культуры, установили с помощью вертикального электрофореза в 12 % ПААГ по результату визуализации мажорных пат-

тернов на уровне 70 кДа. В результате ионообменной и гель-фильтрационной хроматографии удалось получить очищенный О-антиген в растворенном виде в концентрации 4,7 мг/мл. Полученный препарат был применен в разведении 10 мкг/мл, в качестве антигена, при проведении непрямого твердофазного ИФА для индикации антител в сыворотках крови крупного рогатого скота против S и R антигена бруцелл. Коэффициент специфичности рассчитывали относительно данных ИФА с сывороткой крови в разведении 1:256. Так при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против *B. abortus* коэффициент специфичности составил 6.29, при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против S антигена бруцелл коэффициент специфичности составил 6.1, при реакции с сывороткой крови крупного рогатого скота против R антигена бруцелл коэффициент специфичности составил 6.77. Полученный антиген способен выявлять как S- так и R-противобруцеллезные антитела, что свидетельствуют о высоком потенциале цельного рекомбинантного О -антигена для специфичной индикации антител против возбудителей бруцеллёза, в том числе и на территориях не подвергающейся вакцинации против данного заболевания.

OBTAINING AND DETERMINING THE SEROLOGICAL ACTIVITY OF RECOMBINANT O-BRUCELLA ANTIGEN SYNTHESIZED IN THE EUKARYOTIC EXPRESSION SYSTEM

Khammadov N.I. [1,2] – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Gromova E.A**. [1] – Candidate of Biological Sciences, Senior researcher (ORCID 0000-0002-0416-6193); **Gorbunova M.E.** [1]– Candidate of Biological Sciences, Researcher, (ORCID 0000-0002-0707-2117); **Galeeva A.G.** [1,2] – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, (ORCID 0000-0003-2650-6459); **Kosarev M.A.** [1] – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-5587-486X); **Usoltsev K.V.** [1] – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5279-9836); **Efimova M.A**.[1,2] – Doctor of Biological Sciences, leading researcher (ORCID: 0000-0001-8786-1310)

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

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

* nikhammadov@mail.ru

ABSTRACT

Brucellosis is a dangerous zoonotic disease caused by bacteria of the genus *Brucella*. having a significant negative impact on the productivity of farm animals. In the Russian Federation, successes in the fight against this disease in cattle are associated with the use of a vaccine based on the *Brucella abortus 82* strain, as well as the timely detection of infected animals. This work is devoted to the preparation and study of the serological activity of recombinant O-antigen for the indication of antibodies against brucellosis. As a result of conducting search queries in the GenBank database, we identified the amino acid sequence of the O-polysaccharide antigen brucella –WP_002967174.1. This sequence was optimized for protein translation in mammalian cell culture, synthesized, and cloned into the pVax1 plasmid. pVax1 was developed by transformation of Escherichia coli cells of the DH5a strain by heat shock, with selection for the kanamycin resistance gene with further isolation and purification of plasmid DNA. Transfection of HEK293 cells with the resulting genetic construct led to the expression of the target antigen, the presence of which in the liquid taken from the cell culture was established using vertical electrophoresis in 12% PAAG based on the visualization of major patterns at the level of 70 kDa. As a result of ion exchange and gel filtration chromatography, it was possible to obtain purified O-antigen in dissolved form at a concentration of 4.7 mg/ml. The resulting drug was used in a dilution of 10 micrograms/ml, as an antigen, during indirect solid-phase ELISA to indicate anti-

bodies in bovine blood sera against S and R brucella antigen. The coefficient of specificity was calculated with respect to ELISA data with blood serum at a dilution of 1:256. Thus, in the reaction with bovine blood serum against *Brucella abortus*, the specificity coefficient was 6.29, against S and R brucella antigens – 6.1 and 6.77, respectively. The results of the study can make a significant contribution to the development of methods for the diagnosis and treatment of brucellosis, as well as to the creation of new vaccine preparations.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Насибуллин Р.Ю. Применение пеногасителей при глубинном культивировании бруцелл. Ветеринарный врач. 2023; 4:33-37. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_4_33.
2. Булашев А.К., Акибеков О.С., Сыздыкова А.С., Суранширев Ж.А., Ескендирова С.З. Серологический потенциал рекомбинантных белков Brucella spp. в диагностике бруцеллеза крупного рогатого скота. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020; 1 (54):56-64. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-56-64
3. Анисимова Е.А., Миргазов Д.А., Додонова Е.А., Елизарова И.А., Панкова Е.В., Осянин К.А. Применение HRM-анализа кривых плавления, полученных после амплификации VNTR-локусов, для идентификации и дифференциации штаммов бруцелл. Проблемы особо опасных инфекций. 2023; 4:42-49. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2023-4-42-49
4. Пономаренко Д.Г., Матвиенко А.Д., Хачатурова А.А., Жаринова И.В., Скударева О.Н., Транквилевский Д.В., Логвиненко О.В., Ракитина Е.Л., Костюченко М.В., Кондратьева Ю.В., Малецкая О.В., Куличенко А.Н. Анализ ситуации по бруцеллезу в мире и Российской Федерации. Проблемы особо опасных инфекций. 2024; 2:36–50. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2024-2-36-50
5. Громова Е.А., Миргазов Д.А., Додонова Е.А., Елизарова И.А., Горбунова М.Е., Осянин К.А. Разработка мультиплексной ПЦР-РВ тест-системы для выявления возбудителя бруцеллеза. Ветеринарный врач. 2024; 3:34-40. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_3_34
6. Булашев А.К., Акибеков О.С., Сыздыкова А., Суранширев Ж.А., Инербай Б. Сравнительная оценка белков внешней мембраны Brucella в серодиагностике бруцеллеза. Актуальная биотехнология. 2020; 3 (34):86-90
7. Zygmunt M.S., Bundle D.R., Ganesh N.V., Guiard J., Cloeckaert A. Monoclonal Antibody-Defined Specific C Epitope of Brucella O-Polysaccharide Revisited. Clin Vaccine Immunol. 2015; 22(8):979-82. https://doi.org/10.1128/CVI.00225-15
8. Усольцев К.В., Горбунова М.Е., Шангараев Р.И., Зайнуллин Л.И., Хаертынов К.С., Осянин К.А., Хаммадов Н.И. Применение синтетического пептида на основе иммуногенного эпитопа GP51 для серологической диагностики вируса лейкоза крупного рогатого скота. Международный вестник ветеринарии. 2024; 1:12-21. https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.1.12
9. Mirkalantari S., Zarnani A., Nazari M., Irajian G.R., Amirmozafari N. Brucella melitensis VirB12 recombinant protein is a potential marker for serodiagnosis of human brucellosis. Ann Clin. Microbiol. Antimicrob. 2017; 8 (16). https://doi.org/10.1186/s12941–017–0182–4
10. Ahmed I., Khairani-Bejo S., Hassan L. Serological diagnostic potential of outer membrane proteins (rOMPs) from Brucella melitensis in mouse model using indirect enzyme-linked immunosorbent assay. BMC Veterinary Research. 2015; I. (11): 275
11. Ausubel F.M., Brent R., Kingston R.E. Current Protocols in Molecular Biology Copyright. John Wiley&Sons, 2003. 4755 p
12. Tian M., Li X., Yu L., Qian J., Bai X., Yang J., Deng R., Lu C., Zhao H., Liu Y. Glycosylation as an intricate post-translational modification process takes part in glycoproteins related immunity. Cell Commun Signal. 2025; 5:23(1):214. https://doi.org/10.1186/s12964-025-02216-w

REFERENCES

1. Nasibullin R.Yu. The use of defoamers in submerged cultivation of Brucella. The Veterinarian. 2023; 4:33-37. 2023; 4:33-37. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_4_33. (In Russ.).
2. Bulashev A.K., Akibekov O.S., Syzdykova A.S., Suranshiev Zh.A., Eskendirova S.Z. Serological potential of recombinant proteins Brucella spp. in the diagnosis of cattle brucellosis. Bulletin of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2020; 1(54):56-64. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-56-64
3. Anisimova E.A., Mirgazov D.A., Dodonova E.A., Elizarova I.A., Pankova E.V., Osyanin K.A. Use of HRM-Analysis of the Melting Curves Obtained after Amplification of VNTR-Loci for Identification and Differentiation of Brucella Strains. Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]. 2023; 4:42–49. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2023-4-42-49. (In Russ.).
4. Ponomarenko D.G., Matvienko A.D., Khachaturova A.A., Zharinova I.V., Skudareva O.N., Trankvilevsky D.V., Logvinenko O.V., Rakitina E.L., Kostyuchenko M.V., Kondrat'eva Yu.V., Maletskaya O.V., Kulichenko A.N. Analysis of the Situation on Brucellosis around the World and in the Russian Federation. Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]. 2024; 2:36–50. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2024-2-36-50 (In Russ.).
5. Gromova E.A., Mirkhazov D.A., Dodonova E.A., Elizarova I.A., Gorbunova M.E., Osyanin K.A. Development of a multiplex RT-PCR test system for detecting the causative agent of Brucellosis. The Veterinarian. 2024; 3:34-40. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2024_3_34 (In Russ.).
6. Bulashev A.K., Akibekov O.S., Syzdykova A., Suranshiev Zh.A., Inerbai B. Comparative evaluation of Brucella outer membrane proteins in the serodiagnosis of brucellosis. Current biotechnology. 2020; 3 (34):86-90 (In Russ.).
7. Zygmunt M.S., Bundle D.R., Ganesh N.V., Guiard J., Cloeckaert A. Monoclonal Antibody-Defined Specific C Epitope of Brucella O-Polysaccharide Revisited. Clin Vaccine Immunol. 2015; 22(8):979-82. https://doi.org/10.1128/CVI.00225-15.
8. Usoltsev K.V., Gorbunova M.E., Shangaraev R.I., Zainullin L.I., Khaertynov K.S., Ostanin K.A., Khammatov N.I. The use of a synthetic peptide based on the immunogenic epitope gp51 for the serological diagnosis of bovine leukemia virus. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024; 1:12-21. https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.1.12. (In Russ.).
9. Mirkalantari S., Zarnani A., Nazari M., Irajian G.R., Amirmozafari N. Brucella melitensis VirB12 recombinant protein is a potential marker for serodiagnosis of human brucellosis. Ann Clin. Microbiol. Antimicrob. 2017; 8 (16). https://doi.org/10.1186/s12941–017–0182–4.
10. Ahmed I., Khairani-Bejo S., Hassan L. Serological diagnostic potential of outer membrane proteins (rOMPs) from Brucella melitensis in mouse model using indirect enzyme-linked immunosorbent assay. BMC Veterinary Research. 2015; I. (11): 275.
11. Ausubel F.M., Brent R., Kingston R.E. Current Protocols in Molecular Biology Copyright. John Wiley&Sons, 2003. 4755 p
12. Tian M., Li X., Yu L., Qian J., Bai X., Yang J., Deng R., Lu C., Zhao H., Liu Y. Glycosylation as an intricate post-translational modification process takes part in glycoproteins related immunity. Cell Commun Signal. 2025; 5:23(1):214. https://doi.org/10.1186/s12964-025-02216-w.

УДК: 619:616-006:578. 828.11:636.09
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.47

МОНИТОРИНГ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Глазунов Ю.В.[1,2] – д-р. ветеринар. наук, зав. каф. инфекционных и инвазионных болезней (ORCID 0000-0001-6496-2450); **Зверев Р.Н.**[1] – аспирант каф. инфекционных и инвазионных болезней (ORCID 0009-0004-4880-710X); **Глазунова Л.А.**[1]* - д-р. ветеринар. наук, профессор каф. морфологии, физиологии и общей патологии (ORCID 0000-0003-4050-5903)

[1] ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья
[2] ВНИИВЭА – филиал ТюмНЦ СО РАН

* glazunovala@gausz.ru

Ключевые слова: *лейкоз, крупный рогатый скот, Тюменская область, распространение, формы собственности, природно-климатические зоны, инфицированность, оздоровление.*

Key words: *leukemia, cattle, Tyumen region, distribution, forms of ownership, natural and climatic zones, infection, recovery.*

Финансирование: *Исследования проведены в рамках государственного задания «Изучение механизмов трансмиссивной передачи вируса лейкоза крупного рогатого скота» (регистрационный номер 1022040800309-3-4.3.1;1.6.12;1.6.14)*

Поступила: 08.04.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Широкое распространение лейкоза среди крупного рогатого скота несет значительную угрозу рентабельности скотоводства, что связано с регламентом оздоровления неблагополучных предприятий, предусматривающим полную замену инфицированного поголовья на здоровых животных. В связи с этим необходимо выяснить какие факторы влияют на уровень инфицированности животных и разрабатывать механизмы, позволяющие оздоровить территории от лейкоза. Целью исследования явилось изучить распространение лейкоза крупного рогатого скот в Тюменском регионе в зависимости от природно-климатических зон с учетом организационно-правовой формы предприятий, занимающихся разведением крупного рогатого скота в различных муниципальных районах, включая крупные хозяйства, и частный сектор, где были выявлены случаи лейкоза. Мониторинг эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в Тюменской области проводили на основании результатов серологических и молекулярно-генетических исследований крупного рогатого скота на выявления вируса лейкоза и антител к нему, сопоставляя данные с климатогеографическим расположением предприятий и их формой собственности. Установлено, что в Тюменской области вирус лейкоза крупного рогатого скота не выявляли лишь в трех северных районах – Тобольском, Уватском и Вагайском. Наиболее сложная обстановка по лейкозу скота наблюдается в подзоне северной лесостепи, где эпизоотиче-

ский процесс протекает с высокой интенсивностью. Отмечено, что лейкоз регистрируется в основном на предприятиях, где содержится не более одной тысячи поголовья, а на крупных мегакомплексах инфицированность скота не зафиксирована. Уровень зараженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза в сельскохозяйственных предприятиях составил 3,63±2,95%. В личных подсобных хозяйствах уровень серопозитивности крупного рогатого скота вирусом лейкозом составил 5,54±4,42%. Наивысший уровень инфицированности выявлен в крестьянско-фермерских хозяйствах– 25,59±12,11%.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Тюменская область является экономическим хабом и регионом-донором благодаря разностороннему отраслевому развитию. Помимо нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и других отраслей в регионе активно развивается агропромышленный комплекс, включающий растениеводство, животноводство и рыбную промышленность. Показатели деятельности сельскохозяйственной отрасли в Тюменской области имеет положительную тенденцию, что позволяет обеспечивать продовольствием не только население субъекта, но и соседние регионы, в том числе Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, в которых природно-географические и климатические условия не способствуют самообеспечению продуктами питания.

Среди отраслей сельского хозяйства животноводство на протяжении последних десяти лет является лидирующей аграрной отраслью по доле вклада в экономику региона. Практически ежегодно уровень производства продукции животноводства имеет положительную динамику по сравнению с предыдущими годами. Также отмечена тенденция перехода на индустриальный уровень производства и уменьшения доли произведенной животноводческой продукции частными хозяйствами населения, а также малыми формами хозяйствования в виде индивидуальных предпринимателей, крестьянских, и фермерских хозяйств.

Инвестиционная привлекательность Тюменской области позволяет реализовывать масштабные инвестиционные проекты в агропромышленном комплексе, в частности в животноводстве. Крупные компании вкладывают средства с строительство новых комплексов, где производится основная доля продукции животноводства. Индустриальный подход, при котором оптимизированы производственные процессы, ведется строгий мониторинг, в том числе функциональных показателей животных, и сведены к минимуму риски возникновения инфекционных и инвазионных заболеваний, что способствует формированию на территории региона здоровой популяции животных. Тем не менее, Тюменская область до настоящего времени является регионом неблагополучным по лейкозу крупного рогатого скота.

Инфекционный лейкоз крупного рогатого скота имеет повсеместное распространение и зафиксирован на всех континентах во многих странах мира [1]. Вирус лейкоза, обладает тропизмом к клеткам гемолимфопоэтической системы, стимулируя патологическое размножение кроветворных тканей, нарушение созревания и дифференциации клеток, ослабляя апоптоз, образовавшихся незрелых форм лейкоцитов, что приводит к появлению их в периферической крови. Вирус лейкоза является экзогенным для крупного рогатого скота, он сохраняется и развивается в лимфоцитах крови. Вирусный геном, частично или полностью интегрируясь в геном клетки-хозяина, может длительное время существовать в виде провируса и зачастую остается незамеченным, так как не вызывает видимых изменений в состоянии животного. Заражение восприимчивых животных происходит при попадании в их организм материала, содержащего лимфоциты зараженного животного [1].

Лейкоз вирусного происхождения развивается прогрессивно и необратимо. На начальной стадии она протекает бессимптомно, затем происходит активное

размножение незрелых лимфоцитов, что приводит к формированию новообразований в кроветворных органах и других тканях. Характерной чертой лейкозного процесса является значительное преобладание пролиферативных явлений над процессами нормальной дифференцировки клеток крови и метапластическим ростом различных пластических элементов, происходящих из клеток ретикулярной стромы с их трансформацией в клетки, определяющие морфологическую основу определенного типа лейкоза [2].

Среди вирусных заболеваний сельскохозяйственных животных, отличающихся злокачественным ростом, лейкоз является одним из самых распространенных и трудноконтролируемых, что вероятно связано с недостаточной изученностью природы вируса, патогенеза заболевания и путей передачи.

Существует социальный риск, связанный с лейкозом крупного рогатого скота, поскольку вирус лейкоза КРС и вирус Т-клеточного лейкоза человека относятся к одному и тому же роду. Несмотря на отсутствие подтвержденных случаев заражения людей вирусом лейкоза КРС, в будущем нельзя исключить вероятность рекомбинации между ВЛКРС и вирусом Т -клеточного лейкоза человека, что может привести к появлению нового онкогенного агента, опасного для человека [2, 3].

Лейкоз крупного рогатого скота имеет широкое распространение в большинстве субъектов РФ и наносит значительный экономический ущерб, связанный со снижением молочной продуктивности, недополучением молодняка, преждевременной выбраковкой высокопродуктивных животных, что вносит корректировки в селекционно-племенной процесс и тормозит развитие отечественной селекции скота. Кроме того, имеются сведения о негативном влиянии метаболитов, образующихся в организме вирусоносителей при употреблении молока и мяса человеком [4, 5, 6].

В организме крупного рогатого скота, инфицированного вирусом лейкоза происходят значительные нарушения обмена веществ, в частности аминокислоты триптофана, что ведет к образованию и накоплению в организме метаболитов, которые негативно влияют на органы иммунной и кроветворной системы животных и вероятно оказывают влияние на организм человека при употреблении продукции от серопозитивных животных [2, 3, 7]. Наличие в продукции инфицированных животных вируса лейкоза и попадание его в организм человека при употреблении сырого молока и недостаточно термически обработанного мяса в течение длительного времени способно приводить к малигнизации тканей доброкачественных опухолей [8].

Лейкоз крупного рогатого скота широко распространен в Российской Федерации и большинство субъектов до настоящего времени остаются неблагополучными по этому заболеванию. Напряженная эпизоотическая ситуация зарегистрирована в субъектах, граничащих с Тюменской областью – Курганской [9], Омской [10, 11], Северо-Казахстанской (республика Казахстан) [12], Томской областях и Красноярском крае.

Часть субъектов страны оказались способными контролировать эту инфекцию, среди которых Свердловская, Вологодская, Ленинградская, Мурманская, Архангельская, Костромская, Кировская области, Ханты-Мансийский автономный округ и др. [13,14].

Реализация утвержденных 24 марта 2021 года новых правила по борьбе с лейкозом способствует оздоровлению поголовья крупного рогатого скота от этой инфекции, особенно от гематологически больных животных. Ежегодно происходит значительное сокращение неблагополучных пунктов и очагов, а также уменьшается доля инфицированных животных. При этом результативность противолейкозных мероприятий варьирует в зависимости от формы собственности хозяйства и производственной культуры предприятия. В высокотехнологичных племенных хозяйствах Краснодарского края наблюдается позитивная динамика при ликвидации лейкоза в племенных хозяйствах,

где не выявляют новых случаев инфекции и сокращается доля серопозитивных животных. В индивидуальном секторе напротив идет постоянный рост инфицированных животных, что осложняет оздоровление поголовья региона [15].

В сельскохозяйственных предприятиях и хозяйствах республики Дагестан обратная тенденция. Инфицированность скота в общественных и индивидуальных хозяйствах составила 3,3 и 0,7% соответственно. В общественных хозяйствах не удается организовать и качественно выполнять мероприятия, позволяющие освободить поголовье скота от вируса лейкоза, что ведет к росту числа инфицированных животных. Основными причинами неэффективности оздоровительных мероприятий представлены в бесконтрольном контакте инфицированных и здоровых животных во время доения и кормления животных, а также несоблюдение мер асептики и антисептики при массовых ветеринарных мероприятиях. В Дагестане большая часть крупного рогатого скота сосредоточена в частных владениях, где ситуация по лейкозу наиболее благоприятна [16].

В Тюменской области промышленные животноводческие комплексы полностью свободны от лейкоза крупного рогатого скота, что указывает на высокий уровень менеджмента на производстве и эффективные профилактические меры. При этом, небольшие сельхозпредприятия до настоящего времени не смогли на достаточном уровне организовать свою работу и оздоровить поголовье [17].

Для искоренения или вируса лейкоза среди крупного рогатого скота, или лейкоза крупного рогатого скота существует несколько тактик. Одним из способов является полная ликвидация вируса, основанная на выявлении инфицированных животных с использованием гематологических, серологических или молекулярно -генетических методов, немедленной выбраковке и убое серопозитивных особей. Такой подход требует значительных финансовых затрат, поэтому чаще всего применяется в странах с низким уровнем инфицированности или там, где государство стремится полностью искоренить заболевание. Данный метод позволил большинству стран Европейского Союза добиться статуса благополучных территорий, за исключением Италии, Сербии, Болгарии, Литвы, Латвии, Польши и Греции [18, 19].

В странах с высокой распространённостью лейкоза, где массовая выбраковка экономически нецелесообразна, используется метод изоляции инфицированных животных. Этот подход основан на регулярном тестировании, выявлении заражённых особей и их отделении от здорового поголовья. Выбраковке подлежат только животные с гематологическими признаками заболевания. Такая стратегия позволяет постепенно снижать распространённость инфекции, не нанося серьёзного ущерба экономике животноводства. Данный метод применяется в США, Канаде, Бразилии, Японии и Китае. Несмотря на сложную эпизоотическую ситуацию по лейкозу крупного рогатого скота в РФ предпринимаются эффективные шаги по снижению инфицированности и заболеваемости восприимчивых животных [18, 19].

В Тюменском регионе лейкоз крупного рогатого скота впервые диагностировали в 1968 году [20]. Несмотря на ощутимый прогресс в борьбе с этим заболеванием, полная ликвидация лейкоза до сих пор не достигнута [21].

Широкое распространение лейкоза среди крупного рогатого скота несет значительную угрозу рентабельности скотоводства, что связано с регламентом оздоровления неблагополучных предприятий, предусматривающим полную замену инфицированного поголовья на здоровых животных [21]. Для эффективного и скорейшего оздоровления от лейкоза поголовья крупного рогатого скота необходима гибкая система, позволяющая учитывать особенности организации и управления производством предприятий и хозяйств различного масштаба.

Применение систем содержания животных во многом оказывает влияние на

экономические показатели хозяйств. С одно стороны выпас животных позволяет сэкономить на кормах и провести в этот период ремонтные и профилактические мероприятия в скотоводческих помещениях, а с другой при пастьбе увеличиваются риски травматизма, отравлений и возникновения трансмиссивных инфекций, и инвазий.

Большинство индустриальных предприятий предпочитают использовать стойловое содержание скота в теплое время года, чтобы избежать контакта с переносчиками вирусов, бактерий и паразитов [22, 23].

Поскольку крупные животноводческие комплексы в основном используют безвыгульное содержание, а небольшие хозяйства, наоборот, выпасают скот, возникло предположение о возможности распространения вируса лейкоза через членистоногих [23]. Учитывая широкое распространение кровососущих насекомых и клещей в России в теплое время года, нельзя исключать их роль в передаче инфекционных заболеваний, в том числе и лейкоза КРС.

Цель исследования – провести мониторинг распространения лейкоза крупного рогатого скота в Тюменской области.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи: проанализировать течение эпизоотического процесса по лейкозу крупного рогатого скота в Тюменской области с разбивкой с учетом природно-климатических факторов; выявить преобладающие формы собственности животноводческих хозяйств, в которых зарегистрированы случаи лейкоза, а также оценить степень инфицированности поголовья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHOD S

Анализ эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота был выполнен на базе данных ветеринарной отчетности за 2024 год. Исследования по определению инфицированности крупного рогатого скота проводили Тюменской областной ветеринарной лаборатории серологическим методом, применяя реакцию иммунной диффузии (РИД). Обследовали скот черно-пестрой породы голштинизированный, разводимый на территории региона в течение нескольких поколений. Полученные сведения сопоставлялись с климатогеографическими особенностями и формами собственности хозяйств, где содержится инфицированный скот.

Для выявления влияния факторов окружающей среды на возникновение лейкоза, были изучены неблагополучные сельскохозяйственные предприятия, личные подсобные и крестьянско-фермерские хозяйства во всех муниципальных районах и округах Тюменской области, которые расположены в лесостепной (северная и южная подзоны) и таежно-лесной зоне (подтайга). Эпизоотическую ситуацию по лейкозу определяли на основании результатов серологических и молекулярно-генетических исследований крупного рогатого скота на выявления вируса лейкоза и антител к нему, проведенные в аккредитованной областной ветеринарной лаборатории на сертифицированном оборудовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Анализ эпизоотической ситуации по вирусному лейкозу крупного рогатого скота в России показал, освобождение территории страны идет достаточно динамично. Так, ежегодно уменьшается число регионов, неблагополучных по лейкозу. В 2023 году неблагополучными являлись пятьдесят четыре субъекта, а в 2024 году циркуляция вируса зарегистрирована в тридцати девяти [24]. Внутри неблагополучных субъектов ежегодно снижается число гематологически больных животных. Отмечено, что в период с 2015 по 2024 год общее количество ежегодно регистрируемых случаев клинически больных животных снизилось на 84 % – с тридцати четырёх тысяч до восьми с половиной тысяч, при среднем ежегодном снижении на 9,6 % (Рисунок 1) [24]. Тюменская область входит в число неблагополучных по инфекционному лейкозу крупного рогатого скота.



Рисунок 1 – Ретроспективный анализ заболеваемости лейкозом крупного рогатого скота в РФ 2015 – 2024 гг. (число случаев/заболевших животных) [24].

В Тюменской области насчитывается четыре городских округа, два муниципальных округа и двадцать муниципальных районов. Среди видов сельскохозяйственных животных основными являются свиньи и крупный рогатый скот. Свиноводческие предприятия в основном закрытого типа, где поголовье свиней концентрируется на трех крупных комплексах. В отличие от свиноводства, которое в силу многих факторов является наиболее уязвимой отраслью, скотоводство имеет более широкую сеть сельскохозяйственных предприятий и представлено во всех муниципальных округах, и районах области. Поголовье крупного рогатого скота имеют стабильные показатели, варьирующие в пределах 178 – 240 тысяч голов за последние десять лет. При этом существуют предпосылки к увеличению численности крупного рогатого скота, так как природные ресурсы региона позволяли в советское время содержать более восьмиста тысяч голов. Наращивание мощностей по производству продукции скотоводства необходимо сочетать с биологической безопасностью отрасли, что в первую очередь требует освобождения от эндемичных инфекций и инвазий, и защиты от заноса новых возбудителей. Наиболее остро стоит вопрос об освобождении региона от носителей вируса лейкоза. Тем более, что соседние регионы – Свердловская область и Ханты-Мансийский автономный округ являются благополучными по этому заболеванию, что ставит приоритетную задачу для ветеринарной службы добиться оздоровления от лейкоза. Получение статуса свободного от лейкоза региона позволит не только повысить экономические связи с регионами страны, но увеличить экспортный потенциал, реализуя продукцию в страны ближнего и дальнего зарубежья. Кроме того, освобождение от лейкоза скажется на имидже региона, повысит чувство гордости у местного населения, и даст толчок к развитию агропромышленного комплекса, который обеспечит население качественными и безопасными продуктами питания.

Учитывая, что Тюменская область располагается в зоне критического земледелия, у аграриев всегда существуют высокие риски производства продукции. Для формирования надежной системы аграрного производства необходимы знания

уязвимых и сильных сторон, учитывать специализацию сельхозпроизводства на конкретной территории. Не менее важным является создание системы самообеспеченности граждан и возможность создания субъектов малого и среднего бизнеса на сельских территориях, которые являются основой экономики муниципалитетов. Прежде чем направлять ресурсы на создание новых предприятий и хозяйств необходимо проведение мониторинговых исследований, которые послужат основанием для принятия управленческих решений.

Исследование эпизоотической обстановки по лейкозу крупного рогатого скота выявило, что наиболее широкое распространение вируса лейкоза среди крупного рогатого скота в подзоне северной лесостепи, где эпизоотический процесс протекает с высокой интенсивностью и охватывает наибольшее число неблагополучных пунктов и очагов (рисунок 2 и 3). Особе значение имеет то, что именно в этой подзоне сконцентрировано основное поголовье скота в Тюменской области. Несмотря на то, что освободиться от вирусоносителей до настоящего времени не удалось, имеются значительные успехи в борьбе с лейкозом. Так, в 2024 году в муниципалитетах, расположенных в подзоне северной лесостепи, количество неблагополучных пунктов уменьшилось на 19,4%, а число неблагополучных очагов сократилось на 25,3%. Планомерная замена поголовья позволила освободить 52 неблагополучных пункта и ликвидировать 154 неблагополучных очага. При этом не удалось предотвратить появление новых 20 неблагополучных пунктов и 42 неблагополучных очагов.

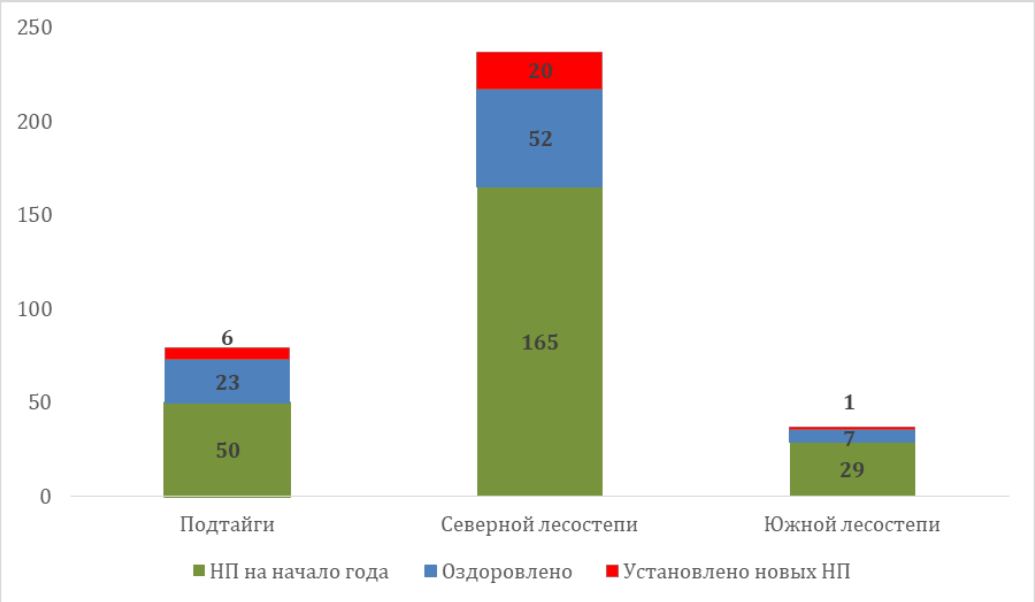


Рисунок 2 – Динамика оздоровления неблагополучных пунктов (НП) от лейкоза крупного рогатого скота в природно-климатических подзонах Тюменской области.

В подтайге и южной лесостепи отмечено наименее интенсивное течение эпизоотического процесса по лейкозу крупного рогатого скота. Оздоровительные мероприятия обладают высокой результативностью. В подзоне подтайги, где расположены самые северные муниципалитеты с относительно небольшим поголовьем, встречаются абсолютно здоровые популяции скота, например, в Вагайском

и Уватском районах. К концу года оздоровлен скот в Тобольском районе. В подтайге эффективность оздоровления особенно заметна: число неблагополучных пунктов сократилось на 34%, а очагов – на 40,3%.

В южной лесостепи также наблюдается положительная динамика в борьбе с лейкозом крупного рогатого скота. В муниципальных районах этой подзоны число неблагополучных пунктов по лейкозу снизилось на 20,7%, а число неблагополучных очагов уменьшилось на 37,2% в течение 2024 года.

Проводимые противолейкозные мероприятия обладают высокой эффективностью, тем не менее постоянно выявляются новые неблагополучные очаги и пункты, что вызывает обеспокоенность и требует дополнительных детальных исследований причин их возникновения каждого отдельного случая.

Для понимания картины распространения лейкоза крупного рогатого скота необходимо учитывать плотность популяции инфицированных животных, анализ вероятности влияния экологических факторов, в том числе культуру производства на предприятиях и хозяйствах различных форм собственности. Так как наибольшее количество животных сосредоточено в крупных предприятиях, первоочередной задачей явилось выяснить роль индустриальных комплексов в поддержании неблагополучия по лейкозу крупного рогатого скота. Инфицированность скота вирусом лейкоза в сельскохозяйственных предприятиях с распределением по физико-географическим подзонам в муниципальных округах и районах Тюменской области за 2024 года с учетом формы собственности хозяйств представлены в таблице 1.

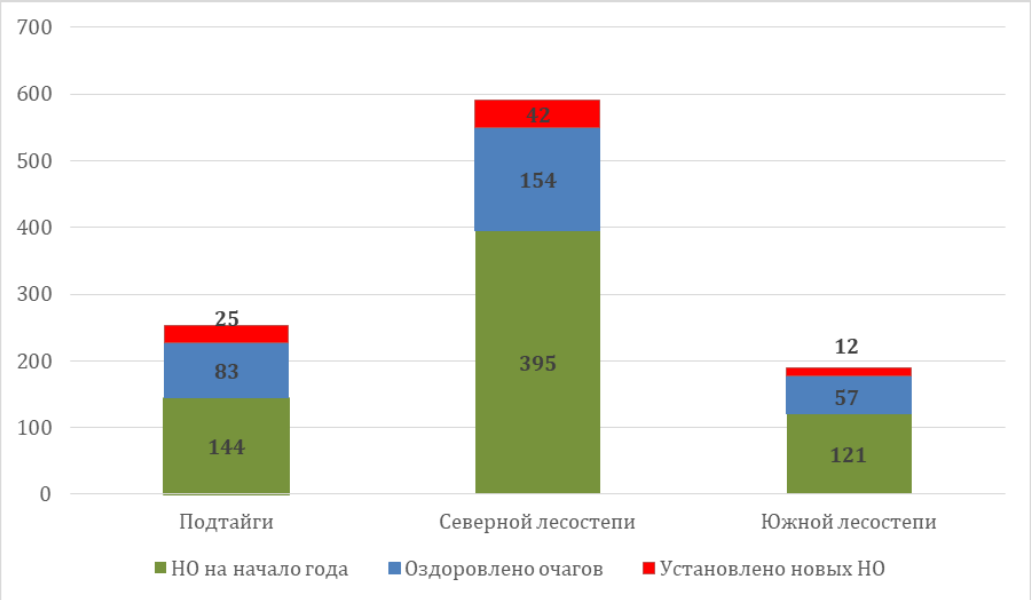


Рисунок 3 – Динамика оздоровления неблагополучных очагов (НО) от лейкоза крупного рогатого скота в природно-климатических подзонах Тюменской области.

Исследования показали, что крупные скотоводческие комплексы Тюменской области демонстрируют минимальное распространение инфицированных вирусом лейкоза животных. Наибольшая доля серопозитивного скота зарегистрирована в подтаежной зоне Сорокинского и Викуловского районов, где вирусом поражены

309 голов скота, что составляет 6,98% от общего поголовья в неблагополучных хозяйствах. Анализ серологических исследований выявил пиковый уровень инфицирования в Сорокинском районе на ферме, где из 375 животных 199 (53,01%) оказались серопозитивными.

Установлено, что скот, содержащийся в хозяйствах подзоны северной лесостепи, имеет наименьший уровень инфицированности вирусом лейкоза – 3,25%. Самые высокие показатели эпизоотического процесса зафиксированы в Абатском, Аромашевском и Ишимском районах. В Абатском районе инфицированные животные сосредоточены на двух предприятиях с уровнем заболеваемости до 24,4%. В Аромашевском районе три агрофирмы содержат зараженный скот, где инфицированность достигала 38,1%. В Ишимском районе максимальный уровень инфицирования отмечен на одной ферме небольшого предприятия, где все поголовье оказалось заражено вирусом лейкоза.

В 2024 году скотоводческие предприятия южной лесостепной подзоны продемонстрировали благополучную ситуацию по лейкозу крупного рогатого скота: в Армизонском, Бердюжском, Казанском и Сладковском районах не было обнаружено ни одного серопозитивного или больного животного.

Отмечено, что лейкоз регистрируется в основном на предприятиях, где содержится не более одной тысячи поголовья, а на крупных мегакомплексах инфицированность скота не зафиксирована.

Анализ данных серологических исследований и ветеринарной отчетности показал, что вирус лейкоза распространен на отдельных предприятиях с малой численностью поголовья. Крупные комплексы свободны от лейкоза и поддерживают высокую культуру производства. Негативная ситуация в небольших комплексах указывает на неэффективную систему менеджмента и низкий уровень ответственности, что в перспективе может привести к ликвидации таких предприятий и оздоровление от лейкоза будет одним из поводов закрытия хозяйств.

Анализ инфицированности лейкозом крупного рогатого скота в частных подворьях установил, что животные, разводимые частными лицами, оказались также подвержены инфекции во всех природно-географических зонах, со средним показателем инфицирования 5,54% (таблица 2). В подзоне подтайги минимальный уровень заражения наблюдался в Нижнетавдинском районе (3,76%), в то время как в Сорокинском, Юргинском и Ярковском районах этот показатель колебался от 7,77% до 8,73%.

Таблица 1 – Инфицированность вирусом лейкоза крупного рогатого скота, содержащегося в сельскохозяйственных предприятиях в Тюменской области

Подзона	Муниципальный район, округ	Сельскохозяйственные предприятия		
		Всего голов в неблагополучных хозяйствах	Из них инфицировано восприимчивых, голов	Инфицированность, %
Подтайги	Викуловский	1406	67	4,77
	Сорокинский	3022	242	8,01
ИТОГО по подзоне		**4428**	**309**	**6,98±1,62**
Северной лесостепи	Абатский	1477	264	17,87
	Аромашевский	1290	222	17,21
	Голышмановский	15160	145	0,96
	Исетский	11871	35	0,29
	Ишимский	2997	549	18,32
	Омутинский	6220	53	0,85
ИТОГО по подзоне		**39015**	**1268**	**3,25±2,46**
ИТОГО по сельхозпредприятиям		**43443**	**1577**	**3,63±2,95**

В северной лесостепи лейкоз был выявлен у частного скота во всех муниципалитетах, где было зарегистрировано наибольшее число инфицированных животных (2027 голов, или 6,87% от общего поголовья). Наиболее высокие показатели инфицирования зафиксированы в Абатском, Упоровском районах и Заводоуковском округе (от 11,02% до 17,87%).

В южной лесостепи среди частного скота отмечен наименьший уровень инфицированности (2,07%), при этом серопозитивные животные обнаруживались во всех районах. Максимальный уровень заражения зарегистрирован в Армизонском районе (4,02%), а минимальный – в Бердюжском (0,55%).

Таблица 2 – Инфицированность вирусом лейкоза крупного рогатого скота, содержащегося в личных подсобных хозяйствах в Тюменской области

Подзона	Район, округ	Личные подсобные хозяйства		
		Всего голов в неблагополучных хозяйствах	Из них инфицировано восприимчивых, голов	Инфицированность, %
Подтайги	Нижнетавдинский	1250	47	3,76
	Сорокинский	436	37	8,49
	Юргинский	355	31	8,73
	Ярковский	1956	152	7,77
	Тобольский	0	0	0
	Уватский	0	0	0
	Вагайский	0	0	0
ИТОГО по подзоне		**3997**	**267**	**6,68±1,71**
Северной лесостепи	Абатский	1477	264	17,87
	Аромашевский	1078	88	8,16
	Голышмановский	2613	259	9,91
	Заводоуковский	1040	173	16,64
	Исетский	7019	159	2,27
	Ишимский	5684	513	9,03
	Омутинский	1675	11	0,66
	Тюменский	1277	42	3,29
	Упоровский	4610	508	11,02
	Ялуторовский	3033	10	0,33
ИТОГО по подзоне		**29506**	**2027**	**6,87±5,02**
Южной лесостепи	Армизонский	3504	141	4,02
	Бердюжский	1268	7	0,55
	Казанский	5938	77	1,30
	Сладковский	1882	36	1,91
ИТОГО по подзоне		**12592**	**261**	**2,07±1,04**
ИТОГО по личным подсобным хозяйствам		**46095**	**2555**	**5,54±4,42**

Частные предприниматели, занимающиеся скотоводством, оказались наименее ответственны к выполнению требований профилактики и ликвидации лейкоза крупного рогатого скота. Так, при сравнении распространения лейкоза в хозяйствах с различной формой собственности именно в крестьянско-фермерских хозяйствах установлена наибольшая степень зараженности животных, достигая показателя 25,59% (таблица 3). В южной лесостепной подзоне доля инфицированных животных была значительно ниже и составила 8,46%. В подтайге этот показатель был зафиксирован на уровне 15,14%. Наиболее высокая распространенность инфекции отмечалась в северной лесостепи, где заражено было 39,58% поголовья.

Таблица 3 – Инфицированность вирусом лейкоза крупного рогатого скота, содержащегося в крестьянско-фермерских хозяйствах Тюменской области

Подзона	Район	Крестьянско-фермерские хозяйства		
		Всего голов в неблагополучных хозяйствах	Из них инфицировано восприимчивых, голов	Инфицированность, %
Подтайги	Нижнетавдинский	1673	234	13,99
	Юргинский	60	13	21,67
	Ярковский	189	44	23,28
	Тобольский	0	0	0
	Уватский	0	0	0
	Вагайский	0	0	0
ИТОГО по подзоне		**1922**	**291**	**15,14±3,77**
Северной лесостепи	Аромашевский	562	145	25,80
	Голышмановский	256	163	63,67
	Исетский	481	150	31,19
	Ишимский	1311	575	43,9
ИТОГО по подзоне		**2610**	**1033**	**39,58**
Южной лесостепи	Сладковский	958	81	8,46
ИТОГО по подзоне		**958**	**81**	**8,46**
ИТОГО по крестьянско-фермерским хозяйствам		**5490**	**1405**	**25,59±12,11**

В подтаёжной подзоне самые высокие показатели зараженности лейкозом скота зафиксированы в Юргинском и Ярковском районах, где инфицированность достигает 21,67% и 23,28% соответственно. Выявлены случаи, когда отдельные предприниматели содержали стада, полностью состоящие из зараженных животных.

В северной лесостепи фермерские хозяйства демонстрируют более высокие уровни инфицирования скота, колеблющиеся от 25,80% в Аромашевском районе до 63,67% в Голышмановском округе. При этом, в ряде районов и округов – Абатском, Заводоуковском, Омутинском, Тюменском, Упоровском и Ялуторовском – скот в крестьянско-фермерских хозяйствах не инфицирован вирусом лейкоза.

В южной лесостепи лейкоз крупного рогатого скота обнаружен только в одном фермерском хозяйстве Сладковского района. Доля зараженных животных составила 8,46%.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Несмотря на высокую результативность применяемых мер по борьбе с лейкозом, полного искоренения заболевания в хозяйствах Тюменской области пока не достигнуто. Анализ показал, что вирус лейкоза крупного рогатого скота не выявляли лишь в трех северных районах Тюменской области – Тобольском, Уватском и Вагайском. Наиболее сложная обстановка по лейкозу скота наблюдается в лесостепной зоне, а именно в северной лесостепи, где эпизоотический процесс протекает с высокой интенсивностью.

Отмечено, что лейкоз регистрируется в основном на предприятиях, где содержится не более одной тысячи поголовья, а на крупных мегакомплексах, таких как Тюменские молочные фермы (группа компаний Дамате), АО «Агрокомплекс маяк», ООО «ЗапСибХлеб-Исеть» и ООО «Эвика Агро» инфицированность скота не зафиксирована. Уровень зараженности крупного рогатого скота вирусом лейкоза в сельскохозяйственных предприятиях составил 3,63±2,95%. Производственный контроль на предприятиях позволяет в большей степени обеспечивать биологическую безопасность, в том числе профилактировать инфекционные болезни, что является залогом получения качественной и безопасной продукции. Негативная ситуация в малых комплексах указывает

на неэффективную систему менеджмента и низкий уровень ответственности, что в перспективе может привести к ликвидации таких предприятий.

В личных подсобных хозяйствах уровень серопозитивности крупного рогатого скота вирусом лейкозом составил 5,54±4,42%. Наивысший уровень инфцированности выявлен в крестьянско-фермерских хозяйствах– 25,59±12,11%.

Меры по ликвидации лейкоза крупного рогатого скота необходимо проводить с учетом особенности содержания животных. Учитывая активное участие крестьянских и фермерских хозяйств в распространении эпизоотий, стратегии по улучшению здоровья животных и сохранению численности крупного рогатого скота должны быть адаптированы к последним научным открытиям и практическим данным [16].

Финансирование: Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья «Изучение механизмов трансмиссивной передачи вируса лейкоза крупного рогатого скота» (регистрационный номер 1022040800309-3-4.3.1;1.6.12;1.6.14) и во всероссийском научно-исследовательском институте ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0018), а также в скотоводческих предприятиях Тюменской области.

FACTORS INFLUENCING INFECTION OF CATTLE WITH LEUKEMIA VIRUS IN THE TYUMEN REGION

Glazunov Yu.V.[1,2] – Doctor of Veterinary Sciences, Head of the Department of Infectious and Invasive Diseases (ORCID 0000-0001-6496-2450); **Zverev R.N.**[1] – Postgraduate Student of the Department of Infectious and Invasive Diseases (ORCID 0009-0004-4880-710X); **Glazunova L.A.**[1]* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Morphology, Physiology and General Pathology (ORCID 0000-0003-4050-5903).

[1]FSBEI HE «Northern Trans-Ural State Agricultural University»

[2]All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology, Branch of the Tyumen Scientific Center, Siberian Branch

* glazunovala@gausz.ru

Financing: *The research was conducted within the framework of the state assignment "Study of the mechanisms of transmission of the bovine leukemia virus" (registration number 1022040800309-3-4.3.1; 1.6.12; 1.6.14).*

ABSTRACT

The widespread prevalence of leukemia among cattle poses a significant threat to the profitability of cattle breeding, which is associated with the regulations for the recovery of unfavorable enterprises, which pro-vide for the complete replacement of infected livestock with healthy animals. In this regard, it is necessary to find out what factors affect the level of animal infection and develop mechanisms to improve the health of territories from leukemia. The purpose of the study was to study the prevalence of leukemia in cattle in the Tyumen region depending on the natural and climatic zones, taking into account the organizational and legal form of enterprises engaged in cattle breeding in various municipal areas, including large farms, and the private sector, where cases of leukemia were identified. Monitoring of the epizootic situation on bovine leukosis in Tyumen Oblast was carried out based on the results of serological and molecular genetic stud-ies of cattle for detection of the leukosis virus and antibodies to it, comparing the data with the climatic and geographic location of enterprises and their form of ownership. It was found that in Tyumen Oblast the bovine leukosis virus was not detected only in three northern regions - Tobolsk, Uvatsky and Vagaysky. The most difficult situation on cattle leukosis is observed in the subzone of the northern forest-steppe, where the epizootic process occurs with high intensity. It is noted that leukosis is

recorded mainly at enter-prises containing no more than one thousand livestock, and at large mega-complexes no infection of cattle was recorded. The level of infection of cattle with the leukosis virus in agricultural enterprises was 3.63±2.95%. In private subsidiary farms, the level of seropositivity of cattle with the leukemia virus was 5.54±4.42%. The highest level of infection was detected in peasant and farm households – 25.59±12.11%. Considering the active participation of peasant and farm households in the spread of epizootics, strategies for improving animal health and maintaining the number of cattle should be adapted to the latest scientific discoveries and practical data.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лейкоз крупного рогатого скота: учебное пособие / Ю. В. Глазунов, В. Н. Домацкий, А. А. Никонов [и др.]. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. – 120 с.
2. Донник, И. М. Лейкоз крупного рогатого скота – диагностика, оздоровление, антропозоонозный потенциал (история вопроса) (обзор) / И. М. Донник, М. И. Гулюкин, В. А. Бусол [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56. – № 2. – С. 230-244.
3. Mesa, G. Bovine leukemia virus gene segment detected in human breast tissue / G. Mesa, J. C. Ulloa, A. M. Uribe, M. F. Gutierrez // Open journal of medical microbiology. – 2013. – Vol. 3. – P. 84-90.
4. Донник, И. М., Петропавловский М.В. Лейкоз крупного рогатого скота: современный подход // Животноводство России. – 2022. – № 3. – С. 33-34.
5. Watanuki S., Takeshima S., Borjigin L., Sato H., Bai L., Murakami H., Aida Y., Visualizing bovine leukemia virus (BLV)-infected cells and measuring BLV proviral loads in the milk of BLV seropositive dams. Vet Res., 2019 Nov, Vol. 29, No. 50(1), pp. 102.
6. Кофиади, И. А. Чувствительность к вирусу лейкоза крупного рогатого скота у животных разных пород и половозрастных групп / И. А. Кофиади, И. Ю. Подречнева, П. О. Щеголев [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2020. – № 5. – С. 61-65.
7. Buehring G.C., Shen H., Schwartz D.A., Lawson J.S. Bovine leukemia virus linked to breast cancer in Australian women and identified before breast cancer development. PLoS ONE, 2017,12(6): e0179367.
8. Красникова, Е. С. Биологическая безопасность продукции животных, инфицированных вирусами энзоотического лейкоза и иммунодефицита КРС / Е. С. Красникова, О. С. Ларионова // Вестник ветеринарии. – 2014. – № 2(69). – С. 85-87.
9. Петропавловский, М. В. Особенности динамики лейкоза крупного рогатого скота в Курганской области / М. В. Петропавловский, Л. В. Халтурина // Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко. – 2018. – Т. 80, № 2. – С. 301-306.
10. Власенко, В. С. Эпизоотическое районирование территории Омской области по распространенности лейкоза крупного рогатого скота / В. С. Власенко, Е. С. Борисов, Е. А. Вишневский [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (38). – С. 131 -137.
11. Красиков, А. П. Қазақстан Республикасы Солтүстік Қазақстан облысында ІҚМ лейкозының вирусы бойынша эпизоотологиялық шолу / А. П. Красиков, А. Т. Елеусизова, С. Т. Байсеитов // 3i: Intellect, Idea, Innovation - интеллект, идея, инновация. – 2018. – No. 1-1. – P. 44-52.
12. Гулюкин, М. И., Козырева Н.Г. Распространение лейкоза крупного рогатого скота и генетические варианты возбудителя на территории животноводческих хозяйств Центрального федерального округа Российской Федерации // Ветеринария Кубани. – 2017. – № 6. – С. 4-9.
13. Донник, И. М., Петропавловский М.В. Лейкоз крупного рогатого скота: современный подход // Животноводство России. – 2022. – № 2. – С. 57-59.
14. Ликвидация лейкоза крупного рогатого скота в условиях промышленного производства / И. М. Донник, О. И. Пономарева, Р. А. Кривонос [и др.] // Ветерина-

рия Кубани. – 2021. – № 2. – С. 3-8.
15. Мустафаев, А. Р. Эпизоотическая обстановка по энзоотическому лейкозу крупного рогатого скота в общественных и индивидуальных хозяйствах Республики Дагестан / А. Р. Мустафаев // Ветеринария сегодня. – 2021. – № 2(37). – С. 144 -150.
16. Лысов, А.В. Система индивидуальных ветеринарных и зоотехнических мероприятий по оздоровлению неблагополучных хозяйств от лейкоза крупного рогатого скота на примере Тюменской области / А. В. Лысов, М. В. Петропавловский, А. С. Кривоногова, И. М. Донник // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2017. – № 3. – С. 40-43.
17. Marawan M.A. Bovine Leukaemia Virus: Current Epidemiological Circumstance and Future Prospective / Marawan MA, Alouffi A, El Tokhy S, et al. // Viruses. - 2021 Vol.13(11) doi: 10.3390/v13112167.
18. Козырева Н.Г. Мониторинг эпизоотической ситуации и применение молекулярно-генетической диагностики в оздоровительных мероприятиях при лейкозе крупного рогатого скота / Козырева Н.Г., Иванова Л.А., Степанова Т.В., Гулюкин М.И. // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – С. 47-51.
19. Глазунов, Ю. В., Кабицкая Я.А., Плотников И.В. Сравнительная оценка методов прижизненной диагностики, и эпизоотическая ситуация по лейкозу крупного рогатого скота в Тюменской области // Вестник АПК Ставрополья. – 2017. – № 2 (26). – С. 63-68.
20. Глазунов, Ю.В. Динамика эпизоотического процесса по лейкозу крупного рогатого скота в Тюменской области в период с 2007 по 2022 гг / Ю. В. Глазунов, И. В. Плотников, Р. Н. Зверев [и др.] // Мир Инноваций. - 2023. - № 4(27). - С. 3-9.
21. Валихов, А. Ф. Лейкоз крупного рогатого скота: контроль и профилактика болезни / А. Ф. Валихов. // Молочная промышленность. – 2018. – № 9. – С. 74-77.
22. Сибен, А. Н. Особенности гельминтофауны крупного рогатого скота при лейкозе в хозяйствах Тюменской области // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 1266.
23. Глазунов, Ю. В. Видовой состав и численность иксодовых клещей, нападающих на крупный рогатый скот, инфицированный вирусом лейкоза, в Тюменской области / Ю. В. Глазунов, В. Н. Домацкий, Л. А. Глазунова // АПК: инновационные технологии. - 2023. - № 4(63). - С. 26-35.
24. Аналитический ежеквартальный, с нарастающим итогом отчет по эпидситуации в стране (по данным Департамента Ветеринарии МСХ) Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://fsvps.gov.ru (дата обращения 15.02.2025).

REFERENCES

1. Bovine leukemia: a textbook / Yu. V. Glazunov, V. N. Domatsky, A. A. Nikonov [et al.]. - Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2024. - 120 p. (In Russ.)
2. Donnik, I. M. Bovine leukemia: diagnostics, treatment, anthropozoonotic potential (history of the issue) (review) / I. M. Donnik, M. I. Gulyukin, V. A. Busol [et al.] // Agricultural biology. - 2021. - Vol. 56. - No. 2. - P. 230-244. (In Russ.)
3. Mesa, G. Bovine leukemia virus gene segment detected in human breast tissue / G. Mesa, J. C. Ulloa, A. M. Uribe, M. F. Gutierrez // Open journal of medical microbiology. - 2013. - Vol. 3. - P. 84-90.
4. Donnik, I. M., Petropavlovsky M. V. Bovine leukemia: a modern approach // Animal Husbandry of Russia. - 2022. - No. 3. - P. 33 -34. (In Russ.)
5. Watanuki S., Takeshima S., Borjigin L., Sato H., Bai L., Murakami H., Aida Y., Visualizing bovine leu-kemia virus (BLV)-infected cells and measuring BLV proviral loads in the milk of BLV seropositive dams. Vet Res., 2019 Nov, Vol. 29, No. 50(1), pp. 102.
6. Kofiadi, I. A. Sensitivity to bovine leukemia virus in animals of different breeds and age and sex groups / I. A. Kofiadi, I. Yu. Podrechneva, P. O. Shchegolev [et al.] // Veterinary science, animal science and biotechnology. - 2020. - No. 5. - P. 61-65. (In

Russ.)
7. Buehring G.C., Shen H., Schwartz D.A., Lawson J.S. Bovine leukemia virus linked to breast cancer in Australian women and identified before breast cancer development. PLoS ONE, 2017,12(6): e0179367.
8. Krasnikova, E.S. Larionova O.S. Biological safety of products from animals infected with enzootic leukemia and bovine immunodeficiency viruses. Veterinary Bulletin. - 2014. - 2 (69). - 85-87. (In Russ.)
9. Petropavlovsky, M.V. Features of the dynamics of bovine leukemia in the Kurgan region / M.V. Petropavlovsky, L.V. Khalturina // Proceedings of the All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after Ya.R. Kovalenko. – 2018. – Vol. 80, No. 2. – P. 301-306. (In Russ.)
10. Vlasenko, V. S. Epizootic zoning of the Omsk region by the prevalence of bovine leukemia / V. S. Vlasenko, E. S. Borisov, E. A. Vishnevsky [et al.] // Bulletin of Omsk State Agrarian University. – 2020. – No. 2 (38). – P. 131-137. (In Russ.)
11. Krasikov, A. P. Kazakhstan Respublikasy Soltustik Kazakhstan oblysynda IKM leukozynin vi-russ boyynsha epizootology sholu / A. P. Krasikov, A. T. Eleusizova, S. T. Baiseitov // 3i: Intell25. Krasikov, A. P. Kazakhstan Respublikasy Soltustik Kazakhstan oblysynda IKM leukozynin vi-russ boyynsha epizootologylyk sholu / A. P. Krasikov, A. T. Eleusizova, S. T. Baiseitov // 3i: Intellect, Idea, Innovation - intelligence, idea, innovation. – 2018. – No. 1-1. – P. 44-52. (In Russ.)
12. Gulyukin, M. I., Kozyreva N. G. Spread of bovine leukemia and genetic variants of the pathogen on the territory of livestock farms in the Central Federal District of the Russian Federation // Veterinary Science of Kuban. – 2017. – No. 6. – P. 4–9. (In Russ.)
13. Donnik, I. M., Petropavlovsky M. V. Bovine leukemia: a modern approach // Animal husbandry of Russia. - 2022. - No. 2. - P. 57-59. (In Russ.)
14. Elimination of cattle leukemia in industrial production / I. M. Donnik, O. I. Ponomareva, R. A. Krivonos [et al.] // Veterinary science of Kuban. – 2021. – No. 2. – P. 3-8. (In Russ.)
16. Mustafayev, A. R. Epizootic situation for enzootic bovine leukemia in public and individual farms of the Republic of Dagestan / A. R. Mustafayev // Veterinary science today. – 2021. – No. 2 (37). – P. 144-150. (In Russ.)
15. Lysov, A. V. The system of individual veterinary and zootechnical measures to improve the health of farms affected by bovine leukemia using the example of the Tyumen region / A. V. Lysov, M. V. Petropavlovsky, A. S. Krivonogova, I. M. Donnik // Issues of legal regulation in veterinary medicine. – 2017. – No. 3. – P. 40-43. (In Russ.)
16. Marawan MA, Alouffi A, El Tokhy S, Badawy S, Shirani I, Dawood A, Guo A, Almutairi MM, Alshammari FA, Selim A. Bovine Leukaemia Virus: Current Epidemiological Circumstance and Future Prospective. Viruses. 2021 Oct 27;13(11):2167. doi: 10.3390/v13112167. PMID: 34834973; PMCID: PMC8618541.
17. Kozyreva N.G. Monitoring the epizootic situation and the use of molecular genetic diagnostics in health measures for bovine leukemia / Kozyreva N.G., Ivanova L.A., Stepanova T.V., Gulyukin M.I. // Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. - 2014. - P. 47-51. (In Russ.)
18. Glazunov, Yu. V., Kabitskaya Ya. A., Plotnikov I. V. Comparative assessment of methods of intravital diagnostics and the epizootic situation of bovine leukemia in the Tyumen region // Bulletin of the APK of Stavropol. - 2017. - No. 2 (26). - P. 63-68. (In Russ.)
19. Glazunov, Yu. V. Dynamics of the epizootic process of bovine leukemia in the Tyumen region in the period from 2007 to 2022 / Yu. V. Glazunov, I. V. Plotnikov, R. N. Zverev [et al.] // World of Innovations. - 2023. - No. 4 (27). - P. 3-9. (In Russ.)
20. Valikhov, A. F. Bovine leukemia: control and prevention of the disease / A. F. Valikhov. // Dairy industry. - 2018. - No. 9. - P. 74-77. (In Russ.)
21. Oskolskaya, V. Yu. Detection of the causative agent of bovine leukemia // Current issues in agricultural biology. - 2018. -

No. 4 (10). - P. 129-133. (In Russ.)
22. Siben, A. N. Features of the helminth fauna of cattle with leukemia in farms of the Tyumen region // Modern problems of science and education. - 2015. - No. 1. - P. 1266. (In Russ.)
23. Glazunov, Yu. V. Species composition and number of ixodid ticks attacking cattle infected with the leukemia virus in the Tyumen region / Yu. V. Glazunov, V. N. Domatsky, L. A. Glazunova // AIC: innovative technologies. - 2023. - No. 4 (63). - P. 26-35. (In Russ.)
24. Analytical quarterly report with a cumulative total on the epidemiological situation in the country (according to the Department of Veterinary Science of the Ministry of Agriculture) Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance [Electronic resource]. - Access mode: URL: https://fsvps.gov.ru (date of access 02/15/2025). (In Russ.)

УДК: 615.31:546.57:579.262
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.63

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЛОИДНОГО СЕРЕБРА ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ БИОПЛЁНКИ У ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БРОНХОПНЕВМОНИИ ТЕЛЯТ

Киянчук М.В.* – асп. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии, асс. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0009-0006-2884-9630); **Борисова М.С.** – канд. ветеринар. наук, асс. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0001-9726-6339); **Сухинин А.А. -** д-р биол. наук, проф., зав. каф. микробиологии, вирусологии и иммунологии (ORCID 0000-0002-1245-3440)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* kiyanchuk.margosha@yandex.ru

Ключевые слова: *бронхопневмония, биоплёнка, коллоидное серебро, спектрофотомерия*
Key words: *bronchopneumonia, biofilm, colloidal silver, spectrophotometry*

Поступила: 06.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Микроорганизмы, способные образовывать биоплёнку, значительно устойчивы к воздействию антибиотиков и бактериофагов. Болезни крупного рогатого скота, вызванные биоплёнкообразующими возбудителями, представляют собой серьёзную проблему для скотоводства, поскольку наличие биоплёнки затрудняет применение имеющихся лечебных препаратов. Кроме того, из-за различий в концентрации антибиотиков в биопленке микробные клетки часто подвергаются воздействию концентраций ниже ингибирующих и могут выработать устойчивость. Глобальный рост устойчивости к противомикробным и химиотерапевтическим препаратам представляет собой серьёзную проблему в скотоводстве. Матрица внеклеточных полимерных веществ внутри биоплёнок может физически препятствовать проникновению антибиотиков и бактериофагов, что так же способствует выживанию и распространению бактерий с множественной лекарственной резистентностью среди сельскохозяйственных животных. Поэтому необходим поиск эффективных методов для борьбы с микроорганизмами, образующими биоплёнку. Наночастицы серебра (Ag) хорошо известны своим бактерицидным действием и способностью снижать синтез бактериальных биоплёнок. Поэтому коллоидное серебро, состоящее из наночастиц серебра, является привлекательным дополнением к имеющимся лечебно-профилактическим мероприятиям в животноводстве. В ходе проведённого исследования нами оценена интенсивность биоплёнкообразования возбудителей бронхопневмонии телят (*Escherichia coli* (n=30), *Klebsiella pneumoniae* (n=10), *Proteus mirabilis* (n=15), *Proteus vulgaris* (n=10), *Pseudomonas aeruginosa* (n=7), *Moraxella bovoculi* (n=5),

Mannheimia haemolytica (n=6)) спектрофотометрическим методом в условиях отсутствия ингибиторов и при внесении коллоидного серебра. Полученные результаты демонстрируют потенциальную возможность включения коллоидного серебра в комплекс лечебно-профилактических мероприятий для борьбы с возбудителями бронхопневмонии молодняка крупного рогатого скота, способными образовывать биоплёнку.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Бронхопневмония инфекционной этиологии регистрируется у 20 – 25% телят, содержащихся в животноводческих комплексах. Животные всех возрастов могут быть подвержены заболеванию, но наиболее восприимчивы животные до года [16, 22]. Поэтому решению данной проблемы животноводства посвящено значительное количество научных публикаций, которые демонстрируют, что этиология и патогенез респираторной болезни крупного рогатого скота сложны и включают взаимодействие инфекционных агентов, условий содержания и факторов окружающей среды. Известны различные лечебные препараты для лечения бронхопневмонии, к которым относят прежде всего антибактериальные препараты (антибиотики). Согласно литературным данным при диагностировании бронхопневмонии у молодняка крупного рогатого скота в схему лечебных мероприятий включают: канамицина сульфат (300 тыс.ед.), цефотаксим (200 ед.), гентамицина сульфат (300 тыс.ед.), бензилпенициллин (500 тыс.ед.), тилдипирозин (4 мг/кг)[21,22]. Надо заметить, что в связи с нарастающей антибиотикорезистентностью возбудителей инфекционных болезней возрождается интерес к фаготерапии [13, 24]. Однако несмотря на обилие имеющихся лекарственных препаратов, применение их ограничено способностью возбудителей образовывать биоплёнку, что снижает эффективность проводимой терапии [17]. Кроме того, из-за различий в концентрации антибиотиков в биопленке микробные клетки часто подвергаются воздействию концентраций ниже ингибирующих и могут выработать устойчивость. Резистентность может быть связана с наличием в биоплёнках персистирующих форм бактерий и с фильтрующей способностью внеклеточного матрикса [2, 23]. О значимости изучения биоплёнкообразования говорит то, что 65-80% всех инфекционных болезней ассоциированы с способностью возбудителей синтезировать биоплёнку [3].

Для достижения возбудителя антибиотикам или бактериофагам необходимо диффундировать через матрикса биоплёнки, чтобы инактивировать заключённые в ней клетки. Внеклеточные полимерные вещества, составляющие этот матрикс, представляют собой диффузионный барьер, влияя либо на скорость переноса антибиотика или бактериофага внутрь биоплёнки, либо на реакцию антимикробного вещества с материалом матрикса [3]. Свойства биопленки определяются прежде всего внеклеточными полимерными веществами (EPS), которые окружают клетки и скрепляют их [10]. Suci et al. доказали, что ципрофлоксацин замедленно проникает в биоплёнки, образованные *Pseudomonas aeruginosa* [11]. Существует мнение, что устойчивость к антибиотикам обусловлена изменением в скорости роста бактерий. Микробы, связанные с биоплёнками, растут значительно медленнее, чем планктонные клетки, и, как следствие, медленнее поглощают противомикробные препараты. Evans et al. показали, что *Escherichia coli* в биоплёнке, то есть, где зафиксирован замедленный рост бактерий, наиболее устойчивы к цетримиду [4].

Биоплёнка является результатом скоординированного поведения бактерий, при котором отдельные клетки объединяются в сложные сообщества, заключённые в матрикс [12]. В биопленках имеет место клеточная и пространственная неоднородность, которая возникает, когда клетки дифференцируются в ответ на воздействие факторов окружающей среды [5]. Adams et al. и Tresse et al. обнаружили, что процесс образования биоплёнки у *E. coli* стимулируется нехваткой питательных веществ, накоплением токсичных

метаболитов и недостаточным количеством кислорода. Это характерно и для других грамотрицательных бактерий [1,13]. Антибиотики природного происхождения в субподавляющих концентрациях могут влиять на образование биоплёнок у соседних микробов.

Коллоидное серебро является перспективным средством для борьбы с биоплёнкой возбудителей инфекционных болезней, в том числе бронхопневмонии. Наночастицы серебра (AgNPs) хорошо известны своим бактерицидным действием. По данным Limayem et al. обработка коллоидным серебром снижает интенсивность образования биоплёнки на 78,09%–95,20% у *E. faecium* [7] Известен эффективный способ для борьбы с биоплёнкой *Staphylococcus aureus* препаратом на основе наночастиц серебра [19].

Исходя из обширных литературных данных способность возбудителей инфекционных болезней образовывать биоплёнку является значительной проблемой в скотоводстве. Матрица внеклеточных полимерных веществ внутри биоплёнок может физически препятствовать проникновению антибиотиков и бактериофагов, что так же способствует выживанию и распространению бактерий с множественной лекарственной резистентностью среди сельскохозяйственных животных [16]. Поэтому необходим поиск эффективных методов для борьбы с микроорганизмами, образующими биоплёнку.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Оценку биоплёнкообразования проводили у выделенных от телят чёрно-пёстрой и йоркширской породы с клиническими признаками бронхопневмонии: *Escherichia coli* (n=30), *Klebsiella pneumoniae* (n=10), *Proteus mirabilis* (n=15), *Proteus vulgaris* (n=10), *Pseudomonas aeruginosa* (n=7), *Moraxella bovoculi* (n=5), *Mannheimia haemolytica* (n=6).

Оценку биоплёнкообразования у изолятов проводили при помощи спектрофотометрического метода с использованием кристаллического фиолетового (Crystal Violet Assay) по методике, предложенной O'Toole (G.A. O'Toole et al., 1998) [7,16]. Измерения проводили на спектрофотометре КФК-3-01 при длине волны 570 нм.

Культивирование чистых культур возбудителей проводили с применением различных коммерческих питательных сред: ПЖА, МПБ (ФБУН ГНЦ ПМБ «Оболенск»). Для оценки интенсивности образования биоплёнки инкубирование возбудителей осуществляли в пробирках типа «Эппендорф» при 37,0℃ ±0,5℃ в различные временные промежутки. С целью удаления свободных клеток проводили трёхкратное промывание пробирок 1,0 мл физиологического раствора (0,9% NaCl). Окрашивание проводили 0,3% раствором кристаллического фиолетового ($C_{25}H_{30}N_3Cl$) при 25,0℃ ±0,5℃ в течение 15 минут. Остатки красителя смывали дистиллированной водой. Затем проводили растворение биоплёнки 2,0 мл 95% этанола и инкубировали при 25,0℃ ±0,5℃ в течение 30 минут. При измерении оптической плотности на спектрофотометре КФК-3-01 при длине волны 570 нм осуществляли три параллельных измерения с каждым образцом.

Для оценки способности коллоидного серебра (ФС.3.6.0042) ингибировать рост биоплёнки микробов 20 мкл серебра вносили в пробирки, в которых инкубировали возбудителей бронхопневмонии через 72 ч инкубирования при 37,0℃ ±0,5℃.

Статистическую обработку полученного цифрового материала проводили с использованием метода вариационной статистики и применением критерия погрешности по Стьюденту и критерию Манна-Уитни (U test) в программном обеспечении Microsoft 365 (Office 365).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе исследования биоплёнкообразования in vitro через 24 ч инкубирования чистых культур *Klebsiella pneumoniae, Escherichia coli, Proteus mirabilis* (рис.1), *Proteus vulgaris, Pseudomonas aeruginosa* (рис.2), *Moraxella bovoculi, Mannheimia haemolytica* нами была определена доля (%) изолятов имеющих тенденцию к биоплёнкообразованию, что продемонстрировано в таблице 1.

Таблица 1 – Доля изолятов возбудителей бронхопневмонии телят, образующих биоплёнку in vitro

Микроорганизм	Биоплёнкообразование (%)
Escherichia coli	61,3
Klebsiella pneumoniae	100
Proteus mirabilis	75,4
Proteus vulgaris	68,9
Pseudomonas aeruginosa	90,2
Moraxella bovoculi	100
Mannheimia haemolytica	48,4

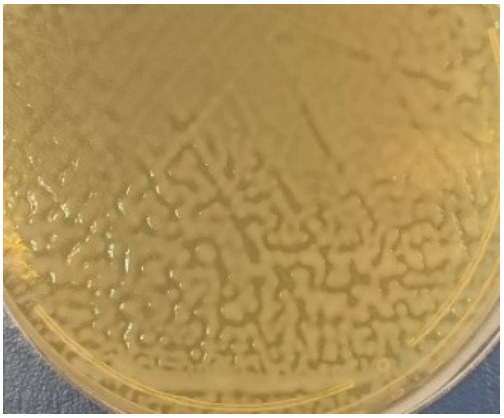


Рисунок 1 – Рост Proteus mirabilis на МПА через 24±2ч инкубирования при 37,0±0,5°С.

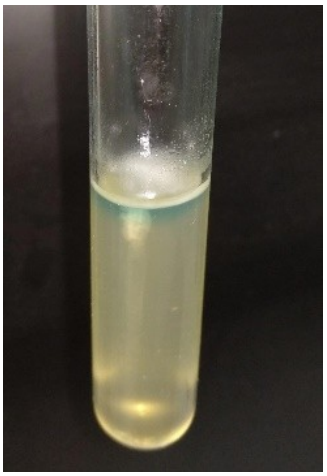


Рисунок 2 – Рост Pseudomonas aeruginosa на ПЖА через 48 ±2ч инкубирования при 37,0±0,5°С.

Наибольшее внимание на себя обращают возбудители входящие в ESCAPE, а именно *Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Proteus mirabilis, Proteus vulgaris* поскольку для них характерна высокая устойчивостью к большинству применяемых антибактериальных препаратов [18]. Помимо прочего способность к синтезу биоплёнки является важным фактором вирулентности, обуславливающим тяжесть болезни.

Коллоидное серебро, включающие в себя наночастицы серебра, является эффективным ингибитором синтеза биоплёнок у возбудителей бронхопневмонии молодняка крупного рогатого скота, что подтверждено результатами нашего исследования и отражено в таблице 2.

Результаты демонстрируют снижение тенденции к образованию биоплёнок у возбудителей бронхопневмонии молодняка крупного рогатого скота in vitro, что свидетельствует о потенциальной возможности включения коллоидного серебра в комплекс лечебно-профилактических мероприятий при болезнях респираторной системы животных, ассоциированных с биоплёнкоообразующими микробами. Способность коллоидного серебра разрушать биоплёнку обусловлена его способностью проникать в внеклеточный матрикс и разрушать его структуру и нарушать механизмы кворум-сенсинга (quorum sensing), которые бактерии используют для координации своей активности и формирования биоплёнки. Это предотвращает дальнейшее развитие и укрепление биоплёнки [6, 8].

Таблица 2 – интенсивность биоплёнкообразования (OD) микроорганизмов, изолированных от телят с признаками бронхопневмонии до внесения коллоидного серебра и после внесения коллоидного серебра

Микроорганизм	Время инкубирования (ч)	Значение OD* без внесения серебра	Значение OD при внесении серебра
Klebsiella pneumoniae	72	0,56±0,01	0,12±0,06**
Escherichia coli	72	0,46±0,03	0,16±0,05**
Proteus mirabilis	72	0,71±0,09	0,22±0,03**
Proteus vulgaris	72	0,65±0,01	0,14±0,07**
Pseudomonas aeruginosa	72	0,54±0,05	0,17±0,01**
Moraxella bovoculi	72	0,27±0,01	0,03±0,08**
Mannheimia haemolytica	72	0,22±0,06	0,01±0,01**

* OD (optical density) — общепринятая единица измерения оптической плотности.
**достоверность P1≤0,05.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Внесение коллоидного серебра позволяет значительно снизить интенсивность биоплёнкообразования возбудителей бронхопневмонии телят: *Klebsiella pneumoniae* – на 78,6%, *Escherichia coli* – на 65,2%, *Proteus mirabilis* – на 69,1%, *Proteus vulgaris* – на 78,5%, *Pseudomonas aeruginosa* – на 68,5%, *Moraxella bovoculi* – на 88,9%, *Mannheimia haemolytica* – на 95,4%. Данная способность серебра обусловлена его способностью проникать в внеклеточный матрикс и разрушать его структуру и нарушать механизмы межбактериального взаимодействия, которое бактерии используют для координации своей активности и формирования биоплёнки. Полученные результаты демонстрируют потенциальную возможность включения коллоидного серебра в комплекс лечебно-профилактических мероприятий для борьбы с возбудителями бронхопневмонии молодняка крупного рогатого скота, способными образовывать биоплёнку. Матрица внеклеточных полимерных веществ внутри биопленок может физически препятствовать проникновению антибиотиков и бактериофагов, значит разрушение её посредством коллоидного серебра позволит повысить эффективность проводимых лечебных мероприятий с применением антибиотиков и бактериофагов.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF COLLOIDAL SILVER IN INHIBITING THE FORMATION OF BIOFILMS IN PATHOGENS CAUSING BRONCHOPNEUMONIA IN CALVES

Kiyanchuk M.V.* – Postgraduate student of the Department Microbiology, Virology and Immunology, assistant of the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID:0009-0006-2884-9630); **Borisova M.S.** – assistant of the Department Microbiology, Virology and Immunology, Ph.D. of Veterinary Sciences; **Sukhinin A.A.** – Grand PhD in Biology, Full Professor, Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology (ORCID:0000-0002-1245-3440)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* kiyanchuk.margosha@yandex.ru

ABSTRACT

Microorganisms capable of forming biofilms are significantly resistant to antibiotics and bacteriophages. Cattle diseases caused by biofilm-forming pathogens are a serious problem for livestock production, since the presence of biofilm complicates the use of available therapeutic drugs. In addition, due to differences in antibiotic concentrations in biofilms, microbial cells are often exposed to concentrations below

inhibitory concentrations and can develop resistance. The global increase in resistance to antimicrobial and chemotherapeutic drugs is a serious problem in livestock production. The matrix of extracellular polymeric substances within biofilms can physically impede the penetration of antibiotics and bacteriophages, which also contributes to the survival and spread of multidrug-resistant bacteria among farm animals. Therefore, it is necessary to find effective methods to combat biofilm-forming microorganisms. Silver nanoparticles (Ag) are well known for their bactericidal action and ability to reduce the synthesis of bacterial biofilms. Therefore, colloidal silver consisting of silver nanoparticles is an attractive addition to existing therapeutic and preventive measures in animal husbandry. In the course of the study, we assessed the intensity of biofilm formation of causative agents of calf bronchopneumonia (Escherichia coli (n = 30), Klebsiella pneumoniae (n = 10), Proteus mirabilis (n = 15), Proteus vulgaris (n = 10), Pseudomonas aeruginosa (n = 7), Moraxella bovoculi (n = 5), Mannheimia haemolytica (n = 6)) using the spectrophotometric method in the absence of inhibitors and with the introduction of colloidal silver. The obtained results demonstrate the potential possibility of including colloidal silver in a complex of therapeutic and preventive measures to combat pathogens of bronchopneumonia in young cattle that are capable of forming a biofilm.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Adams, J L, and R J McLean. “Impact of rpoS deletion on Escherichia coli biofilms.” Applied and environmental microbiology vol. 65,9 (1999): 4285-7. doi:10.1128/AEM.65.9.4285-4287.1999

2. Algburi A, Comito N, Kashtanov D, Dicks LMT, Chikindas ML. Control of Biofilm Formation: Antibiotics and Beyond. Appl Environ Microbiol. 2017 Jan 17;83(3):e02508-16. doi: 10.1128/AEM.02508-16. Erratum in: Appl Environ Microbiol. 2017 Mar 2;83(6):e00165-17. doi: 10.1128/AEM.00165-17. PMID: 27864170; PMCID: PMC5244297.

3. Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Clin Microbiol Rev. 2002 Apr;15(2):167-93. doi: 10.1128/CMR.15.2.167-193.2002. PMID: 11932229; PMCID: PMC118068.

4. Evans DJ, Allison DG, Brown MR, Gilbert P. Effect of growth-rate on resistance of gram-negative biofilms to cetrimide. J Antimicrob Chemother. 1990 Oct;26(4):473-8. doi: 10.1093/jac/26.4.473. PMID: 2254220.

5. Flemming HC, Wingender J, Szewzyk U, Steinberg P, Rice SA, Kjelleberg S. Biofilms: an emergent form of bacterial life. Nat Rev Microbiol. 2016 Aug 11;14(9):563-75. doi: 10.1038/nrmicro.2016.94. PMID: 27510863.

6. Kalishwaralal K, BarathManiKanth S, Pandian SR, Deepak V, Gurunathan S. Silver nanoparticles impede the biofilm formation by Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus epidermidis. Colloids Surf B Biointerfaces. 2010 Sep 1;79(2):340-4. doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.04.014. Epub 2010 Apr 22. PMID: 20493674.

7. Limayem, Alya et al. “Evaluation of bactericidal effects of silver hydrosol nanotherapeutics against Enterococcus faecium 1449 drug resistant biofilms.” Frontiers in cellular and infection microbiology vol. 12 1095156. 11 Jan. 2023, doi:10.3389/fcimb.2022.1095156

8. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, Yacaman MJ. The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology. 2005 Oct;16(10):2346-53. doi: 10.1088/0957-4484/16/10/059. Epub 2005 Aug 26. PMID: 20818017.

9. O'Toole GA, Kolter R. Initiation of biofilm formation in Pseudomonas fluorescens WCS365 proceeds via multiple, convergent signalling pathways: a genetic analysis. Mol Microbiol. 1998 May;28(3):449-61. doi: 10.1046/j.1365-2958.1998.00797.x. PMID: 9632250.

10. Rice, Scott A et al. “Next-generation studies of microbial biofilm communities.” Microbial biotechnology vol. 9,5 (2016): 677-80. doi:10.1111/1751-7915.12390

11. Suci PA, Mittelman MW, Yu FP,

Geesey GG. Investigation of ciprofloxacin penetration into Pseudomonas aeruginosa biofilms. Antimicrob Agents Chemother. 1994 Sep;38(9):2125-33. doi: 10.1128/AAC.38.9.2125. PMID: 7811031; PMCID: PMC284696.
12. Townsley, Loni, and Elizabeth A Shank. "Natural-Product Antibiotics: Cues for Modulating Bacterial Biofilm Formation." Trends in microbiology vol. 25,12 (2017): 1016-1026. doi:10.1016/j.tim.2017.06.003
13. Tresse O, Jouenne T, Junter GA. The role of oxygen limitation in the resistance of agar-entrapped, sessile-like Escherichia coli to aminoglycoside and beta-lactam antibiotics. J Antimicrob Chemother. 1995 Sep;36 (3):521-6. doi: 10.1093/jac/36.3.521. PMID: 8830016.
14. van der Fels-Klerx, H J et al. "An economic model to calculate farm-specific losses due to bovine respiratory disease in dairy heifers." Preventive veterinary medicine vol. 51,1-2 (2001): 75-94. doi:10.1016/s0167-5877(01)00208-2
15. Антимикробная активность цефинеля при респираторных болезнях телят / Е. Е. Айшпур, С. А. Нычик, Н. В. Сапон, Д. О. Тополь // Ветеринарна біотехнологія. – 2015. – № 26(26). – С. 12-19.
16. Антоневский И. В., Плешакова В. И., Лещёва Н. А. БИОПЛЕНКООБРАЗУЮЩАЯ МИКРОФЛОРА В СТРУКТУРЕ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2025. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bioplenkoobrazuyuschaya-mikroflora-v-strukture-mikroorganizmov-vydelennyh-ot-selskohozyaystvennyh-i-domashnih-zhivotnyh (дата обращения: 02.06.2025).
17. Галимзянов Халил Мингалиевич, Башкина Ольга Александровна, Досмуханова Эльмира Галиевна, Абдрахманова Радмила Охасовна, Демина Юлия Заурбековна, Даудова Адиля Джигангировна, Алешкин Андрей Владимирович, Несвижский Юрий Владимирович, Рыбкин Владимир Семенович, Афанасьев Станислав Степанович, Чикобава Мераб Георгиевич, Аршба Илона Мурмановна, Рубальский Максим Олегович, Рубальский Евгений Олегович Клиническое значение биопленкообразования у бактерий // Астраханский медицинский журнал. 2018. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskoe-znachenie-bioplenkoobrazovaniya-u-bakteriy (дата обращения: 17.05.2025).
18. Гинзгеймер Ирина Александровна, Зайцева Елена Владимировна АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ШТАММОВ ESKAPE И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТИБИОТИКАМ // Ученые записки Брянского государственного университета. 2023. №4 (32). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rasprostranennosti-shtammov-eskape-i-opredelenie-ih-ustoychivosti-k-antibiotikam (дата обращения: 04.06.2025).
19. Киянчук, М. В. Анализ биохимических, культуральных и морфологических свойств mannheimia haemolytica, выделенной из носоглоточной слизи телят / М. В. Киянчук // Ветеринарная лабораторная практика : Сборник статей и докладов на международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 17–21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, ВВМ, 2023. – С. 29-31. – EDN QMFZUC.
20. Патент RU 2 795 607 C1. Способ исследования борьбы с биопленками Staphylococcus aureus препаратом на основе наночастиц серебра и диметилсульфоксида. Заявитель: Нефедова Е. В. ; опубл. 2023
21. Патент RU2441650C1. Способ лечения бронхопневмонии у телят. Заявитель: Рецкий М. И. ; опубл. 2010
22. Филипов И. Г., Чеходариди Ф. Н. БРОНХОПНЕВМОНИЯ ТЕЛЯТ (ДИАГНОСТИКА, СИМПТОМАТИКА, ЛЕЧЕНИЕ) // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2022. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bronhopnevmoniya-telyat-diagnostika-simptomatika-lechenie (дата обращения: 28.05.2025).
23. Чеботарь Игорь Викторович, Маянский А. Н., Кончакова Е. Д., Лазарева А. В., Чистякова В. П. Антибиотикорези-

стентность биоплёночных бактерий // КМАХ. 2012. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/antibiotikorezistentnost-bioplyonochnyh-bakteriy (дата обращения: 28.05.2025).
24. Шамина Ольга Вячеславовна, Самойлова Екатерина Александровна, Новикова Ирина Евгеньевна, Лазарева Анна Валерьевна KLEBSIELLA PNEUMONIAE: МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ И ВИРУЛЕНТНОСТЬ // Российский педиатрический журнал. 2020. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klebsiella-pneumoniae-mikrobiologicheskaya-harakteristika-antibiotikorezistentnost-i-virulentnost (дата обращения: 28.05.2025).

REFERENCES

1. Adams, J L, and R J McLean. “Impact of rpoS deletion on Escherichia coli biofilms.” Applied and environmental microbiology vol. 65,9 (1999): 4285-7. doi:10.1128/AEM.65.9.4285-4287.1999
2. Algburi A, Comito N, Kashtanov D, Dicks LMT, Chikindas ML. Control of Biofilm Formation: Antibiotics and Beyond. Appl Environ Microbiol. 2017 Jan 17;83 (3):e02508-16. doi: 10.1128/AEM.02508-16. Erratum in: Appl Environ Microbiol. 2017 Mar 2;83(6):e00165-17. doi: 10.1128/AEM.00165-17. PMID: 27864170; PMCID: PMC5244297.
3. Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Clin Microbiol Rev. 2002 Apr;15(2):167-93. doi: 10.1128/CMR.15.2.167-193.2002. PMID: 11932229; PMCID: PMC118068.
4. Evans DJ, Allison DG, Brown MR, Gilbert P. Effect of growth-rate on resistance of gram-negative biofilms to cetrimide. J Antimicrob Chemother. 1990 Oct;26(4):473-8. doi: 10.1093/jac/26.4.473. PMID: 2254220.
5. Flemming HC, Wingender J, Szewzyk U, Steinberg P, Rice SA, Kjelleberg S. Biofilms: an emergent form of bacterial life. Nat Rev Microbiol. 2016 Aug 11;14(9):563-75. doi: 10.1038/nrmicro.2016.94. PMID: 27510863.
6. Kalishwaralal K, BarathManiKanth S, Pandian SR, Deepak V, Gurunathan S. Silver nanoparticles impede the biofilm formation by Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus epidermidis. Colloids Surf B Biointerfaces. 2010 Sep 1;79(2):340-4. doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.04.014. Epub 2010 Apr 22. PMID: 20493674.
7. Limayem, Alya et al. “Evaluation of bactericidal effects of silver hydrosol nanotherapeutics against Enterococcus faecium 1449 drug resistant biofilms.” Frontiers in cellular and infection microbiology vol. 12 1095156. 11 Jan. 2023, doi:10.3389/fcimb.2022.1095156
8. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, Yacaman MJ. The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology. 2005 Oct;16 (10):2346-53. doi: 10.1088/0957-4484/16/10/059. Epub 2005 Aug 26. PMID: 20818017.
9. O'Toole GA, Kolter R. Initiation of biofilm formation in Pseudomonas fluorescens WCS365 proceeds via multiple, convergent signalling pathways: a genetic analysis. Mol Microbiol. 1998 May;28(3):449-61. doi: 10.1046/j.1365-2958.1998.00797.x. PMID: 9632250.
10. Rice, Scott A et al. “Next-generation studies of microbial biofilm communities.” Microbial biotechnology vol. 9,5 (2016): 677-80. doi:10.1111/1751-7915.12390
11. Suci PA, Mittelman MW, Yu FP, Geesey GG. Investigation of ciprofloxacin penetration into Pseudomonas aeruginosa biofilms. Antimicrob Agents Chemother. 1994 Sep;38(9):2125-33. doi: 10.1128/AAC.38.9.2125. PMID: 7811031; PMCID: PMC284696.
12. Townsley, Loni, and Elizabeth A Shank. “Natural-Product Antibiotics: Cues for Modulating Bacterial Biofilm Formation.” Trends in microbiology vol. 25,12 (2017): 1016-1026. doi:10.1016/j.tim.2017.06.003
13.Tresse O, Jouenne T, Junter GA. The role of oxygen limitation in the resistance of agar-entrapped, sessile-like Escherichia coli to aminoglycoside and beta-lactam antibiotics. J Antimicrob Chemother. 1995 Sep;36 (3):521-6. doi: 10.1093/jac/36.3.521. PMID:

8830016.
14. van der Fels-Klerx, H J et al. “An economic model to calculate farm-specific losses due to bovine respiratory disease in dairy heifers.” Preventive veterinary medicine vol. 51,1-2 (2001): 75-94. doi:10.1016/s0167-5877(01)00208-2
15. Antimicrobial activity of cefinel in respiratory diseases of calves / E. E. Aishpur, S. A. Nychik, N. V. Sapon, D. O. Topol // Veterinary Biotechnology. - 2015. - № 26(26). - C. 12-19. (In Russ.)
16. Antonevsky I. V., Pleshakova V. I., Leshcheva N. A. BIOPLENKOBRASING MICROFLORA IN THE STRUCTURE OF MICROORGANISMS EXCLUDED FROM AGRICULTURAL AND Pets // Scientific Notes of the Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2025. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bioplenkoobrazuyuschaya-mikroflora-v-strukture-mikroorganizmov-vydelennyh-ot-selskohozyaystvennyh-i-domashnih-zhivotnyh (date of address: 02.06.2025). (In Russ.)
17. Galimzyanov Khalil Mingalievich, Bashkina Olga Aleksandrovna, Dosmukhanova Elmira Galievna, Abdrakhmanova Radmila Okhasovna, Demina Yulia Zaurbekovna, Daudova Adilya Jigangirovna, Alyoshkin Andrey Vladimirovich, Nesvizhsky Yuri Vladimirovich, Rybkin Vladimir Semyonovich, Afanasyev Stanislav Stepanovich, Chikobava Merab Georgievich, Arshba Ilona Murmanovna, Rubalsky Maxim Olegovich, Rubalsky Evgeny Olegovich Clinical significance of biofilm formation in bacteria // Astrakhan Medical Journal. 2018. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskoe-znachenie-bioplenkoobrazovaniya-u-bakteriy (date of address: 17.05.2025). (In Russ.)
18. Ginzheimer Irina Aleksandrovna, Zaitseva Elena Vladimirovna ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF ESKAPE STAMES AND DEFINITION OF THEIR RESISTANCE TO ANTIBIOTICS // Scientific Notes of Bryansk State University. 2023. №4 (32). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rasprostranennosti-shtammov-eskape-i-opredelenie-ih-ustoychivosti-k-antibiotikam (date of address: 04.06.2025). (In Russ.)
19. Kiyanchuk, M. V. Analysis of biochemical, cultural and morphological properties of mannheimia haemolytica isolated from nasopharyngeal mucus of calves / M. V. Kiyanchuk // Veterinary laboratory practice : Collection of articles and reports at the international scientific-practical conference, St. Petersburg, 17-21 April 2023. - St. Petersburg: St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, VVM, 2023. - C. 29-31. - EDN QMFZUC. (In Russ.)
20. Patent RU 2 795 607 C1. Method of research of Staphylococcus aureus biofilm control by a preparation based on silver nanoparticles and dimethyl sulfoxide. Applicant: Nefedova E. V. ; published 2023. (In Russ.)
21. Patent RU2441650C1. Method of treatment of bronchopneumonia in calves. Applicant: Retsky M. I. ; published 2010. (In Russ.)
22. Filipov I. G., Chekhodaridi F. N. Bronchopneumonia in calves (DIAGNOSTICS, SYMPTOMATICS, TREATMENT) // Scientific Notes of the Bauman KSAVM. 2022. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bronhopnevmoniya-telyat-diagnostika-simptomatika-lechenie (date of address: 28.05.2025). (In Russ.)
23. Chebotar Igor V., Mayansky A. N., Konchakova E. D., Lazareva A. V. V., Chistyakova V. P. Antibiotic resistance of biofilm bacteria // KMAH. 2012. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/antibiotikorezistentnost-bioplyonochnyh-bakteriy (date of address: 28.05.2025). (In Russ.)
24. Shamina Olga Vyacheslavovna, Samoylova Ekaterina Aleksandrovna, Novikova Irina Evgenievna, Lazareva Anna Valeryevna KLEBSIELLA PNEUMONIAE: MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS, ANTIBIOTIC RESISTANCE AND VIRULENCE // Russian Paediatric Journal. 2020. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klebsiella-pneumoniae-mikrobiologicheskaya-harakteristika-antibiotikorezistentnost-i-virulentnost (date of reference: 28.05.2025). (In Russ.)

УДК: 579.834.115
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.72

АНАЛИЗ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА *LIPL32* ПАТОГЕННЫХ ЛЕПТОСПИР ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕСТ-СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Шангараев Р.И.* – канд. ветеринар. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0003-3689-1442); **Усольцев К.В.** – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5279-9836); **Хаертынов К.С.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-4764-560X); **Панкова Е.В.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-4446-4619); **Горбунова М.Е.** – канд. биол. наук, науч. сотр. (ORCID0000-0002-0707-2117); **Хаммадов Н.И.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Осянин К.А.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-2763-8605)

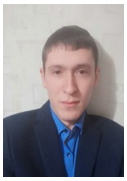
ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

*rafkat.shangaraev@mail.ru

***Ключевые слова**: лептоспироз, ген LipL32, BLAST-анализ, нуклеотидная последовательность, полимеразная цепная реакция в режиме реального времени, полиморфизм, секвенирование, стабильность, тест-система, диагностика*

***Key words:** leptospirosis, LipL32 gene, nucleotide substitution, BLAST- analysis, nucleotide sequence, real-time polymerase chain reaction, polymorphism, sequencing, stability, test system, diagnosis*

Поступила: 25.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Целью данной работы являлось изучение полиморфизма гена *LipL32* различных сероваров патогенных лептоспир, а также разработка прототипа тест-системы для индикации данного гена с использованием метода полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с оценкой его стабильности. Объектами исследования служили 245 нуклеотидных последовательностей гена *LipL32 Leptospira interrogans*, образцы ДНК лептоспир сероваров Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae и Tarassovi. По результатам биоинформационного анализа 245 нуклеотидных последовательностей гена *LipL32* установили, что данный ген является высококонсервативным участком генома возбудителя лептоспироза. Для индикации исследуемого патогена по данному гену методом ПЦР-РВ, определили маркерный локус (область липопротеина L32) размером 173 пар нуклеотидов. В пределах данного участка разработали олигонуклеотидные праймеры и зонд, которые по данным множественного выравнивания амплифицируемого локуса оказались идентичными для большинства анализируемых нуклеотидных последовательностей гена *LipL32 L. interrogans.* BLAST-анализ отсеквенированных нуклеотидных последовательностей патогенных леп-

тоспир сероваров Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae и Tarassovi показал, что идентичность амплифицированного сконструированными олигонуклеотидами участка гена липопротеина L32 указанных выше изолятов с последовательностями ДНК возбудителя лептоспироза, сохраненных в базе данных NCBI, варьировала от 95,74 до 98,95 %. С использованием разработанных олигонуклеоидов и флуоресцентного зонда сконструирован прототип тест-системы для индикации патогенных лептоспир методом ПЦР-РВ. Установлено, что специфичность представленного в настоящей работе тест- набора составила 100 %, а чувствительность может достигать $5 \cdot 10^2$ копий ДНК в одном мл исследуемого материала. Результат оценки стабильности опытного образца тест-системы показал, что коэффициенты вариации минимальных пороговых значений не превышают 10 %, таким образом компоненты набора устойчивы к длительному хранению.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Лептоспироз характеризуется нетрансмиссивной природно-очаговой инфекционной болезнью, которая занимает первое место среди зоонозов по распространенности, а также по количеству природных и антропургических очагов [1]. Возбудителями болезни являются патогенные виды бактерий семейства *Leptospiraceae*, характерная особенность которых выражено в высоком фенотипическом и генотипическом разнообразии, что позволяет им адаптироваться к разнообразным условиям окружающей среды [2]. В настоящее время патогенные виды лептоспир объединяют около 250 серологических вариантов, которые отличаются по гостальной специфичности, органотропности, устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, а также по вирулентности. Известно, что патогенные лептоспиры поражают свыше 100 видов животных [3].

В Российской Федерации лептоспироз имеет широкое распространение, что объясняется наличием многочисленных природных и антропургических очагов. Эпизоотическая ситуация оценивается как эндемичная: неблагополучие имеет восходящий тренд с нисходящей заболеваемостью. Среди крупного рогатого скота и лошадей наблюдается наибольшее количество инфицированных особей. [4].

Диагностика лептоспироза основывается на анализе клинико-эпидемиолого-эпизоотологических, патоморфологических данных с обязательным подтверждением диагноза лабораторными методами, такими как реакция микроагглютинации (РМА), полимеразная цепная реакция (ПЦР), бактериологические исследования. Среди лабораторных методов особый интерес представляют молекулярно-генетические исследования, в частности ПЦР, которая характеризуется высокой чувствительностью, специфичностью. С помощью данного метода можно провести индикацию животных-бактерионосителей, которые представляют опасность для здорового поголовья, а также для человека [5]. К тому же ПЦР является экспресс-методом диагностики: на ранних стадиях развития инфекционного процесса она дает возможность провести индикацию возбудителя, что не удается осуществлять серологическими тестами [6].

Эффективность ПЦР-диагностики определяется многими факторами, среди которых выбор генетического маркера имеет большое значение [7, 8]. Ген *LipL32* длиной 820 пар нуклеотидов (п.н.) расположен на хромосоме CI возбудителей лептоспироза и отличается высокой степенью стабильности среди патогенных видов возбудителя и, активно экспрессируется в значительном количестве в процессе инфекционного заболевания. [9, 10]. Идентичность нуклеотидных и аминокислотных последовательностей гена *LipL32* и кодируемого им белка L32 у патогенных лептоспир составляет 97 -100 % [11]. Таким образом, ген *LipL32* можно применять в качестве генетической мишени для молекулярно-генетической индикации патогенных лептоспир, а также для дифференциации основных экологических групп лептоспир: свободноживу-

щих и паразитических.

На основе метода ПЦР для диагностики инфекционных болезней разрабатываются наборы, которые включают неспецифические и специфические компоненты, а также контрольные образцы. Данные наборы рассчитаны на проведение определенного количества реакций. Конструирование диагностических ПЦР тест-систем направлено на обеспечение удобства при их применении потребителями. Одним из основных характеристик ПЦР тест-систем является их стабильность при хранении.

Целью данной работы являлось изучение полиморфизма гена *LipL32* различных сероваров патогенных лептоспир, а также разработка прототипа тест-системы для индикации данного гена с использованием метода полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР-РВ) с оценкой его стабильности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Объектами исследования служили образцы ДНК патогенных лептоспир сероваров Bataviae, Canicola, Grippotyphosa, Pomona, Tarassovi, полученные из Государственной коллекции микроорганизмов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Пробоподготовка культур включала инактивацию лептоспир при плюс 70 ºС в течение 20 мин в лизирующем буфере. Для экстракции ДНК использовали набор «РИБО-преп» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия) согласно инструкции производителя.

При анализе генетического полиморфизма гена *LipL32* использовали 245 нуклеотидных последовательностей *L. interrogans*, депонированных в базе данных GenBank Интернет-ресурса NCBI под следующими номерами: KM211316, KM211311.1, PQ407920.1, PP554249.1, AY461907.1 - AY461910.1, AY461901.1 - AY461905.1, JN683904.1, KP032210.1, JF509262.1 - JF509289.1, AY461906.1, JN886739.1, JN886738.1, GU220823.1, AF181553.1, MT482312.1, MT482305.1 - MT482310.1, DQ092412.1, JQ013518.1, PP357246.1, PP057729.1, PP028460.1, KY092934.1 - KY092953.1, KT338922.1, KF184517.1 - KF184493.1, AY568679.1, EU871718.1 - EU871720.1, PQ367786.1 - PQ376811.1, PQ208757.1, PQ208756.1, PP481960.1, OR739244.1, OR739243.1, OR739234.1 - 739241.1, OR739232.1, OR739231.1, OP226140.1, MZ292511.1, OK560918.1 - 560920.1, MT776340.1, JQ013520.1, JQ013519.1, HM026175.1, KU219469.1 - 219472.1, AY442332.1, JN210551.1, GQ204279.1 - 204288.1, AY609332.1, AY609327.1 - AY609329.1, AY609323.1 - AY609325.1, AY609321.1, AY423075.1, KC800987.1 - KC800994.1, JN831363.1, EU871723.1, EU871716.1, AJ580493.1, OR920506.1, OR920501.1, OR920496.1, OR920491.1, OR920486.1, OR920481.1, OR920476.1, OR920471.1, OR920466.1, OR920461.1, OR920456.1, OR920451.1, OR920446.1, OR920441.1, OR920436.1, OR920431.1, OR920426.1, OR920421.1, OR920416.1, OR920411.1, OR920406.1, OR920401.1, OR920396.1, MT776334.1 - MT776339.1, OR858825.1, OP763442.1, OP763441.1, OQ269497.1, OQ269496.1, OQ269489.1, AF245281.1, AY609333.1, AY609331.1, AY609330.1, AY609326.1, AY609322.1, AY568680.1, DQ149595.1, AY763509.1, AY776292.1 - AY776294.1, AY223718.1. Множественное выравнивание вышеперечисленных нуклеотидных последовательностей осуществляли в программах Vector NTI 9.1 (алгоритм ClustalW, модуль AlignX) и MEGA11 (алгоритм MUSCLE) (Версия 11.0.13, разработчики: K. Tamura, S. Kumar, G. Stecher).

Для амплификации и секвенирования участка гена гена *LipL32* размером 173 п.н. от изолятов *L. interrogans,* сероваров Pomona образец - №1, Grippotyphosa - №2, Canicola - №7, Bataviae - №8 и Tarassovi - №9 применяли разработанные в рамках данной работы праймеры: lipl32FPin2 (5’→3’) – tcttttgttctgagcgaggacac; lipl32RPin2 (5’→3’) – acggcaggaatccaaacataga; lipl32Z2 – ROX-ccagggacaaacgaaaccgtaaaaac-RTQ2. Дизайн нуклеотидных последовательностей праймеров и анализ их термодинамических характеристик выполняли с использова-

нием программы Vector NTI 9.1.0. ПЦР проводили на амплификаторе CFX 96 (Био-Рад, США) с использованием 2,5 кратной реакционной смеси «ПЦР-микс» («Синтол», Россия). Секвенирование образцов ДНК выполнили по методу Сэнгера в ЗАО «Евроген» (Москва). Идентификацию нуклеотидных последовательностей осуществляли с помощью онлайн Интернет ресурса BLAST, программ BioEdit 5.0.9, MEGA11 и Vector NTI 9.1.

При конструировании прототипа ПЦР-РВ тест-системы для индикации патогенных лептоспир использовали 2,5 кратную реакционную смесь «ПЦР-микс» («Синтол», Россия), положительный контрольный образец – ДНК *L. interrogans* в разведении 10^{-2} и отрицательный контрольный образец (ОКО) – деионизированная вода. Оптимизацию температурного режима ПЦР-РВ выполняли с использованием образцов ДНК патогенных лептоспир сероваров Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae и Tarassovi с применением температурного градиента от плюс 50 ºС до 60 ºС. Реакцию проводили в трех повторах с определением минимальных пороговых значений – Ct (цикл ПЦР, при котором относительные единицы флуоресценции превышают пороговое значение). В качестве оптимальной температуры отжига праймеров выбирали то значение, при котором минимальный пороговый цикл был наименьшим.

Для определения чувствительности прототипа тест-системы для индикации патогенных лептоспир методом ПЦР-РВ использовали серию десятикратных разведений препарата ДНК – 10^{-1}; 10^{-2}; 10^{-3} и 10^{-4}, полученного из лизата бактериальной культуры вида *L. interrogans* серовара Canicola. Концентрацию бактериальных клеток в культуре *L. interrogans* определяли по стандарту мутности, прописанной в Общей фармокопейной статье ОФС 1.7.2.0008.15. Выделение ДНК осуществляли из бактериального лизата объемом 50 мкл, количество бактерий в котором примерно составило $5 \cdot 10^6$ клеток.

Оценку стабильности прототипа тест-системы проводили с помощью анализа коэффициента вариации (V, %) значений Ct, полученных при амплификации контрольных образцов разрабатываемого прототипа тест-системы. Коэффициент вариации значений Ct (V, %) вычисляли по формуле согласно ГОСТ Р 70150-2022.

Прототип тест-системы считали устойчивой к длительному хранению, если значение коэффициента вариации V не превышало 10 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Белки внешней мембраны и липополисахариды патогенных лептоспир относится к основным антигенам, на которые синтезируются специфические антитела. Также данные антигены участвуют во взаимодействиях возбудителей лептоспироза с организмом хозяина [12]. Ген *LipL32* кодирует липопротеин внешней мембраны патогенных лептоспир, который считается фактором вирулентности данных возбудителей [13]. По данным литературы известно, что идентичность аминокислотных последовательностей липопротеина L32 у всех патогенных видов лептоспир составляет более 98 % [14]. Ген *LipL32* является высококонсервативным среди патогенных и промежуточных видов лептоспир [15]. В настоящей работе с целью определения генетического полиморфизма гена *LipL32* проведено множественное выравнивание 245 нуклеотидных последовательностей данного гена у различных сероваров *L. interrogans*, по результатам которого установили высокую степень его консервативности (рисунок 1).

Из всех исследованных последовательностей точечные нуклеотидные замены встречались преимущественно в сиквенсе KC800994 (серовар Sejroe), а также одна замена в последовательности JN831363 (серовар Canicola) (таблица 1).

Полученные результаты указывают на то, что генетический локус *LipL32 L. interrogans* характеризуется высокой степенью консервативности и может служить основой для разработки праймерной комбинации, предназначенной для проведения ПЦР-РВ с целью выявления широко-

го спектра сероваров *L. interrogans*. Проведенное множественное выравнивание 245 нуклеотидных последовательностей гена *LipL32* позволило определить маркерный локус размеров 173 п.н. в области от 113 до 285 нуклеотидов (относительно последовательности GenBank: AF181553.1). В пределах данного участка были сконструированы праймеры и флуоресцентно-меченный зонд. Анализ внутривидовой специфичности спроектированных олигонуклеотидов, проводился относительно нуклеотидных последовательностей гена *LipL32* различных представителей *L. interrogans* депонированных в базе данных GenBank под следующими номерами: KC800994, DQ092412, HM026175, OR920496, OR920501, OR920506, KC800993, KC800990, JN831363, AY461910, EU871716, GU220823, KU219472, KC800987, KC800988, AY609323, EU871723, JN886738, AY609328, KC800989 KC800992, JN210551, AY609321, AY609324, AY423075, DQ149595, AY609325 и AY609327. На рисунке 2 представлены результаты множественного выравнивания нуклеотидных последовательностей *L. interrogans* в местах гибридизации разработанных праймеров и флуоресцентно-меченного зонда.

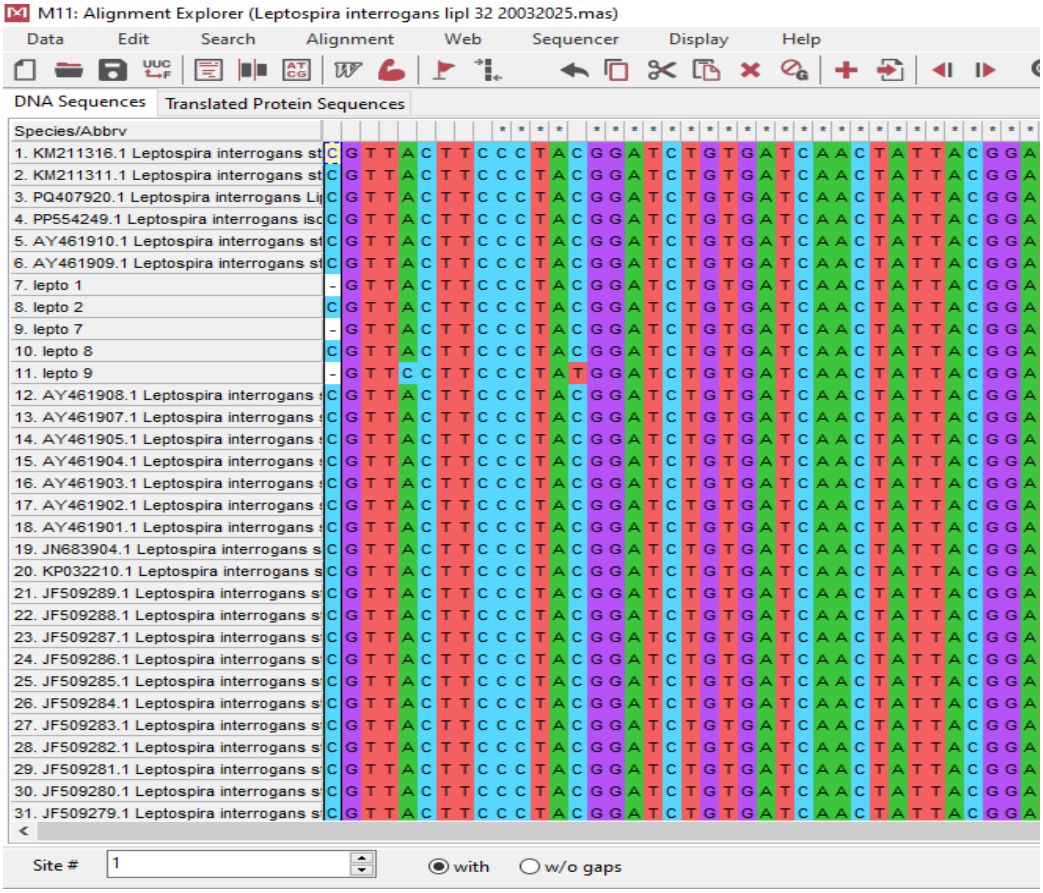


Рисунок 1 – Результаты множественного выравнивания нуклеотидных последовательностей гена LipL32 L. interrogans (интерфейс программы MEGA 11).

Таблица 1 – Нуклеотидные замены в структуре гена *LipL32* исследуемых изолятов *L. Interrogans*

Сиквенсы (GenBank ID)	Позиции нуклеотидных замен					
	T → C	A → T	C → T	C → A	A → G	G → A
KC800994	39, 178, 205, 283	280	276, 241	169	145, 131	137
JN831363			237			

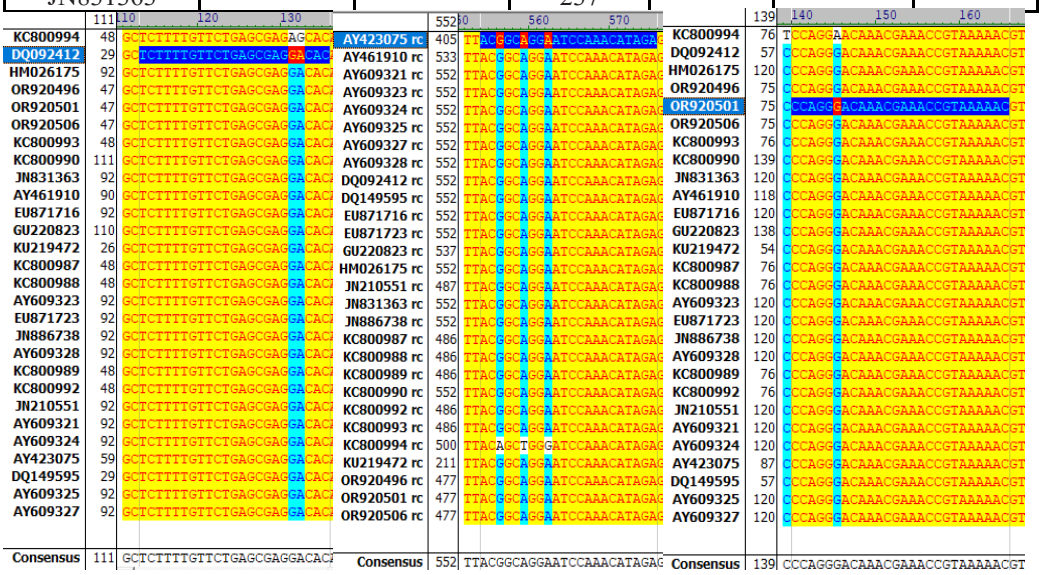


Рисунок 2 – Анализ внутривидовой специфичности в нуклеотидных последовательностях гена LipL32 L.interrogans: А – прямой праймер (lip32FPin2); Б – обратный праймер (lip32RPin2); В – флуоресцентно-меченный зонд (lip32Z2) (интерфейс программы Vector NTI 9.1).

Из рисунка 2 видно, что прямой и обратный праймеры являлись достаточно консервативными. Нуклеотидные замены были обнаружены только в последовательности KC800994 (серовар Sejroe) – для прямого праймера (lip32FPin2) в позициях 131 вместо G → A и 132 - A → G; для обратного праймера (lip32RPin2) в позиции 556 A → G, 559 T → A и 561 G → A; зонда lip32Z2 в позиции 145 G → A. Остальные использованные при множественном выравнивании нуклеотидные последовательности *L. interrogans* в местах «отжига» олигонуклеотидов и зонда были идентичными.

Следует отметить, что изучение полиморфизма гена *LipL32* также дает возможность провести дифференциацию разных видов патогенных лептоспир. В настоящей работе проведен анализ полиморфизма гена *LipL32* пяти сероваров *L. interrogans* - Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae и Tarassovi. Для пяти изолятов патогенных лептоспир (серовар Pomona - №1, Grippotyphosa - №2, Canicola - №7, Bataviae - №8 и Tarassovi - №9) секвенированием получили пять нуклеотидных последовательностей гена *LipL32* размером 173 п.н. Результаты BLAST-анализа данных сиквенсов представлены

в таблице 2.

BLAST-анализ нуклеотидных последовательностей, исследованных изолятов патогенных лептоспир показал, что их идентичность с сиквенсами гена липопротеина L32 *L. interrogans*, депонированных в базе данных NCBI, варьировала от 95,74 до 98,95 %. Полученные нами результаты коррелируют с данными других исследователей. Так по данным А.Н. Вагановой [16] с соавторами рестрикционный профиль нуклеотидных последовательностей гена *LipL32* для трех геномных видов патогенных лептоспир (*L. interrogans, L. kirschneri, L. borgpetersenii*) на внутривидовом и серогрупповом уровне был схожим. Проведенный анализ внутривидовой специфичности, спроектированной праймерной комбинации также подтверждает высокую консервативность гена *LipL32* внутри вида *L. interrogans*. Таким образом из-за высокой степени консервативности ген *LipL32* можно-использовать как маркерный локус для индикации патогенных лептоспир методом ПЦР.

Таблица 2 – Результаты BLAST-анализа нуклеотидных последовательностей изолятов *L. Interrogans*

Изоляты	Нуклеотидная последовательность, 5'→3'	Результаты BLAST-анализа	
		Покрытие (Query Cover), %	Идентичность (Per. Ident.), %
№1	gttacttccctacggatctgtgatcaactattacggatacgtaaagccaggacaagcgccggacggtttagtcgatggaaacaaaaaagcatactatctctatgtttggattcctgccgtaatcgccgaaatgggagttcgaatgatttccccaacaggcgaaatcggtgaac	99	98,92-98,38
№2	cgttacttccctacggatctgtgatcaactattacggatacgtaaagccaggacaagcgccggacggtttagtcgatggaaacaaaaaaacatactatctctatgtttggattcctgccgtaatcgctgaaatgggagttcgaataatttccccaacaggcgaaatcggtgaa	100	98,39-97,85
№7	cgttacttccctacggatctgtgatcaactattacggatacgtaaagccaggacaagcgccggacggtgtagtcgatggaaacaaaaaagcatactatctctatgtttggattcctgccgtaatcgctgaaatgggagttcaaatgatttccccaacaggcgaaatcggtgaa	100	98,33-97,78
№8	cgttacttccctacggatctgtgatcaactattacggatacgtaaagccaggacaagcgccggacggtttagtcgatggaaacaaaaaagcatactatctctatgtttggattcctgccgtaatcgctgaaatgggagttcaatatgatttccccaacaggcgaaatcggtga	100	98,95-98,42
№9	cgttccttccctatggatctgtgatcaactattacggatatgtaaagccaggacaagcgccggacggtttactcgatggaaacaaaaaaacatactatctctatgtttggattcctgccgtaatcgctgaaatgggagttcaaatgatttccccaacaggcgaaatcggtgaa	100	96,28-95,74

На следующем этапе работы сконструировали прототип тест-системы для индикации патогенных лептоспир методом ПЦР-РВ. Состав прототипа тест-системы представлен следующими компонентами: ПЦР-комплект 1 – представляет собой 2,5 кратную реакционную смесь; ПЦР-комплект 2 состоящий из специфических компонентов – 10 пмоль растворов прямого, обратного праймеров и флуоресцентно-меченного зонда.

Также проводили оптимизацию условий реакции по температурно-временным параметрам, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение оптимальной температуры гибридизации праймеров для индикации патогенных лептоспир

Температура, ºС	Изолят				
	№1	№2	№7	№8	№9
	Пороговый цикл Ct				
60	34,09±1,46	33,85±0,95	35,13±0,48	38,53±0,61	35,37±1,26
59,4	33,84±0,23	32,88±1,31	35,32±0,73	38,69±1,16	34,41±0,79
58,3	33,99±1,04	32,35±1,76	36,12±1,26	38,11±0,52	36,60±0,53
56,3	33,92±0,83	32,35±0,45	35,97±0,94	35,57±0,71	34,23±0,48
53,9	34,26±0,21	32,31±0,14	34,72±0,08	34,86±0,14	33,77±0,09
52	33,41±1,27	31,97±2,05	35,85±1,24	34,21±0,82	35,01±0,76
50,7	34,19±1,15	33,05±1,82	37,53±0,97	34,03±1,39	35,09±1,23
50	34,31±1,73	32,81±11,57	34,45±0,44	32,68±0,54	36,40±0,87

Оптимальная температура гибридизации праймеров составила 53,9 ºС, при которой среднее значение минимальных пороговых циклов Ct равнялось 33,98. Разработанная программа имела следующие этапы: денатурация при 95 °С – 5 мин, 10 циклов: денатурация ДНК – 95 °С 30 с, отжиг праймеров и элонгация при 53.9 °С – 30 с; 40 циклов: денатурацию ДНК – 95 °С 30 с, отжиг праймеров и элонгация при 53,9 °С – 30 с (детекция по каналу ROX).

Также проводили оценку аналитической чувствительности образца ПЦР-РВ тест-системы для индикации патогенных лептоспир, которую определяли с использованием десятикратных разведений препарата ДНК, полученного из лизата бактериальной культуры вида *L. interrogans* серовара Canicola с начальной концентрацией $5 \cdot 10^6$ клеток в одном мл культуры. Минимальная концентрация ДНК *L. interrogans* в образце, при которой был зарегистрирован положительный результат (Ct менее 35), составляет 50 микробных клеток, т.е. $5 \cdot 10^2$ копий ДНК в одном мл исследуемого материала.

При определении специфичности прототипа тест-системы для индикации патогенных лептоспир проводили ПЦР-РВ с использованием образцов ДНК *L. interrogans* серовара Canicola и бактерий *B. subtilis*, *B. cereus*, *E. coli*, *S. typhimurium*, *M. tuberculosis*, *M. bovis BCG*. Результаты реакции показали, что амплификация прошла только с ДНК *L. interrogans* (Ct=20,14), что подтверждает специфичность разработанной ПЦР-РВ тест-системы для индикации патогенных лептоспир.

Изучение стабильности ПЦР-РВ тест-систем необходимо для получения надёжных, точных и воспроизводимых результатов ПЦР-анализа. Нами проведена оценка стабильности прототипа тест-системы при длительном хранении (в течении срока годности – 1 год). Для изучения стабильности прототипа набора использовали метод ускоренного старения ее компонентов в течение семи суток при температуре плюс 37 ºС, что соответствует результатам, получаемым при хранении тест-системы при температуре минус 18-20 ºС в течение одного года. По истечении семи суток проводили ПЦР-РВ ПКО в трех повторах с использованием компонентов, хранившихся в условиях ускоренного старения. Также параллельно исследовали контрольные аликвоты аналогичных компонентов, которые хранились при температуре минус 18 ºС. Для каждой реакции на основании полученных значений минимальных пороговых циклов Ct проводили расчет коэффициента вариации показателей Ct. Минимальный пороговый цикл Ct при амплификации ПКО прототипов тест-систем, хранившихся при температуре минус 18 ºС и в условиях ускоренного старения, составил 21,8±0,35 и 22,01±0,52; коэффициент вариации V показателей Ct равнялся 1,8 % и 1,79 % соответственно.

Таким образом, при определении стабильности прототипа тест-системы при

длительном хранении установили, что коэффициенты вариации составили 1,8 % и 1,79 %, которые не превышали 10 %, что подтверждает устойчивость компонентов прототипа тест-системы к длительному хранению.

На основании проведенных исследований были разработаны проекты нормативно-технической документации прототипа тест-системы (технические условия, инструкция по применению).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В данной работе изучен генетический полиморфизм гена *LipL32 L. interrogans*, также разработан прототип ПЦР-РВ тест-системы для индикации патогенных лептоспир. Установили, что ген *LipL32*, кодирующий липопротеин L32 внешней мембраны *L. interrogans* является высококонсервативным локусом. Разработанные прямой (lip32FPin2), обратный (lip32RPin2) праймеры и флуоресцентно-меченный зонд (lip32Z2), фланкируют фрагмент гена *LipL32,* а также имеют высокую консервативность. По результатам множественного выравнивания нуклеотидных последовательностей гена *LipL32* патогенных лептоспир выявили нуклеотидные замены, которые были обнаружены только в последовательности KC800994 (серовар Sejroe) – для прямого праймера (lip32FPin2) в позициях 131 вместо G → A и 132 - A → G; для обратного праймера (lip32RPin2) в позиции 556 A → G, 559 T → A и 561 G → A; зонда lip32Z2 в позиции 145 G → A. Остальные использованные при множественном выравнивании нуклеотидные последовательности *L. interrogans* в местах «отжига» олигонуклеотидов и зонда были идентичными. Также осуществлено секвенирование продуктов ПЦР пяти изолятов от сероваров *L. interrogans* - Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae и Tarassovi. BLAST-анализ нуклеотидных последовательностей данных изолятов с сиквенсами гена *LipL32 L. interrogans* из базы данных NCBI показал, что идентичность их варьировала от 95,74 до 98,95 %. Следовательно, ген *LipL32* внутри вида *L. interrogans* является высококонсервативным локусом и его можно использовать как генетический мишень для ПЦР-индикации *L. interrogans*.

С использованием разработанных праймеров и флуоресцентного зонда сконструирован прототип тест-системы для индикации патогенных лептоспир методом ПЦР-РВ. Установлено, что специфичность тест-набора составила 100 %, а чувствительность может достигать $5 \cdot 10^2$ копий ДНК в одном мл исследуемого материала. Результаты оценки стабильности тест-системы показали, что значения коэффициентов вариации при хранении составили 1,8 % и 1,79 %, которые не превышали 10 %. Таким образом, прототип тест-системы стабилен при хранении.

ANALYSIS OF THE POLYMORPHISM OF THE LIPL32 GENE OF PATHOGENIC LEPTOSPIRA FOR THE DEVELOPMENT OF A REAL-TIME POLYMERASE CHAIN REACTION TEST SYSTEM

Shangaraev R.I.* – Candidate of Veterinary Sciences, Researcher (ORCID 0000-0003-3689-1442); **Usoltsev K.V.** – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5279-9836); **K.S. Khaertynov** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000 -0003-4764-560X); **Pankova E.V.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0003-4446-4619); **Gorbunova M.E**. – Candidate of Biological Sciences, Researcher (ORCID0000-0002-0707-2117); **Khammadov N.I.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Osyanin K.A**. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0003-2763-8605)

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological safety»

*rafkat.shangaraev@mail.ru

ABSTRACT

The purpose of this work was to study the polymorphism of the LipL32 gene of various pathogenic leptospira serovars, as well as to

develop a prototype test system for the indication of this gene using the real-time polymerase chain reaction method with an assessment of its stability. The objects of the study were 245 nucleotide sequences of the *LipL32* gene of *Leptospira interrogans*, DNA samples of leptospira serovars Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae and Tarassovi. Based on the results of bioinformatic analysis of 245 nucleotide sequences of the *LipL32* gene, it was established that this gene is a highly conserved region of the genome of the causative agent of leptospirosis. To indicate the pathogen under study for this gene by RT-PCR, a marker locus (lipoprotein L32 region) with a size of 173 nucleotide pairs was determined. Within this site, oligonucleotide primers and a probe were developed, which, according to multiple alignment of the amplified locus, turned out to be identical for most of the analyzed nucleotide sequences of the *LipL32 L. interrogans* gene. BLAST analysis of the sequenced nucleotide sequences of the pathogenic leptospira serovars Pomona, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae and Tarassovi showed that the identity of the lipoprotein L32 gene region amplified by engineered oligonucleotides of the above isolates with DNA sequences of the causative agent of leptospirosis stored in the NCBI database ranged from 95.74 to 98.95%. Using the developed oligonucleotides and a fluorescent probe, a prototype test system for the detection of pathogenic leptospires by PCR-RV was constructed. It was found that the specificity of the test kit presented in this work was 100%, and the sensitivity could reach 5·102 copies of DNA per ml of the test material. The stability assessment of the test system showed that the variation coefficients of the minimum threshold values did not exceed 10%, indicating that the kit components were stable during long-term storage.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ананьина, Ю. В. Паразитические и свободноживущие лептоспиры (Leptospiraceae): эколого-генетические особенности. Зоологический журнал. 2010; Т. 89 (1): 48-52.

2. Ulsenheimer B.C., Tonin A.A, von Laer A.E., Fernandes Dos Santos H., Antônio Sangioni L., Fighera R., Yuri Dos Santos M., Isabel Brayer Pereira D., Pötter L., De Avila Botton S. Molecular detection and phylogenetic analysis of Leptospira interrogans and Leptospira borgpetersenii in cats from Central region of Rio Grande do Sul state, Brazil. Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis. 2025; 116. 102286. https://doi: 10.1016/j.cimid.2024.102286.

3. Орынтаев, К.Б. Ермагамбетова С. Е., Меңтай А. Специфическая профилактика лептоспироза крупного рогатог скота. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2017; 4(45): 260-261.

4. Шангараев Р.И., Усольцев К.В., Хаертынов К.С., Горбунова М.Е., Хаммадов Н.И., Сафина Р.Ф., Осянин К.А. Обзор эпизоотической ситуации по лептоспирозу в Российской Федерации за период 2013-2023 гг. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024; 10(240): 65-72. https://doi 10.53083/1996-4277-2024-240-10-65-72.

5. Самсонова, А.П., Петров Е.М. Сравнение показателей эффективности методов диагностики лептоспирозов в разные сроки с момента заболевания. Бактериология. 2023; 8(3): 99.

6. Нурлыгаянова, Г. А., Белоусов В. И., Шарыпов А. С. Результаты лабораторной диагностики лептоспироза животных различными методами в Российской Федерации за 2021 г. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023. 9: 75-86. https://doi 10.36871/vet.zoo.bio.202309009.

7. 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 свиней. Ветеринарный врач. 2024; 3: 41-46. https://doi 10.33632/1998-698X_2024_3_41.

8. Громова Е.А., Миргазов Д.А., Додонова Е.А., Елизарова И.А., Горбунова М.Е., Осянин К.А. Разработка мультиплексной ПЦР-РВ тест-системы для выявления возбудителя бруцеллеза. Ветери-

нарный врач. 2024; 3: 34-40. https://doi 10.33632/1998-698X_2024_3_34.
9. Khaki P., Rahimi-Zarchi F., Moradi Bidhendi S., Gharakhani M. Application of a Multiplex PCR Assay for Molecular Identification of Pathogenic and Non-Pathogenic Leptospires based on LipL32 and 16S rRNA Genes. Arch. Razi. Inst. 2023; 78(1): 413-418. https://doi: 10.22092/ARI.2022.359211.2388.
10. Podgoršek D., Ružić-Sabljić E., Logar M., Pavlović A., Remec T., Baklan Z., Pal E., Cerar T. Evaluation of real-time PCR targeting the LipL32 gene for diagnosis of Leptospira infection. BMC Microbiol. 2020; 20(1). https://doi: 10.1186/s12866-020-01744-4.
11. Latifah I., Abdul Halim A., Rahmat M.S., Nadia M.F., Ubil Z.E., Asmah H., Shafariatul Akmar I., Picardeau M., Siti Haslina O., Nasir M.A. Isolation by culture and PCR identification of LipL32 gene of pathogenic Leptospira spp. in wild rats of Kuala Lumpur. Malaysian J. Pathol. 2017; 39 (2): 161-166.
12. Vedhagiri K., Natarajaseenivasan K., Chellapandi P., Prabhakaran S.G., Selvin J., Sharma S., Vijayachari P. Evolutionary implication of outer membrane lipoprotein-encoding genes ompL1, UpL32 and lipL41 of pathogenic leptospira species. Genomics Proteomics Bioinf. 2009; 7: 96-106. https://doi: 10.1016/S1672-0229(08)60038-8.
13. Picardeau M., Bulach D.M, Bouchier C., Zuerner R.L., Zidane N., Wilson P.J., Creno S., Kuczek E.S., Bommezzadri S., Davis J.C., McGrath A., Johnson M.J., Boursaux-Eude C., Seemann T., Rouy Z., Coppel R.L., Rood J.I., Lajus A., Davies J.K., Médigue C., Adler B. Genome sequence of the saprophyte Leptospira biflexa provides insights into the evolution of Leptospira and the pathogenesis of leptospirosis PLoS. ONE. 2008; 3. https://doi: 10.1371/journal.pone.0001607.
14. Nally J.E., Whitelegge J.P., Bassilian S., Blanco D. R., Lovett M. A. Characterization of the outer membrane proteome of Leptospira interrogans expressed during acute lethal infection Infect. Immun. 2007; 75766-75773. https://doi: 10.1128/IAI.00741-06.
15. Kumaran S.K., Faizal Abu Bakar M., Mohd-Radil H., Mat-Sharani S., Sakinah S., Poorani K., Alsaeedy H., Peli A., Seoh Wei T., Pooi Ling M., Awang Hamat R., Kumari Neela V., Higuchi A., Alarfaj A.A., Rajan M., Benelli G., Arulselvan P., Suresh Kumar S. 3D modelling of the pathogenic Leptospira protein LipL32: A bioinformatics approach. Acta Tropica. 2013; 76: 433-439. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.09.011.
16. Ваганова А.Н., Фрейлихман О.А., Стоянова Н.А., Токаревич Н.К. Межвидовой полиморфизм рестрикционных профилей гена lipL32 патогенных лептоспир. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2010; 149(5): 543-545.

REFERENCES

1. Ananyina, Yu.V. Parasitic and free-living Leptospira (Leptospiraceae): ecological and genetic features / Yu. V. Ananyina // Zoological Journal, 2010; 89(1): 48-52. (In Russ.).
2. Ulsenheimer B.C., Tonin A.A, von Laer A.E., Fernandes Dos Santos H., Antônio Sangioni L., Fighera R., Yuri Dos Santos M., Isabel Brayer Pereira D., Pötter L., De Avila Botton S. Molecular detection and phylogenetic analysis of Leptospira interrogans and Leptospira borgpetersenii in cats from Central region of Rio Grande do Sul state, Brazil. Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis. 2025; 116. 102286. https://doi: 10.1016/j.cimid.2024.102286.
3. Oryntaev, K.B., Ermagambetova S.E., Mentai A.Specific prevention of bovine leptospirosis. Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin. 2017; 4(45): 260-261. (In Russ.).
4. Shangaraev R. I., Usoltsev K.S. Khaertynov K.S, Gorbunova M.E., Khammadov N.I., Safina R.F., Osyanin K.A. Review of the epizootic situation of leptospirosis in the Russian Federation from 2013 through 2023. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2024; 10(240): 65-72. https://doi 10.53083/1996-4277-2024-240-10-65-72. (In Russ.).
5. Samsonova, A.P., Petrov, E.M. Comparison of the effectiveness of diagnostic meth-

ods for leptospirosis at different times from the moment of the disease Bacteriology. 2023; 8(3): 99. (In Russ.).
6. Nurlygayanova, G.A. Belousov V.I., Sharypov A.S. Results of laboratory diagnostics of animal leptospirosis by various methods in the Russian Federation for 2021. Veterinary, Zootechnics and Biotechnology. 2023; 9: 75-86. https://doi 10.36871/vet.zoo.bio.202309009. (In Russ.).
7. Hammadov N. I., Gorbunova M. E., Salmanova G. R., Farhrutdinov N.I., Gulukin A.M., Galeeva A.G., Gromova E.A. Design of specific primers for PCR diagnostics of classical swine fever / [et al.] // The Veterinarian. 2024; 3: 41-46. https://doi 10.33632/1998-698X_2024_3_41. (In Russ.).
8. Gromova E.A., Mirgazov D.A, Dodonova E.A., Elizarova I.A., Gorbunova M.E., Osyanin K.A. Development of a multiplex RT-PCR test system for detecting the causative agent of brucellosis. The Veterinarian. 2024; 3: 34-40. https://doi 10.33632/1998-698X_2024_3_34. (In Russ.).
9. Khaki P., Rahimi-Zarchi F., Moradi Bidhendi S., Gharakhani M. Application of a Multiplex PCR Assay for Molecular Identification of Pathogenic and Non-Pathogenic Leptospires based on LipL32 and 16S rRNA Genes. Arch. Razi. Inst. 2023; 78(1): 413-418. https://doi: 10.22092/ARI.2022.359211.2388.
10.Podgoršek D., Ružić-Sabljić E., Logar M., Pavlović A., Remec T., Baklan Z., Pal E., Cerar T. Evaluation of real-time PCR targeting the LipL32 gene for diagnosis of Leptospira infection. BMC Microbiol. 2020; 20(1). https://doi: 10.1186/s12866-020-01744-4.
11.Latifah I., Abdul Halim A., Rahmat M.S., Nadia M.F., Ubil Z.E., Asmah H., Shafariatul Akmar I., Picardeau M., Siti Haslina O., Nasir M.A. Isolation by culture and PCR identification of LipL32 gene of pathogenic Leptospira spp. in wild rats of Kuala Lumpur. Malaysian J. Pathol. 2017; 39 (2): 161-166.
12.Vedhagiri K., Natarajaseenivasan K., Chellapandi P., Prabhakaran S.G., Selvin J., Sharma S., Vijayachari P. Evolutionary implication of outer membrane lipoprotein-encoding genes ompL1, UpL32 and lipL41 of pathogenic leptospira species. Genomics Proteomics Bioinf. 2009; 7: 96-106. https://doi: 10.1016/S1672-0229(08)60038-8.
13.Picardeau M., Bulach D.M, Bouchier C., Zuerner R.L., Zidane N., Wilson P.J., Creno S., Kuczek E.S., Bommezzadri S., Davis J.C., McGrath A., Johnson M.J., Boursaux-Eude C., Seemann T., Rouy Z., Coppel R.L., Rood J.I., Lajus A., Davies J.K., Médigue C., Adler B. Genome sequence of the saprophyte Leptospira biflexa provides insights into the evolution of Leptospira and the pathogenesis of leptospirosis PLoS. ONE. 2008; 3. https://doi: 10.1371/journal.pone.0001607.
14.Nally J.E., Whitelegge J.P., Bassilian S., Blanco D. R., Lovett M. A. Characterization of the outer membrane proteome of Leptospira interrogans expressed during acute lethal infection Infect. Immun. 2007; 75766-75773. https://doi: 10.1128/IAI.00741-06.
15.Kumaran S.K., Faizal Abu Bakar M., Mohd-Radil H., Mat-Sharani S., Sakinah S., Poorani K., Alsaeedy H., Peli A., Seoh Wei T., Pooi Ling M., Awang Hamat R., Kumari Neela V., Higuchi A., Alarfaj A.A., Rajan M., Benelli G., Arulselvan P., Suresh Kumar S. 3D modelling of the pathogenic Leptospira protein LipL32: A bioinformatics approach. Acta Tropica. 2013; 76: 433-439. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.09.011.
16.Vaganova A.N., Freilikhman O.A., Stoyanova N.A., Tokarevich N.K. Genetics: interspecifi interspecifi c polymorphism of gene lipl32 restriction profiles of pathogenic leptospires. Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2010; 149(5): 543-545. (In Russ.).

УДК: 579.6
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.84

К ВОПРОСУ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАСПОРАЛЬНЫХ ТЕЛ И СПОР

Хлопова К.В.[1] – мл. науч. сотр. лаб. микробиологии сибирской язвы (ORCID 0000-0001-7611-3608); **Горшков-Кантакузен В.А.**[2*] – врач-бактериолог, ст. преп. каф. медицинской микробиологии им. акад. З.В. Ермольевой (ORCID 0000-0002-4691-4719); **Чикина Ю.В.**[1] – лаборант-исследователь лаб. микробиологии сибирской язвы (ORCID 0009-0000-3361-543X); **Тимофеев В.С.**[1] – канд. биол. наук, зам. директора по аналитической работе (ORCID 0000-0002-9501-1380)

[1] ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
[2] ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»

*cantacuzene.patent@gmail.com

Ключевые слова: *параспоральное тело, окраска, B. thuringiensis, B. anthracis, кумасси бриллиантовый синий.*
Key worlds: *parasporal bodies, staining, B. thuringiensis, B. anthracis, Coomassie Brilliant Blue*
Финансирование: *Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора.*

Поступила: 25.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ
Несмотря на бурное развитие молекулярно-генетических методов исследования, буквально перевернувших наши представления о микроорганизмах, классические для микробиологии методы всё ещё не теряют своей актуальности. Особенно это касается вопросов, когда необходимо установить наличие у бактерии органелл или способности к токсинообразованию. В настоящей статье рассмотрены возможности визуализации параспоральных тел на примере *B. thuringiensis* с помощью окраски кумасси бриллиантовым синим. В работе использовались штаммы *B. thuringiensis* ИПМ-3 (Н-1), ИПМ-4 и ИПМ-4, а также штамм *B. anthracis* Δ Ames (отрицательный контроль). Из единичных колоний культур, выращенных на агаре Хоттингера, готовили мазки как это принято в лабораторной практике, после чего окрашивали смесью, состоящей из 0,133% кумасси бриллиантового синего (G) в 50% растворе уксусной кислоты, и микроскопировали. Исследование мазков показало, что наилучшая визуализация параспоральных тел достигается при использовании двухсуточной культуры, а также экспозиции красителя в течении 30 минут. В этом случае достигается визуализация параспоральных тел в виде тёмно-синих структур на фоне светло-синих клеток и блестящих овальных спор во всех полях зрения. Предложенный способ окраски позволяет относительно просто визуализировать параспоральные тела, а также споры, что

особенно важно при дифференцировке *B. anthracis.* Кроме того, визуализация спор в случае *B. anthracis* позволяет оценить качество споруляции, что делает предложенный способ безопасным конкурентом существующих.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Интересной особенностью некоторых спорообразующих бацилл является формирование «*придатков, прикреплённых к концам эндоспор, или спиралевидных структур, окружающих эндоспоры*», которые в начале XX века описал Поль Дебезьё, назвав «параспоральными телами» [1, 2]. И хотя он смог обнаружить их только в случае бацилл, выделенных из кишечного тракта насекомых, уже к середине века стало понятно, что они формируются у разных представителей рода *Basillus* [3]. Обнаружение этих органелл опровергло представление о том, что прокариотические клетки имеют простую структуру [4], а также позволило переосмыслить видовую принадлежность внутри такой мономорфной группы, как *Bacillus cereus* complex. В частности, отсутствие параспоральных тел у штаммов, считающихся *B. thuringiensis*, заставляет усомниться в их видовой принадлежности, поскольку именно в них синтезируется инсектицидный Bt-токсин. Это важно, поскольку штаммы *B thuringiensis* находят широкое применение в сельском хозяйстве [5] и, следовательно, использование «не того» штамма может привести к нежелательным последствиям. Так, использование штамма, ошибочно отнесённого к *B. thuringiensis*, спровоцировало массовые инвазии китайских трионикс (*Tryonyx sinensis*) с летальным исходом, происходящие с 2013 года на фермах Китая и Тайваня. Выделенный от них штамм JMT, позднее идентифицированный как *B. tropicus*, был занесён с соседнего поля, где применялся в качестве биопестицида [6, 7]. Таким образом, возможность определения наличия параспорального тела рутинными микробиологическими методами является важным инструментом для идентификации штаммов в сельском хозяйстве. Кроме того, это может быть полезно и в практическом здравоохранении, для дифференцировки спор *B. anthracis*, у которых данная органелла отсутствует.

Важно понимать, что окраска параспоральных тел дело непростое. Ещё С.Р. Датки в 1940 году писал, что «*спора и гранула* [т.е. параспоральное тело] *гомологичны по структуре, и они не впитывают ни красители, ни йод*» [8]. Тем не менее, в 2002 году был предложен способ окраски на основе трифенилметанового красителя кумасси бриллиантового синего (Coomassie Brilliant Blue), используемого в текстильной промышленности [9]. Этот краситель также применяется для окраски белков: «R» вариант с 1964 года [10], а «G» вариант в растворе уксусной кислоты в метаноле – с 1967 года [11].

Суть предложенного в 2002 году метода, использованного для идентификации *B. thuringiensis* [7] и *B. tropicus* JMT [9], сводится к приготовлению фиксированного пламенем мазка суточной бактериальной культуры, на который наносится краска (0,133% кумасси бриллиантового синего в 50% растворе уксусной кислоты). Далее мазок промывается дистиллированной водой, высушивается и микроскопируется в 100-кратном увеличении с помощью светового микроскопа под масляным иммерсионным объективом.

Поскольку описание методики крайне скудно (в частности, непонятно, какую форму красителя использовать и какова длительность его экспозиции), а приведённые в публикациях изображения спорны, в настоящей статье мы уточним методику, а также покажем возможности её применения для окраски спор.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В настоящей работе были использованы штаммы, формирующие при спорообразовании параспоральные тела, а именно *B. thuringiensis:* ИПМ-3 (Н-1), выделенный в Узбекистане, Ташкент; ИПМ-4, выделенный во Франции и переданный из коллекции Institut Pasteur; ИПМ-26 Giensis (insectus) выделенный в России, Красноярск. В качестве отрицательного контроля использовался штамм *B. anthra-*

cis Δ Ames. Все штаммы получены нами из Государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур «ГКПМ-Оболенск».

Штаммы рассеивали до единичных колоний и культивировали при 28˚С на плотной питательной среде «агар Хоттингер» (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия). Через 24 и 48 часов из единичных колоний приготавливали мазок, высушивали, фиксировали и окрашивали в течение одной и 30 минут, после чего краситель удаляли дистиллированной водой, а окрашенный мазок высушивали.

Фиксация препаратов с культурами *B. thuringiensis* осуществлялась над пламенем горелки, а с культурой *B. anthracis* Δ Ames – в фиксирующем растворе (смесь 96% раствора этилового спирт и 3% раствора перекиси водорода).

Для окрашивания мазков использовали свежеприготовленный реактив, состоящий из 0,1% Coomassie Brilliant Blue G 250 C.I. 42655 (Serva, USA) в 50% растворе уксусной кислоты.

Исследование окрашенных мазков проводили с использование иммерсионной системы «Микромед Р-1» (Микромед, Китай) (окуляр – 10×, объектив – 100×), иммерсионного масла (Альтами, Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Исследование окрашенных мазков из суточной культуры не выявило отличий в окраске, причём одноминутное окрашивание, считающееся наиболее эффективным для бацилл [12], не привело к закреплению красителя, в связи с чем было принято решение осуществлять экспозицию в 30 минут в жидкой камере, а также использовать для приготовления мазков двухсуточную культуру в фазе отмирания или споруляции вегетативных клеток, для которой выше вероятность наличия сформированных параспоральных тел. Исследование окрашенных мазков из этой культуры (для всех исследованных штаммов) позволило во всех полях зрения чётко визуализировать параспоральные тела в виде тёмно-синих структур на фоне светло-синих клеток и блестящих овальных спор. При этом, у контрольного штамма эта структуры отсутствовали, а дозревающие споры располагались по всему периметру цепей, что характерно для сибиреязвенного микроба. Полученные результаты представлены на Рис.1.

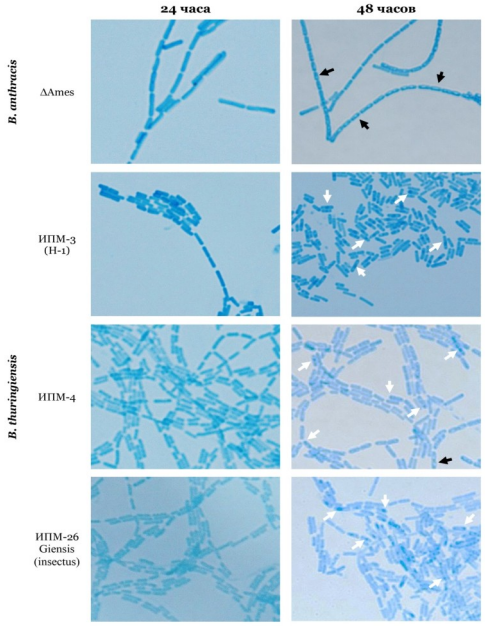


Рисунок 1 – Микропрепараты B. thuringiensis ИПМ-3 (Н-1), ИПМ-4, ИПМ-26 Giensis (insectus), а также B. anthracis ΔAmes (отрицательный контроль) через 24 и 48 часов культивирования. Можно видеть параспоральные тела в виде тёмно-синих структур (белые стрелки) на фоне светло-синих клеток и блестящих овальных спор (чёрные стрелки). окуляр – 10×, объектив – 100× окраска кумасси бриллиантовым синим (время экспозиции – 30 минут).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведённое нами исследование чётко показывает возможность применения данной методики для визуализации параспоральных тел только в случае использования двухсуточной культуры, выращенной на плотной питательной среде, при получасовой экспозиции красителя. В этом случае получается чётко визуализировать параспоральные тела во всех полях зрения. Кроме того, окраска позволяет визуализировать споры, что стало для нас открытием, поскольку значительно расширило границы применения способа, сделав возможным определять качество споруляции культур сибиреязвенного микроба. Это особенно важно ввиду того, что в настоящее время в лабораторной практике, согласно МУК 4.2.2413-08, окрашивание спор осуществляют исключительно карболовым функсином по Цилю-Нильсену, однако необходимость использования множества компонентов с разным временем экспозиции делает данный метод окраски трудновоспроизводимым. Кроме того, имеются значительные сложности в интерпретации результатов окрашивания, поскольку отличать бактериальные споры от всевозможных артефактов бывает весьма затруднительно: споры, в зависимости от степени их жизнеспособности, могут визуализироваться розовыми с более интенсивной окраской по периферии (жизнеспособные), красными (слабо жизнеспособные) либо синими (не жизнеспособные).

Справедливости ради надо сказать, что в качестве альтернативы окраски карболовым функсином по Цилю-Нильсену предлагается микроскопия чистой сибиреязвенной культуры методами раздавленной или висячей капли [13]. Однако эти методы не безопасны с точки зрения риска вероятности аварийных ситуаций и, потенциально, аварий с возбудителем особо опасной инфекции, и поэтому не подходят для работы с активным материалом. Все остальные существующие классические методы подразумевают использование прогревания (кипячения) препарата с красителем или использования кипящих растворов (1% HCl, 1% HNO_3 или 0.5%H_2SO_4), что в свою очередь уже увеличивает не только риск аварии, но и возможность получения специалистом химических ожогов. В этом смысле предлагаемый нами способ выигрывает своей простотой исполнения и интерпретации.

TO THE QUESTION OF VISUALIZATION OF PARASPORAL BODIES AND SPORES

Khlopova K.V.[1] – Junior Researcher of the Laboratory of Anthrax microbiology (ORCID: 0000-0001-7611-3608); **Gorshkov-Cantacuzene V.A.**[2*] – bacteriologist, Senior Lecturer of the Yermolyeva Department of medical microbiology (ORCID: 0000-0002-4691-4719); **Chikina Yu.V.**[1] – Laboratory Researcher of the Laboratory of Anthrax microbiology (ORCID: 0009-0000-3361-543X); **Timofeev V.S.**[1] – PhD in Biology, Deputy Director for Analytical Work (ORCID: 0000-0002-9501-1380)

[1]State Research Center of Applied Microbiology and Biotechnology of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfar

[2]Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

*cantacuzene.patent@gmail.com

Financing: *The work was carried out within the framework of the Rospotrebnadzor industry program.*

ABSTRACT

Despite the rapid development of molecular genetic methods of research, which have literally overturned our understanding of microorganisms, the classical methods of microbiology still do not lose their relevance. Especially it concerns questions when it is necessary to establish the presence of organelles or toxin-forming ability in a bacterium. In the present article the possibilities of visualisation of parasporal bodies on the example of *B. thuringiensis* by means of Cumassi Brilliant Blue staining are considered. *B. thuringiensis* strains IPM-3 (H-1), IPM-4 and IPM-4, as well as *B. anthracis* Δ

Ames strain (negative control) were used in this work. From single colonies of cultures grown on Hottinger's agar, smears were prepared as is customary in laboratory practice, then stained with a mixture consisting of 0.133% Cumassi Brilliant Blue (G) in 50% acetic acid solution and microscoped. Examination of smears showed that the best visualisation of parasporal bodies is achieved when a two-day culture is used, and dye exposure for 30 minutes. In this case visualisation of parasporal bodies in the form of dark-blue structures on the background of light-blue cells and shiny oval spores in all fields of view is achieved. The proposed staining method allows for relatively simple visualization of parasporal bodies and spores, which is especially important when differentiating *B. anthracis* from other representatives of the *Bacillus cereus* complex. In addition, visualization of spores in the case of *B. anthracis* allows for evaluation of the quality of sporulation, making the proposed method a safe competitor to existing ones.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Debaisieux P. Orgamsmes bacilliformes à structure parasporale spiralée. Ann Soc Sci Bruxe. 1926;45:94-96.
2. Debaisieux P. Structures parasporales chez les bactéries. Ann Soc Sci Bruxe. 1927;47:89-90.
3. Bartholomew J.W., Clare P. Parasporal bodies of Bacillus spores. J Bacteriol. 1956;71(2):158-161. https://doi.org/10.1128/jb.71.2.158-161.1956.
4. Greening C., Lithgow T. Formation and function of bacterial organelles. Nat Rev Microbiol. 2021;18:677-689. https://doi.org/10.1038/s41579-020-0413-0.
5. Ерегина С.В., Кузнецова М.М. Потенциал исследования микроорганизмов рода Bacillus в растениеводстве. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2024; 3(77):19-35. https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-19-35.
6. Chen J., Zhu N., Kong L. et al. First reported fatal Bacillus thuringiensis infections in Chinese softshelled turtles (Trionyx sinensis). Aquaculture. 2014;428-429:16-20. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.018
7. Tsai J.-M., Kuo H.-W., Cheng W. Retrospective Screening of Anthrax-like Disease Induced by Bacillus tropicus str. JMT from Chinese Soft-Shell Turtles in Taiwan. Pathogens. 2023;12(5):693. https://doi.org/10.3390/pathogens12050693.
8. Dutky S.R. Two new spore-forming bacteria causing milky diseases of Japanese beetle larvae. J Agr Research. 1940;61:57-68.
9. Rampersad J., Khan A., Ammons D. Usefulness of staining parasporal bodies when screening for Bacillus thuringiensis. Journal of Invertebrate Pathology. 2002;79 (3):203-204. https://doi.org/10.1016/s0022-2011(02)00018-6.
10. De St. Groth S.F., Webster R.G., Datyner A. Two new staining procedures for quantitative estimation of proteins on electrophoretic strips. Biochimica et Biophysica Acta. 1963;71:377-391.
11. Altschul A.M., Evans W.J. Zone electrophoresis with polyacrylamide gel. Methods in Enzymology. 1967;11:179-186.
12. Биргер О.Г., Богомолец А.А. Коршун С.В., и др. Основы медицинской микробиологии. Том I. Москва-Ленинград: Государственное издательство. 1930. 689 с.
13. Маринин Л.И., Дятлов И.А., Мокриевич А.Н., и др. Методы изучения биологических и молекулярно-генетических свойств возбудителя сибирской язвы (Учебно–методическое пособие). Оболенск: Династия. 2021. 239 с.

REFERENCES

1. Debaisieux P. Orgamsmes bacilliformes à structure parasporale spiralée. Ann Soc Sci Bruxe. 1926;45:94-96.
2. Debaisieux P. Structures parasporales chez les bacteria. Ann Soc Sci Bruxe. 1927;47:89-90.
3. Bartholomew J.W., Clare P. Parasporal bodies of Bacillus spores. J Bacteriol. 1956;71(2):158-161. https://doi.org/10.1128/jb.71.2.158-161.1956.
4. Greening C., Lithgow T. Formation and function of bacterial organelles. Nat Rev Microbiol. 2021;18:677-689. https://doi.org/10.1038/s41579-020-0413-0.

5. Eregina S.V., Kuznetsova M.M. Potential for studying microorganisms of the genus Bacillus in plant growing. Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2024; 3(77):19-35. https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-19-35.
6. Chen J., Zhu N., Kong L. et al. First reported fatal Bacillus thuringiensis infections in Chinese softshelled turtles (Trionyx sinensis). Aquaculture. 2014;428-429:16-20. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.018
7. Tsai J.-M., Kuo H.-W., Cheng W. Retrospective Screening of Anthrax-like Disease Induced by Bacillus tropicus str. JMT from Chinese Soft-Shell Turtles in Taiwan. Pathogens. 2023;12(5):693. https://doi.org/10.3390/pathogens12050693.
8. Dutky S.R. Two new spore-forming bacteria causing milky diseases of Japanese beetle larvae. J Agr Research. 1940;61:57-68.
9. Rampersad J., Khan A., Ammons D. Usefulness of staining parasporal bodies when screening for Bacillus thuringiensis. Journal of Invertebrate Pathology. 2002;79 (3):203-204. https://doi.org/10.1016/s0022-2011(02)00018-6.
10. De St. Groth S.F., Webster R.G., Datyner A. Two new staining procedures for quantitative estimation of proteins on electrophoretic strips. Biochimica et Biophysica Acta. 1963;71:377-391.
11. Altschul A.M., Evans W.J. Zone electrophoresis with polyacrylamide gel. Methods in Enzymology. 1967;11:179-186.
12. Birger O.G., Bogomolets A.A. Korshun S.V., et al. Fundamentals of Medical Microbiology. Volume I. Moscow-Leningrad: State Publishing House. 1930. 689 p.
13. Marinin L.I., Dyatlov I.A., Mokrievich A.N., et al. Methods for studying the biological and molecular genetic properties of the anthrax pathogen (Tutorial). Obolensk: Dynasty. 2021. 239 p.

ИНВАЗИОННЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК: 616.99:636.3(470.23-25)
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.90

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАЗИТОЗОВ ОВЕЦ В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Палавков Е.С.* – асп. каф. паразитологии им В.Л. Якимова (ORCID 0009-0003-0517-2274); **Ширяева В.А. –** канд. ветеринар. наук, доц., доц. каф. паразитологии им В.Л. Якимова (ORCID 0000-0002-9184-8837)

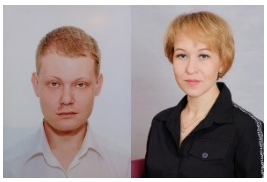
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*Doom.sayer@bk.ru

Ключевые слова: *овцеводство, стронгилятозы, мониезиоз, мюллериоз, эймериоз.*

Keywords*: sheep breeding, strongylatoses, moniesiosis, mulleriosis, eimeriosis.*

Поступила: 30.04.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В настоящей статье отражены исследования, направленные на изучение распространения, а также оценку сезонной и возрастной динамики основных эндопаразитозов мелкого рогатого скота, содержащегося в условиях крестьянских (фермерских) хозяйств Лужского, Ломоносовского и Волосовского районов Ленинградской области. Во всех исследуемых фермерских хозяйствах были зарегистрированы смешанные инвазии. Видовой состав паразитов включал в себя простейших рода Eimeria (*E. intricata, E. parva, E. ashata* с ЭИ до 98%); кишечных нематод (*Trichostrongylus sp., Chabertia ovina, Nematodirus sp.* с ЭИ до 96%); цестод (*Moniezia expansa* с ЭИ до 67%); трематод (*Fasciola hepatica* с ЭИ до 28%); протостронгилид (*Mullerius capillaris* с ЭИ до 43%). Среднее значение ЭИ при этом составило 66,4%. Была определена сезонная, а также возрастная динамика распространения инвазионных болезней на территории исследуемых ферм. Таким образом, пик эймериоза и стронгилятоза наблюдался зимой, мониезиоза — весной и осенью, мюллериоза — летом и осенью, фасциолеза — в ноябре. Возрастная динамика показала, что наибольшее количество яиц гельминтов подотряда *Strongylata* в пробе фекальных масс от больных животных обнаружили у молодняка текущего года рождения (до 93-х яиц/1 г фекальных масс). При этом наибольшее количество яиц цестоды *M. expansa* отмечалось у баранов-производителей в возрасте от 2 до 4 лет (до 62-х яиц/1 г фекальных масс). Высокая инвазия трематодой *F. hepatica* была установлена у овцематок возрастом от 2 до 4 лет (7 яиц/1 исследованная проба). Также зарегистрировали, что наибольшее выделение личинок *M. capillaris* происходило у ярок 7-месячного возраста. При проведении гельминто-

логического вскрытия комплектов внутренних органов от павших ягнят и ярок установили наличие паразитических нематод рода *Chabertia* (*Ch. ovina*). В толстых кишках было обнаружено 25-48 экз./гол.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Паразитарные болезни мелкого рогатого скота в условиях ведения сельского хозяйства, остаются одной из ключевых проблем в животноводстве.

Овцеводство в Ленинградской области, учитывая климатогеографические показатели местности, является неотъемлемой и стремительно развивающейся отраслью сельского хозяйства. Несмотря на это, динамика данного направления сдерживается высокой заболеваемостью животных инвазионными болезнями [2, 3].

Паразитозы мелкого рогатого скота, регистрируемые зачастую сочетано друг с другом, наносят значительный экономический ущерб, снижая продуктивность животных и увеличивая затраты на лечение и профилактику [1, 4, 5, 9].

В данной статье представлены результаты исследования крестьянских овцеводческих хозяйств Лужского, Ломоносовского и Волосовского районов Ленинградской области, проведенного с целью изучения распространения, а также сезонной и возрастной динамики инвазионных болезней среди поголовья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Работа выполнялась в Лужском, Воловоскском и Ломоносовском районах Ленинградской области с 2021 по 2024 годы в условиях фермерских овцеводческих хозяйств.

Клинически обследовано 460 голов овец разных половозрастных групп, в том числе 230 ягнят. Для диагностики использовались общепринятые копрологические методы: флотационные (с применением раствора Дарлинга и универсальной флотационной жидкости) для обнаружения яиц гельминтов и ооцист простейших; лярвоскопические (метод Бермана-Орлова и Вайда) для выявления личинок стронгилят; гельминтологические для изучения члеников цестод, овоскопические (последовательные промывания и седиментация) для обнаружения яиц трематод. Для видовой идентификации ооцист эймерий применяли программу для электронной вычислительной машины – «Каталогизированный справочник эймериид у овец» и электронную базу данных «Определитель кокцидий у овец». Также была использована методика гельминтологических вскрытий по К.И. Скрябину [6, 7, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе предварительных исследований было установлено, что животные, содержащиеся на территории исследуемых фермерских хозяйств, заражены инвазионными болезнями. Видовой состав паразитов включал в себя простейших рода *Eimeria* (*E. intricata, E. parva, E. ashata* с ЭИ до 98%); кишечных нематод (*Trichostrongylus sp., Ch. ovina, Nematodirus sp.* с ЭИ до 96%); цестод (*M. expansa* с ЭИ до 67%); трематод (*F. hepatica* с ЭИ до 28%); протостронгилид (*M. capillaris* с ЭИ до 43%) [4, 5].

Сводные данные по результатам исследований паразитологической ситуации в условиях исследуемых крестьянских (фермерских) хозяйств с учетом максимальной ЭИ обнаруженных возбудителей инвазионных болезней мелкого рогатого скота представлены на рисунке 1.

Эндопаразитозы мелкого рогатого скота в условиях исследуемых фермерских хозяйств регистрировались в течение всех сезонов года. Пик инвазии эймериями и стронгилятами приходился на зиму (ЭИ до 98% и 97% соответственно). Членики мониезий интенсивно выделялись в весенне-осеннее время года, когда наиболее активны почвенные орибатидные клещи, служащие промежуточными хозяевами возбудителя. Пик ЭИ мюллериозом, регистрируемого на территории Фермы 2 Лужского района приходился в летне-осенний период, что связано с особенностями биологического развития возбудителя. Максимальная ЭИ фасциолезом, выявленного на территории Фермы 1

Лужского района наблюдалась в ноябре, что указывает на заражение животных в весенний период с учетом перезимовавших личинок в моллюсках.

Возрастная динамика зараженных овец варьировалась в зависимости от вида паразита, особенностей цикла развития, а также резистентности восприимчивых животных. Результаты исследований поголовья в фермерских хозяйствах представлены в таблице 1.

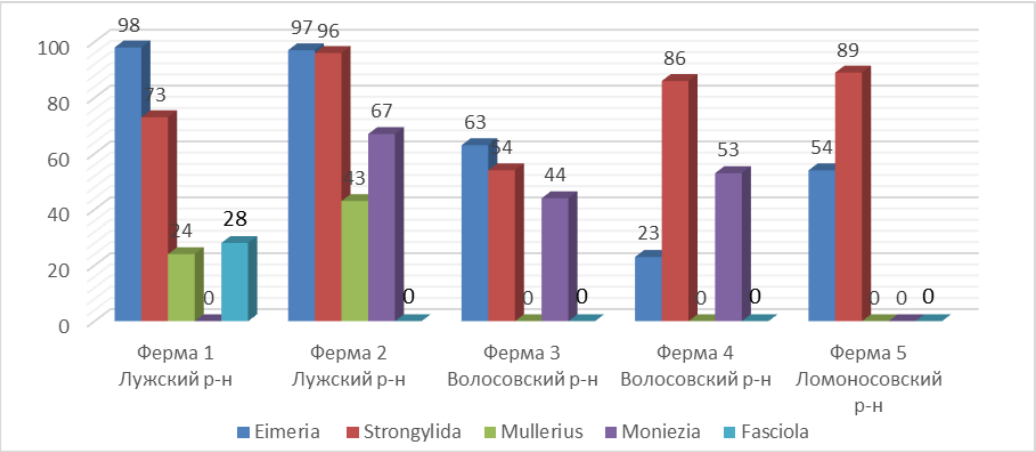


Рисунок 1 – Сводные данные по ЭИ разными видами паразитов на территории исследуемых К(Ф)Х (%).

Таблица 1 – Сводные данные по возрастной динамике распространения возбудителей инвазий

Возбудитель	Возрастные группы				
	ягнята		молодняк	овцематки	бараны
	1-2 мес	3-4 мес	5-6 мес	2-4 года	
Eimeria ЭИ, %	97	67	79	98	91
Strongylida ЭИ, %	58	64	76	92	96
Mullerius ЭИ, %	-	-	9	64	47
Fasciola ЭИ, *%*	-	5	18	28	20
Moniezia ЭИ, %	-	67	53	28	-

Таким образом, на территории исследуемых ферм нематодами желудочно-кишечного тракта и простейшими рода *Eimeria* были заражены все половозрастные группы животных с высокой степенью инвазии. Мониезиозом (*M. expansa*) болел в основном молодняк. Мюллериоз (*M. capillaris*) и фасциолёз (*F. hepatica)* регистрировались преимущественно у взрослых продуктивных животных.

В результате обработки данных по ЭИ возбудителей инвазий среди поголовья, были рассчитаны основные показатели по распространенности паразитарных болезней (% заражения), при помощи использования описательного метода статистики, с расчетом среднего значения и стандартного отклонения по группам, что представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распространенность паразитов у овец (в %, среднее стандартное отклонение)

Возбудитель	Среднее значение ЭИ (%)	Стандартное отклонение
Eimeria	86.4	11.8
Strongylida	77.2	14.9
Mullerius	40.0	23.0
Fasciola	17.8	8.3
Moniezia	49.3	16.1



Рисунок 2 – Морфометрические данные нематоды Ch. ovina (фото ориг. световая микр-я, ув.100).

При проведении гельминтологического вскрытия комплектов внутренних органов от павших ягнят и ярок на территории Фермы 2 установлено наличие множественных кровоизлияний на слизистой оболочке ободочной и прямой кишок. При этом было отмечено наличие в просветах кишок потемневшей от крови слизи, в которой были обнаружены паразитические нематоды. В результате проведенной дифференциальной микроскопии установлено, что размер обнаруженных нематод составляет 15-20 мм, при этом имеется выраженный косо срезанный головной конец с заметно развитой ротовой капсулой полушаровидной формы, а также наличие отверстия вульвы и острого треугольника, расположенных на заднем конце тела. Таким образом, было установлено, что овцы на территории данного фермерского хозяйства инвазированы паразитическими нематодами рода *Chabertia* (*Ch. ovina*), что отражено в рисунке 2.

Интенсивность инвазии (ИИ) от каждого исследуемого комплекта внутренних органов составила 25-48 экз./гол., что отражено в таблице 3. При этом средняя ИИ составляет 35,8 экз./гол.

Таблица 3 – Показатели ИИ нематодами *Ch.ovina*

№ Животного, возраст	Интенсивность инвазии (экз./гол.)
1. Ягненок, 5 месяцев	25
2. Ягненок, 6 месяцев	32
3. Ягненок, 3 месяца	29
4. Ярка, 10 месяцев	48
5.Ярка, 12 месяцев	42
6. Ягненок, 3 месяца	39

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Настоящее исследование эндопаразитозов овец в фермерских хозяйствах Ленинградской области выявило ряд ключевых закономерностей и проблем.

Установлена высокая распространенность смешанных инвазий: среди зарегистрированных случаев их доля составила 65-70%, в то время как моноинвазии встречались реже – в 30-35% обследованных животных. Паразитоценоз включал в себя паразитических простейших рода *Eimeria*, нематод (*Trichostrongylus sp., Ch. ovina, Nematodirus sp*), цестод *M. expansa*, трематод *F. hepatica* и протостронгилид *M. capillaris*. Стоит учитывать, что преобладание двух- и трехкомпонентных инвазий осложняет диагностику и требует более тщательного и дифференцированного подхода к лечению и профилактике.

Среднее значение ЭИ среди обследованных животных составило 66,4%, что свидетельствует о весьма высокой зараженности поголовья эндопаразитами.

Помимо этого, установлены сезонные пики активности эндопаразитов: эймериоз и стронгилятозы достигали своего максимума зимой (ЭИ до 98-97%), мониезиоз — в весенне-осенний период, мюллериоз — летом и осенью, фасциолез — в ноябре. Наибольшая интенсивность инвазии нематодами рода *Chabertia* (*Ch. ovina*) отмечена у ярок (до 48 экз./гол.).

Основными механизмами возникновения и передачи возбудителей инвазионных болезней мелкого рогатого скота являются нарушения условий содержания животных. Таким образом, высокая плотность поголовья на ограниченных территориях приводит к интенсивному загрязнению окружающей среды яйцами, ооцистами и личинками паразитов, что увеличивает вероятность заражения животных. При этом использование несменяемых пастбищ без проведения мероприятий по их оздоровлению приводит к накоплению инвазионного начала на близлежащих территориях. Особенно опасны влажные низинные пастбища, на которых создаются благоприятные условия для развития личинок гельминтов, а также для обитания промежуточных хозяев, обеспечивающих биологическое развитие возбудителей инвазий (участие пресноводных моллюсков рода *Lymnaea* в развитии *F. hepatica* и почвенных клещей семейства *Oribatidae* в жизненном цикле *M. expansa).*

Стоит отметить, что нарушение условий содержания животных внутри животноводческих помещениях также способствует заболеванию овец, учитывая алиментарный и пероральный пути проникновения большинства паразитов через загрязненные корма, воду, кормушки и подстилочный материал.

Перемещение и перегруппировка восприимчивых животных без предварительной диагностики и противопаразитарных мероприятий в целом может приводить к заносу новых видов паразитов и вспышкам инвазионных болезней.

Полученные данные подчеркивают необходимость комплексного подхода к профилактике и лечению паразитарных болезней, что позволит минимизировать риск возникновения экономических потерь и повысить продуктивность животных в условиях интенсивно развивающегося овцеводства в Ленинградской области.

SPREAD OF THE MAIN PARASITOSIS OF SHEEP IN FARMS OF LENINGRAD REGION

Palavkov E.S.* – graduate students of the Department of Parasitology named after V. L. Yakimov (ORCID 0009-0003-0517-2274); **Shiryaeva V.A.** - PhD in Veterinary Sciences, Assoc. Prof. of the Department of Parasitology named after V. L. Yakimov (ORCID 0000-0002-9184-8837)

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine"

*Doom.sayer@bk.ru

ABSTRACT

This article presents the results of studies aimed at studying the distribution and assessing the seasonal and age dynamics of the main endoparasitoses of small cattle kept in peasant (farm) households of the Luga, Lomonosovsky and Volosovsky districts of the Leningrad region. Mixed invasions were registered in all the studied farms. The species composition of the parasites included protozoa of the genus Eimeria (E. intricata, E. parva, E. ashata with EI up to 98%); intestinal nematodes (Trichostrongylus sp., Chabertia ovina, Nematodirus sp. with EI up to 96%); cestodes (Moniezia expansa with EI up to 67%); trematodes (Fasciola hepatica with EI up to 28%); protostrongylids (Mullerius capillaris with EI up to 43%). The average EI value was 66.4%. Seasonal and age dynamics of the spread of invasive diseases on the territory of the studied farms were determined. Thus, the peak of eimeriosis and strongylosis was observed in winter, monieziasis - in spring and autumn, mulleriosis - in summer and autumn, fascioliasis - in November. Age dynamics showed that the highest number of eggs of helminths of the suborder Strongylata in a sample of fecal matter from sick animals was found in young animals of the current year of birth (up to 93 eggs / 1 g of fecal matter). At the same time, the highest number of eggs of the cestode M. expansa was noted in breeding rams aged 2 to 4 years (up to 62 eggs / 1 g of fecal matter). High invasion of the trematode F. hepatica was established in ewes aged 2 to 4 years (7 eggs / 1 sample studied). It was also recorded that the greatest release of M. capillaris larvae occurred in 7-month-old ewes. During the helminthological autopsy of sets of internal organs from dead lambs and ewes, the presence of parasitic nematodes of the genus Chabertia (Ch. ovina) was established. In the large intestines, 25-48 specimens/head were found, which amounted to 16.7% of the parasite burden.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Головина, Н.П. Влияние условий содержания на распространение фасциолеза в овцеводческих хозяйствах / Н.П. Головина, А.Д. Белов // Ветеринарная патология. – 2020. – № 4. – С. 22-28.

2. Иванов, С.М., Кузнецова Е.Д. Мониезиоз овец: патогенез, диагностика и меры борьбы / С.М. Иванов, Е.Д. Кузнецова // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 12(187). – С. 67-73.

3. Королев, А.А. Эймериозы сельскохозяйственных животных: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2022. – 144 с.

Миронова, В.И. Гельминтологические исследования по методике К.И. Скрябина: практикум для ветеринарных врачей. – М.: КолосС, 2021. – 98 с.

4. Палавков, Е. С. Паразитофауна овец романовской и котумской породы в условиях частного фермерского хозяйства Ленинргадской области / Е. С. Палавков, В. А. Ширяева // Современные проблемы общей и частной паразитологии: материалы IV международ. паразитологич. симпозиума, Санкт-Петебругский унив. ветеринар. медицины, Санкт-Петербург, 2022. – С.178-180.

5. Палавков, Е.С. анализ причин возникновения эндопаразитов овец в фермерских хозяйствах лужского района ленинградской области // международный вестник ветеринарии. – 2024. – С 58-64.

6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных No2023624317 Российская Федерация. Электронный определитель кокцидийу овец: No 2023623438:

заявл. 19.10.2023: опубл. 01.12.2023 / Е. С. Палавков, Ю. Е. Кузнецов, Л. М. Белова, В. А. Ширяева.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ No2024616644 Российская Федерация. Каталогизированный справочникэймериид у овец: No 2024615465: заявл. 13.03.2024: опубл. 22.04.2024, Бюл No4 / Р. С. Сидоренко, К. В. Сидоренко, Ю. Е. Кузнецов, Л. М. Белова, Е. С. Палавков, В. А. Ширяева.
8. Сидорова, К.А. Современные методы диагностики стронгилятозов жвачных животных / К.А. Сидорова, А.Н. Петров // Российский паразитологический журнал. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 45-52.
9. Якубовский, М.В. Эпизоотология и профилактика гельминтозов мелкого рогатого скота в Северо-Западном регионе России / М.В. Якубовский, М.И. Гулюкин // Ветеринария. – 2020. – № 8. – С. 34-39.

REFERENCES

1. Golovina, N.P. The influence of housing conditions on the spread of fascioliasis in sheep farms / N.P. Golovina, A.D. Belov // Veterinary pathology. - 2020. - No. 4. - P. 22 -28.
2. Ivanov, S.M., Kuznetsova E.D. Monieziosis of sheep: pathogenesis, diagnostics and control measures / S.M. Ivanov, E.D. Kuznetsova // Agrarian Bulletin of the Urals. - 2019. - No. 12 (187). - P. 67-73.
3. Korolev, A.A. Eimeriosis of farm animals: a tutorial. - St. Petersburg: Lan, 2022. - 144 p.
Mironova, V.I. Helminthological studies according to the methodology of K.I. Skryabina: a practical guide for veterinarians. - M.: KolosS, 2021 .-- 98 p.
4. Palavkov, E. S. Parasite fauna of Romanov and Kotum sheep in a private farm in the Leningrad region / E. S. Palavkov, V. A. Shiryaeva // Modern problems of general and private parasitology: Proceedings of the IV international. parasitological. symposium, St. Petersburg University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, 2022.-- P. 178-180.
5. Palavkov, E. S. Analysis of the causes of sheep endoparasites in farms in the Luga district of the Leningrad region // international veterinary bulletin. - 2024.-- P. 58-64.
6. Certificate of state registration of database No. 2023624317 Russian Federation. Electronic identifier of sheep coccidia: No. 2023623438: declared 19.10.2023: published 01.12.2023 / E. S. Palavkov, Yu. E. Kuznetsov, L. M. Belova, V. A. Shiryaeva.
7. Certificate of state registration of computer program No. 2024616644 Russian Federation. Cataloged reference book of eimeriids in sheep: No. 2024615465: declared 13.03.2024: published 22.04.2024, Bulletin No. 4 / R. S. Sidorenko, K. V. Sidorenko, Yu. E. Kuznetsov, L. M. Belova, E. S. Palavkov, V. A. Shiryaeva.
8. Sidorova, K.A. Modern methods for diagnosing strongylosis in ruminants / K.A. Sidorova, A.N. Petrov // Russian Journal of Parasitology. - 2021. - Vol. 15, No. 3. - P. 45 -52.
9. Yakubovsky, M.V. Epizootology and prevention of helminthiasis in small cattle in the North-West region of Russia / M.V. Yakubovsky, M.I. Gulyukin // Veterinary Science. - 2020. - No. 8. - P. 34-39.

УДК: 619:616.995.121.3
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.97

ОБСЕМЕНЕННОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОДОЕМОВ ЯЙЦАМИ ГЕЛЬМИНТОВ ПО ЗОНАМ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЯСНОСТИ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Кабардиев С.Ш.[*] – д-р ветеринар. наук, гл. науч. сотр., зав. лабораторией (ORCID 0000-0001-6129-8371); **Карпущенко К.А.** – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (0000-0003-4639-241x)

Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт - филиал ФГБНУ «ФАНЦ РД»

[*] pznivi05@mail.ru

Ключевые слова: Кабардино-Балкарская Республика, регион, природно-климатическая зона, санитарно-гигиеническая экспертиза, тип водоема, вода, проба, загрязненность, яйцо, гельминты.

Key words: Kabardino-Balkarian Republic, region, natural and climatic zone, sanitary and hygienic examination, type of reservoir, water, sample, contamination, egg, helminths.

Финансирование: *Исследования проведены согласно Государственной тематике: «Разработать комплексную систему по профилактике и борьбе с распространенными инвазионными болезнями сельскохозяйственных животных и птиц с использованием современных химиотерапевтических и инсектоакарицидных препаратов широкого спектра действия в условиях Северо -Кавказского Федерального округа России».*

Поступила: 18.07.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В статье приведены результаты исследований по определению степени загрязнения проб воды из разных типов водоемов яйцами тениидного типа с учетом зональности и специфики экологических условий на обсемененность инвазионными яйцами и личинками гельминтов. Соседство рек, озер, прудов, арыков, каналов, луж, болот и минеральных источников с инфраструктурой населенных пунктов, а также близость к районам животноводства и наличие беспризорных собак способствуют ухудшению санитарного состояния этих территорий, где санитарно-гельминтологический фактор является одним из основных. Важной задачей является проведение мониторинговых исследований вод на предмет загрязнения яйцами гельминтов, что позволит предотвращать попадание инвазивных яиц и личинок в различные водные экосистемы. Многие научные источники подчеркивают необходимость разработки методов мониторинга, которые помогут оценить санитарно-гигиеническое и эпидемиологическое состояние различных объектов окружающей среды, связанных с их заражением. Зараженность различных водных объектов в зонах вертикальной поясности Республики оценивалась с использованием методов санитарно-паразитологических исследований. Пробы воды исследовались по общепринятым методикам. Анализ данных мониторинга проводили с

помощью биометрических методов, статистическая обработка материалов осуществлялась с помощью компьютерной программы «Биометрия». Установлено, что в равнинной, предгорной и горной зонах эти водные объекты, за исключением минеральных источников, в весенние, летние и осенние месяцы демонстрируют умеренную и сильную обсемененность инвазионными яйцами и личинками гельминтов. Показатели загрязненности водоемов яйцами гельминтов, были выше в неблагоустроенных прибрежных зонах рек, соседствующих с частными домами, огородами, фермами, садами и другими сельскохозяйственными объектами, что создает санитарно-гигиеническую угрозу и риск для животных и населения.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Нематоды семейства – Anisakidae (Toxocara canis), Ascarididae (Ascaris lumbricoides), Oxyuridae (Enterobius vermicularis); Цестоды семейства – лентецы (Diphyllobothrium latum) и трематоды семейства - Opisthorchidae **(**Opisthorchis viverrini) у плотоядных, сельскохозяйственных животных входят в перечень опасных возбудителей в РФ и в мире, у которых активность эпизоотического процесса повышается с Востока на Запад и с Севера на Юг.

Очаги заражения гельминтами, которые могут поражать как животных, так и людей, становятся всё более распространенными в различных регионах страны. Особенно остро эта проблема стоит на Северном Кавказе, где паразитозы встречаются повсеместно, создавая риск заражения для человека.

Вода играет критически важную роль в распространении многих паразитарных заболеваний, вызываемых гельминтами и простейщими.

Согласно статистике ВОЗ, водный путь передачи является одним из наиболее распространенных для паразитарных инвазий человека, занимая третье место по частоте встречаемости. В рамках эпидемиологического расследования вспышек инфекционных заболеваний, анализ водных объектов на наличие возбудителей гельминтозов и протозоозов является приоритетным, учитывая их прямое влияние на распространение и увеличение заболеваемости как в человеческой, так и в животной популяции [1, 2, 3, 4, 5].

Вода, содержащая инвазионные яйца и личинки гельминтов представляет угрозу для людей и животных, вызывая разнообразные заболевания [6, 7, 8, 9, 10,11]. Близость водных объектов (различных типов) к инфраструктуре населенных пунктов и животноводческим комплексам в Кабардино-Балкарской Республике, в сочетании с неконтролируемым содержанием собак, обусловила ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки, в частности, повышение риска гельминтозных инвазий.

Исследование проб воды из водоемов, выявило зависимость степени обсемененности яйцами гельминтов от зон вертикальной поясности, и экологических факторов, определяющих благоприятность условий для развития и распространения инвазии.

Показатели обсемененности воды яйцами паразитов были выше на неблагоустроенных прибрежных территориях рек, примыкающих домовладениям, огородам, фермам, садам, другим сельскохозяйственным объектам.

В настоящее время актуальной проблемой является реализация программ мониторинга на наличие загрязнения яйцами гельминтов, позволяющих предотвращать возможность их попадания в различные водные объекты [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Многие литературные источники указывают на необходимость изыскания методов мониторинга, позволяющего определить санитарно-гигиеническое и эпидемиологическое состояния различных объектов окружающей среды, связанных с их заражением [18, 19, 20, 21].

Цель исследований – изучение зараженности различных типов водоемов (рек, озер, прудов, арыков, каналов, луж, мочажин и минеральных источников)

инвазионными яйцами и личинками в зонах вертикальной поясности Кабардино -Балкарии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования по определению загрязнения проб воды различных типов водоемов яйцами гельминтов разного вида в различных зонах вертикальной поясности Кабардино-Балкарии проводились на территории республики и в лаборатории института в период с весны 2023 по весну 2024 года, включая летние, осенние и зимние месяцы.

Зараженность разных водных объектов в зонах вертикальной поясности республики определяли с помощью методов санитарно - паразитологических исследований. (МУК «Методы санитарно-паразитологических исследований» (№ 4.2.796 99. М., 2000)).

Исследование проб воды проводили с применением общепринятых методик. (МУ № 1440-76 «Методические указания по гельминтологическому исследованию объектов внешней среды и санитарным мероприятиям по охране от загрязнения яйцами гельминтов и обезвреживанию от них нечистот, почвы, овощей, ягод, предметов обихода»).

В Кабардино-Балкарской Республике, на загрязненность воды разных типов водоемов яйцами гельминтов разных видов обследовано 135 водных объектов - в равнинной зоне, 123- предгорной и 74 - горной зоне.

Для проведения исследований брали по 100 мл воды из каждого источника в равнинной, предгорной и горной зонах. Наличие яиц гельминтов в обследуемых объектах устанавливали, используя методы гельминтоовоскопии по Фюллеборну, в различные сезоны.

Анализ данных мониторинга проводили с помощью биометрических методов, а статистическая обработка материалов осуществлялась с помощью компьютерной программы «Биометрия».

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Определение загрязнения проб воды из разных типов водоемов яйцами гельминтов разного вида в зонах вертикальной поясности региона, указало на прямое и косвенное влияние зональности и специфики экологических условий на обсемененность инвазионными элементами гельминтов. Близость водных источников, в зонах вертикальной поясности к городским и сельским поселениям, с животноводческим уклоном и отсутствие культуры ведения отрасли - важное звено в цепи санитарно - гигиенического неблагополучия региона. Установлено, что в зонах вертикальной поясности республики (равнина, предгорье, горы) все эти водные объекты в весенние, летние и осенние месяцы, кроме минеральных источников, являются умеренно и сильно обсемененными инвазионными элементами зоонозных видов гельминтов.

Как видно из таблицы 1, в равнинной зоне, водные объекты на 70,0% - рек, 50,0% -озер, 70,0% - прудов, 33,3% - арыков, 75,0% - каналов, 100% - луж, 100% - мочажин загрязнены яйцами тениидного типа (токсокар, аскарид, лентеца широкого, описторхиса и остриц), при обнаружении яиц в количестве, соответственно, 16,7±2,8; 17,3±2,9; 13,4±2,5; 16,7±2,8; 15,1±1,7; 19,8±3,2; 18,3±2,0 экз. на 1 пробу с объекта.

В предгорной зоне 50,0-100% водных объектов (рек, озер, прудов, арыков, каналов, луж и мочажин) были загрязнены вышеуказанными яйцами гельминтов, при вариации яиц в количестве, соответственно, 22,5±3,2-26,7±4,3 экз. на 1 пробу с объекта (Табл. 2).

В горной зоне вода бассейнов 25,0% рек, 20, % озер, 28,6% прудов, 83,3% луж, 92,6% мочажин, 11,1% минеральных источников были загрязнены яйцами гельминтов, при обнаружении яиц 15,6 - 22,4 экз. на 1 пробу с объекта (Табл. 3).

Анализ результатов исследований позволил разработать схему циркуляции яиц гельминтов и определить основные пути обсеменения бассейнов рек, озер, прудов, арыков, каналов, луж, мочажин и минеральных источников в равнинной, предгорной и горной зоне, как фактора передачи гельминтозов.

Таблица 1– Обсемененности разных типов водоемов яйцами гельминтов в равнинной зоне Кабардино-Балкарской Республики. n=135 объектов

Водные объекты	Исследовано все-го	Кол-во Загрязненных объектов/%	Загрязненные объекты яйцами тениидного типа, (число выявленных проб)					Количество яиц (в 100 мл)
			Яйца токсокар	Яйца аскарид	Яйца лентеца широкого	Яйца описторхиса	Яйца остриц	
Реки	10	7/70	43	10	7	6	2	16,7±2,8
Озера	8	4/50,0	26	7	4	3	1	17,3±2,9
Пруды	10	7/70,0	46	9	5	3	1	13,4±2,5
Арыки	15	8/33,3	31	6	4	2	-	16,7±2,8
Каналы	12	9/75,0	48	8	3	1	-	15,1±1,7
Лужи	30	30/100,0	55	12	5	4	3	19,8±3,2
Мочажины	50	50/100,0	65	14	6	5	4	18,3±2,0
В среднем по зоне	135	115/85,1	45	10	5	4	2	16,7±2,6

Таблица 2– Обсемененность разных типов водоемов, яйцами гельминтов в предгорной зоне Кабардино-Балкарской Республики, n=123 объекта

Водные объекты	Исследовано объектов, всего	Кол-во Загрязненных объектов/%	обнаруженные яйца тениидного типа, (число выявленных проб)					Количество яиц (в 100 мл)
			Яйца токсокар	Яйца аскарид	Яйца лентеца широкого	Яйца описторхиса	Яйца остриц	
Реки	10	5/50,0	52	13	9	8	4	24 ,3±3,8
Озера	6	4/66,7	33	9	6	5	2	23,2±3,4
Пруды	12	7/58,3	57	15	7	5	1	24,5±3,2
Арыки	15	9/60,0	41	10	8	4	-	23,6±3,4
Каналы	10	7/70,0	56	14	7	2	-	26,7±4,3
Лужи	24	24/100,0	64	20	12	6	5	22,5±3,2
Мочажины	46	46/100,0	73	26	16	7	7	25,2±3,9
В среднем по зоне	123	102/82,9	54	15	9	5	3	24,2±3,6

Показатели обсемененности воды яйцами паразитов выше на неблагоустроенных прибрежных территориях рек, примыкающих домовладениям, огородам, фермам, садам, другим сельскохозяйственным объектам.

Ежегодный сброс неочищенных сточных вод в водоемы Кабардино-Балкарской Республики составляет приблизительно более 60 млн. м³. Использование этих стоков для ирригации и осадков сточных вод в качестве удобрений на приусадебных участках представляет риск обсеменения почвы и сельскохозяйственных культур инвазионными яйцами и личинками гельминтов, что повышает вероятность заражения людей и животных.

Анализ неочищенных и очищенных сточных вод выявил, что даже после очистки стоки, сбрасываемые в водоемы, сохраняют контаминацию яйцами гельминтов и являются источником инвазионного материала. Расчеты показали, что каждый литр сточных вод, сбрасываемых в бассейн реки Терек, содержит от 1,9 до 4,2 экземпляров яиц указанных гельминтов. Сточные воды животноводческих

комплексов, сбрасываемые в водоемы без предварительной обработки, характеризуются высокой степенью обсемененности указанными паразитами.

Водная среда 135 объектов равнинной зоны, 123– предгорной, 74 – горной зоны Кабардино-Балкарской Республики в разной степени не благополучны в отношении загрязненности яйцами гельминтов и представляет санитарно-гигиеническую угрозу и риск для животных и населения.

Таблица 3 – Обсемененность разных типов водоемов, яйцами гельминтов, в горной зоне Кабардино-Балкарской Республики, n=74 объекта

Водные объекты	Исследовано, всего	Кол-во Загрязненных объектов/%	Загрязненные объекты яйцами тениидного типа, (число выявленных проб)					Количество яиц (в 100 мл)
			Яйца токсокар	Яйца аскарид	Яйца ленточника широкого	Яйца описторхиса	Яйца остриц	
Реки	8	2/25,0	28	7	4	3	2	20,2±3,4
Озера	5	1/20,0	17	5	3	2	-	17,4±3,2
Пруды	7	2/28,5	30	8	3	2	-	15,6±3,4
Лужи	18	15/83,3	11	3	4	1	2	18,3±3,2
Мочажины	27	25/92,6	12	4	5	3	2	22,4±3,9
Минер источ.	9	1/11,1	1	1	-	-	-	-
В среднем по зоне	74	46/62,1	14	4	3	2	1	13,4±3,4

Таблица 4 – Средняя обсемененность водных объектов яйцами гельминтов в Кабардино-Балкарской Республике по сезонам года

Вертикальная зональная поясность	Исследовано всего объектов	Кол-во Загрязненных объектов/%	Загрязненные объекты яйцами тениидного типа, (число выявленных проб)					Количество яиц (в 100 мл)
			Яйца токсокар	Яйца аскарид	Яйца ленточника широкого	Яйца описторхиса	Яйца остриц	
Весенний период								
Равнина	135	115/85,1	45	10	5	4	2	16,7±2,6
Предгорная	123	102/82,9	54	15	9	5	3	24,2±3,6
Горная	74	46/62,1	14	4	3	2	1	13,4±3,4
Летний период								
Равнина	135	122/90,3	56	14	7	4	2	19,6±2,9
Предгорная	123	112/91,0	63	17	12	6	5	26,4±3,9
Горная	74	62/83,7	23	7	6	3	3	15,5±3,8
Осенний период								
Равнина	135	112/82,9	47	11	4	3	1	12,5±2,8
Предгорная	123	92/74,7	55	8	9	4	2	22,2±2,9
Горная	74	41/55,4	18	3	3	1	2	10,2±2,3
Зимний период								
Равнина	135	3/2,2	2	1	-	-	-	-
Предгорная	123	1/0,8	1	-	-	-	-	-
Горная	74	-	-	-	-	-	-	-

Средние значения обсемененности водных объектов яйцами гельминтов в Кабардино -Балкарской Республике (по сезонам года)

Сезонные колебания в зараженности водоемов яйцами тениидного типа обусловлены периодами повышенной обсемененности. Устойчивость яиц тениид к факторам внешней среды позволяет им сохранять инвазионность в течение длительного времени.

Результаты проведенных исследований показали, что сезонные колебания в зараженности водных объектов Кабардино- Балкарской Республики, яйцами разных видов гельминтов зависят от природно - климатических условий. В равнинных, предгорных и горных районах, за исключением минеральных источников, в весенний, летний и осенний периоды в воде обнаружено значительное и умеренное заражение инвазионными яйцами и личинками гельминтов. В зимний период обнаруживали единичные случаи, яиц гельминтов, не имеющих эпизоотического значения.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Установлено, что пробы воды, взятые из водных объектов умеренно и сильно обсеменены инвазивными элементами гельминтов разного вида.

Так, например, в равнинной зоне большинство водных объектов заражены яйцами (токсокар, аскарид, лентеца широкого, описторхиса и остриц), в различных пропорциях: реки - 70,0%, озера-50,0%, пруды - 73,3%, арыки - 65,0%, каналы - 75,0%, лужи - 100%, мочажины - 100%. Количество обнаруженных яиц гельминтов составляло в среднем от 13,4±2,5 до 19,8±3,2 экз./ 100 мл пробы с каждого объекта.

В предгорной зоне большинство водных объектов заражены яйцами гельминтов в диапазоне от 50,0% до 100%. Количество обнаруженных яиц составляло от 22,5±3,2 до 26,7±4,3 экз./100 мл с каждого объекта.

В горной зоне водные объекты загрязнены яйцами паразитов в реках - 25,0%, в озерах - 20,0%, в прудах - 28,6%, в лужах - 83,3%, в мочажинах - 92,6% и в минеральных источниках - 11,1%. Количество обнаруженных яиц составляло 15,6 - 22,4 экз. на 1 пробу с объекта.

Водная среда 135 объектов равнинной зоны, 123 – предгорной, 74 – горной Кабардино-Балкарской Республики в разной степени не благополучны в отношении загрязненности яйцами указанных гельминтов и представляет санитарно-гигиеническую угрозу с риском для животных и населения.

Сезонная динамика зараженности водных объектов Кабардино-Балкарской Республики яйцами гельминтов разного вида обусловлена природно-климатическими факторами. В равнинных, предгорных и горных ландшафтах, за исключением зон минеральных источников, в весенне-летне-осенний период отмечается значительная и умеренная контаминация воды яйцами указанных гельминтов. В зимний период регистрируются спорадические находки инвазионных яиц, не имеющих эпизоотического и эпидемиологического значения.

INFECTION OF DIFFERENT TYPES OF WATER BODIES WITH HELMINTH EGGS IN THE ZONES OF VERTICAL CLEARING IN THE KABARDINO-BALKAR REPUBLIC

Kabardiev S.Sh.* – Doctor of Veterinary Sciences, Chief researcher, head of laboratory (ORCID 0000-0001-6129-8371); **Karpuschenko K.A.** – Candidate of Veterinary Sciences, presenter Researcher (ORCID 0000-0003-4639-241x).

Pre-Caspian Zonal Veterinary Research Institute - branch of FGBNU "FANZ RD"

* pznivi05@mail.ru

***Financing**: Studies have been carried out according to the state theme: "To develop a comprehensive system for the prevention and combat of common invasive diseases of agricultural animals and birds using modern chemotherapeutic and insectoacaricidal drugs in the conditions of the North - Caucasus Federal District of Russia."*

ABSTRACT

The article presents research results on determining the degree of contamination of water samples from different water bodies with taeniid-type eggs, considering zonality and specific ecological conditions for infestation with invasive eggs and helminth larvae. The proximity of rivers, lakes, ponds, ditches, canals, puddles, swamps, and mineral springs to populated areas, as well as their closeness to livestock farming regions and the presence of stray dogs, contributes to the deterioration of the sanitary condition of these territories, where the sanitary-helminthological factor is a primary concern. A crucial task is conducting water monitoring studies for helminth egg contamination, which will help prevent the entry of invasive eggs and larvae into various aquatic ecosystems. Many scientific sources emphasize the need to develop monitoring methods to assess the sanitary and epidemiological state of various environmental objects related to their contamination. The contamination of various water bodies in the vertical zonation zones of the Republic was assessed using sanitary-parasitological research methods. Water samples were investigated using generally accepted techniques. Monitoring data analysis was carried out using biometric methods, and statistical processing of materials was performed using the "Biometry" computer program. In plain, foothill, and mountain zones, these water bodies, excluding mineral springs, exhibit moderate to high contamination with helminth eggs and larvae during spring, summer, and autumn. Contamination levels were higher in poorly maintained riverbanks adjacent to private homes, gardens, farms, orchards, and other agricultural facilities, posing a sanitary and hygienic threat and risk to animals and the population.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Болатчиев, К.Х. Санитарно-паразитологический мониторинг сточных вод в Карачаево-Черкесской Республике / К.Х. Болатчиев, Ф.К. Цекапибзева, Л.А. Ермакова // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2016. –№17. – С. 89-91. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28164088

2.Димидова, Л.Л. Объекты окружающей природной среды, как факторы передачи паразитозов / Л.Л. Димидова, И.В. Хуторянина, М.П. Черникова [и др.] // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2019.– № 20. – С. 194-199. – DOI 10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.194-199

3. Димидова, Л.Л. Санитарно-эпидемиологическая оценка качества сточных вод и их осадков по паразитологическим показателям / Л.Л. Димидова, Е.П. Хроменкова, О.С. Думбадзе [и др.] // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями.– 2015.– №16.–С.123-124. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28885785

4. Методы санитарно-паразитологического анализа воды: методические указания МУК 4.2.2314-08. - Москва, 2008.

5.Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы санитарно-паразитологических исследований: методические указания МУК 4.2.2661-10. - Москва, 2010.

6. Хроменкова, Е.П. Структура эпидемиологической значимости объектов окружающей среды в санитарной паразитологии / Е.П Хроменкова, Л.Л. Димидова ., Т.И Твердохлебова ., А.В. Упырев , И.В Хуторянина // Ж «Здоровье населения и среда обитания -ЗНиСО». –2015.– № 7.– С. 46-49. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23867538

7.Ерофеева, В.В. Социально-экологические аспекты распространения антропозоонозов/ В.В. Ерофеева, Г.Н.Доронина, О.М. Родионова, А.А Костина. //Ж. «Современные проблемы науки и образования». –2019. – № 4. – С. 68-72. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39251236

8.Кузнецова, К.Ю., Проблемы обеспечения эффективного паразитологического контроля на территории Российской Федерации/ К.Ю. Кузнецова, М.М. Асланова, М.А. Кузнецова, О.В. Руднева, Т.Р Мания, А.В. Загайнова //Гигиена и сани-

тария. – 2022. – № 101(8). – С. 896-903. – DOI 10.47470/0016-9900-2022-101-8-896-903

9.Беспалова, Н.С. Нозологический профиль паразитарной патологии домашних плотоядных г. Алексеевка Белгородской области/ Н.С. Беспалова, Д.В. Денисова// Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2022. – № 23.– С. 83-86. DOI 10.31016/978-5-6046256-9-9.2022.23.83-86

10. Попова, А.Ю. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – 2019. – 286 с.

11. Давыдова, И.В. Гельминтозы, регистрируемые на территории Российской Федерации: эпидемиологическая ситуация, особенности биологии паразитов, патогенез, клиника, диагностика, этиотропная терапия// Ж. «Consilium Medicum». – 2017. – № 19 (8). – С. 32–40.– DOI 10.26442/2075-1753_19.8.32-40

12. Асланова, М.М. Основные проблемы эпидемиологического мониторинга за паразитозами на территории Российской Федерации/ М.М. Асланова, К.Ю Кузнецова, А.В Загайнова, О.О. Синицына, Ф.М Шихбабаева, А.В. Рудинский // Здоровье населения и среда обитания. – ЗН и СО. – 2018. – № 3. – С. 29-31.– DOI 10.35627/2219-5238/2018-300-3-29-31.

13.Болатчиев, К. Х. Результаты санитарно-паразитологического мониторинга объектов окружающей среды для обеспечения биологической безопасности населения страны//Российский паразитологический журнал. – 2019. – Т. 13. № 4.– С.25-31. – DOI 10.31016/1998-8435-2019-13-4-25-31.

14. Аркелова, М.Р. Оценка эпизоотологической и вероятной эпидемиологической опасности эхинококкозной инвазии в южных регионах России / М.Р. Аркелова и др. //Ветеринария Кубани. –2022. – № 1. – С. 34-36. DOI 0.33861/2071-8020-2022-1-34-36. Режим доступа: https://elibrary.ru/ipkyra

15. Моськина, О.В. Контаминация яйцами гельминтов сточных вод и их осадков на изучаемых территориях ХМАО–Югры/ О.В. Моськина, Н.С. Малышева, М.В Касаткина и др.//Инфекционные болезни. – 2022. – № 20(2). – С. 63–67. DOI 10.20953/1729-9225-2022-2-63-67.

16.Биттиров, А.М. Комплексная оценка загрязнения яйцами Toxocara canis объектов и инфраструктуры региона Северного Кавказа/ А.М. Биттиров, А.А. Газаева, С.А. Бегиева, А.А Биттирова., Ф.Б. Уянаева// Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97. – № 4.– С. 301-305. . DOI 10.47470/0016-9900-2018-97-4-301-305

17. Болатчиев, К.Х. Эпидемиологические и эпизоотологические особенности гидатидозного эхинококкоза в Карачаево-Черкесской Республике/ К.Х. Болатчиев и др. // Ж. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями, 2019. С. 141-145. DOI 10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.141-145.

18. Delrina, S. Control Uncinaria stenocephala Rail, 1884; Raileiet, 1885 of canis/ S. Delrina// Amer. J. Vet. res. –2020. –V.80. 26. P.2125-2138

19. Гогушев, З.Т. Эпизоотологическая циркуляция эхинококкоза собак и коз с оценкой фертильности Echinococcus granulosus в Карачаево-Черкесии/ З. Т. Гогушев*, М. Р. Аркелова, К. Х. Болатчиев,* [и др.] // Ветеринарная патология. –2022.– № 1 (79).– С. 22-29. DOI 10.25690/VETPAT.2022.94.22.009

20.Judge, D.M. Echinococcus granulosus, Toxocara canis, Ancylostoma caninum и Uncinaria stenocephala Rail, 1884; Raileiet, 1885 of canis/ D.M. Judge, S.W. Kemmerer // Parasit. Pesbs. And. Amsterdam. – 2019.– P. 123-133.

21. Домацкий, В. Н., Сивкова Е. И. Почва как фактор инвазирования человека и животных токсокарозом/ В. Н. Домацкий, Е. И. Сивкова //Ж. «Ветеринария Кубани». –2023.–№ 2.– С. 45-49. – DOI 10.33861/2071-8020-2023-2-45-49. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=54732819

REFERENCES

1. Bolatchiev, K.Kh. Sanitary-

parasitological monitoring of wastewater in the Karachay-Cherkess Republic / K.Kh. Bolatchiev, F.K. Tsekapibzeva, L.A. Ermakova // Theory and practice of the fight against parasitic diseases. –2016. — No. 17. – P. 89-91. Access mode: https://www.elibary.ru/item.asp?id=28164088. (In Russ.).
2. Dimidova, L.L. Objects of the environment, as factors for the transmission of parasitosis / L.L. Dimidova, I.V. Khutoryanina, M.P. Chernikova [et al.] // Theory and practice of the fight against parasitic diseases. 2019.– No. 20.–P. 194-199. -DOI 10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.194-199. (In Russ.).
3. Dimidova, L.L. Sanitary and epidemiological assessment of the quality of wastewater and their precipitation for parasitological indicators / L.L. Dimidova, E.P. Khromenkova, O.S. Dumbadze [et al.] // Theory and practice of the fight against parasitic diseases. –2015.– No. 16.– P.123-124. Access mode: https://www.elibary.ru/item.asp?id=28885785. (In Russ.).
4. Methods of sanitary-parasitological analysis of water: Methodical instructions of the MUK 4.2.2314-08. – Moscow, 2008. (In Russ.).
5. Methods of control. Biological and microbiological factors. Methods of sanitary-parasitological studies: Methodological instructions of MUK 4.2.2661–10. – Moscow, 2010. (In Russ.).
6. Khromenkova, E.P. The structure of the epidemiological significance of environmental objects in sanitary parasitology / E.P. Khromenkova, L.L. Dimidova., T. Tvekhlebova., A.V. Upyrev, I. in the Khutorinan // F "Health of the population and the habitat – Zniso." –2015.– No. 7.– P. 46-49. Access mode: https://www.elibary.ru/item.asp?id=23867538. (In Russ.).
7. Eorofeeva, V.V. Socio-ecological aspects of the spread of anthropozones/ V.V. Erofeeva, G.N. Doronin, O.M. Rodionova, A.A. Kostin. //AND. "Modern problems of science and education." –2019. –No. 4.– P. 68-72. Access mode: https://www.elibary.ru/item.asp?id=39251236 . (In Russ.).
8. Kuznetsova, K.Yu., the problems of ensuring effective parasitological control in the territory of the Russian Federation/ K.Yu. Kuznetsova, M.M. Aslanova, M.A. Kuznetsova, O.V. Rudneva, T. Rania, A.V. Zagaynova // Hygiene and Sanitaria. - 2022. - No. 101 (8). – P. 896-903.– DOI 10.47470/0016-9900-2022-101-8-896-903. (In Russ.).
9. Bespalova, N.S. The nosological profile of the parasitic pathology of the homemade carnivorous G. Alekseevka Belgorod region/ N.S. Bespalova, D.V. Denisova // Theory and practice of the fight against parasitic diseases. – 2022.– No. 23.– P. 83-86. – DOI 10.31016/978-5-6046256-9-9.2022.23.83-86. (In Russ.).
10. Popova, A.Yu. On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2017: State report. - M.: The Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. – 2019. –286 p. (In Russ.).
11. Davydova, I.V. Helminthoses registered in the Russian Federation: epidemiological situation, features of parasite biology, pathogenesis, clinic, diagnosis, etiotropic therapy // J. “Consilium Medicum”. – 2017. – No. 19 (8). –P. 32–40.– DOI 10.26442/2075-1753_19.8.32-40. (In Russ.).
12. Aslanova, M.M. The main problems of epidemiological monitoring for parasitosis in the Russian Federation/ M.M. Aslanova, K.Yu Kuznetsova, A.V. Zagaynova, O.O. Sinitsyna, F. M. Shikhbabaeva, A.V. Rudinsky // Population and habitat health. – ZN and CO. –2018.– No. 3.– P. 29-31.– DOI 10.35627/2219-5238/2018-300-3-29-31. (In Russ.).
13. Bolatchiev, K. Kh. The results of sanitary -parasitological monitoring of environmental objects to ensure the biological safety of the country's population // Russian Parasitological Journal. –2019.-T. 13. No. 4.– P. 25-31. – DOI 10.31016/1998-8435-2019-13-4-25-31. (In Russ.).
14. Arkelova, m. Assessment of the epizootological and probable epidemiological danger of echinococcal invasion in the southern regions of Russia / m. Arkelova et al. // Veterinary medicine in the Kuban. –2022. – No. 1.– P. 34-36. – DOI 0.33861/2071-8020-

2022-1-34-36. Access mode: https:// elibory.ru/ipkyra. (In Russ.).
15. Moskina, O.V. Contamination by eggs of wastewater helminths and their precipitation in the studied territories of the Khanty - Mansi Autonomous Okrug -South/ O.V. Moskina, N.S. Malysheva, M. Kasatkina, etc.// Infectious diseases. –2022. – No. 20 (2). –P. 63–67. – DOI 10.20953/1729-9225-2022-2-63-67. (In Russ.).
16. Bittirov, A.M. A comprehensive assessment of pollution eggs toxocara canis objects and infrastructure of the region of the North Caucasus/ A.M. Bittirov, A.A. Gazaeva, S.A. Begiev, A.A. Bittirova., F.B. Uyanaeva // Hygiene and sanitation. –2018.– T.97.– No. 4.– P. 301-305. – DOI 10.47470/0016-99-2018-97-4-301-305. (In Russ.).
17. Bolatchiev, K.Kh. The epidemiological and epizootological features of hydatidic echinococcosis in the Karachay-Cherkess Republic/ K.Kh. Bolatchiev et al. // J. Theory and practice of the fight against parasitic diseases. – 2019.– P. 141-145.– DOI 10.31016/978-5-902340-8-6.2019.141-145. (In Russ.).
18. Delrina, S. Control UNCINARIA STENOCEPHALA RAIL, 1884; Raileiet, 1885 of Canis/ S. Delrina // American. J. Vet. Res. –2020. –V.80. 26.– P. 2125-2138
19. Gogushev, Z.T. The epizootological circulation of echinococcosis of dogs and goats with an assessment of the fertility of Echinococcus Granulosus in Karachay-Cherkessia/ Z. T. Gogushev, M. R. Arkelov, K. H. Bolatchiev, [et al.] // Veterinary pathology. –2022.– No. 1 (79) .– P. 22-29. – DOI 10.25690/Vetpat.2022.94.22.009. (In Russ.).
20.Iudge, D.M. Echinococcus Granulosus, Tokhosaga Canis, ANCYLOSTOMA Caninum and UNCINARIA STENOCEPHALA RAIL, 1884; Raileiet, 1885 of Canis/ D.M. Judge, S.W. Kemmerer // Parasit. Pesbs. And. Amsterdam. –2019.– P. 123-133.
21. Domatsky V.N., Sivkova E. I. Soil as a factor in the invasion of humans and animals toxocarosis/V. N. Domatsky, E. I. Sivkova // g. "Veterinary Kuban." –2023.– No. 2.– P. 45-49. DOI 10.33861/2071-8020-2023-2-45 -49. Access mode: https://elibory.ru/ item.asp?id=54732819. (In Russ.).

УДК: 593.1:598.37(571.6)
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.107

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ СКРЕБНЕЙ ПРИ ГЕЛЬМИНТОЛОГИЧЕСКОМ ВСКРЫТИИ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ (*PUSA SIBIRICA*)

Суворова И.В. [1] – гл. ветеринар. врач (ORCID 0000-0001-8186-7092); **Макарова Д.А.** [2] – студ. 5 курса (ORCID 0009-0000-6677-3979); **Забровская А.В.** [*2] – д-р ветеринар. наук, доц. каф. паразитологии им. В.Л. Якимова (ORCID 0000-0003-2655-7555)

[1] Центр океанографии и морской биологии «Москвариум»
[2] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*beringa20@mail.ru

Ключевые слова: *Байкальская нерпа, ластоногие, озеро Байкал, гельминты, скребни*

Key words: *Baikal seal, pinnipeds, Lake Baikal, helminths, scrapers.*

Поступила: 30.04.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Байкальская нерпа (*Pusa sibirica*) является эндемичным видом для данного водоема, питается исключительно рыбой, принадлежащей ко многим видам, обитающим как на поверхности, так и на глубине более 400 метров в различных регионах озера. У нерп паразитируют как экто-, так и эндопаразиты, в том числе цестоды и нематоды кишечной и легочной локализации. Кроме того, нерпы могут быть случайными хозяевами паразитов, свойственных для других видов животных. В статье представлены результаты исследования скребней, отобранных при гельминтологическом вскрытии из желудочно-кишечного тракта байкальских нерп во время проведения ежегодной научно-исследовательской экспедиции Байкальского отделения ВНИРО по изучению численности, мониторингу территориального распределения и роли байкальской нерпы в замкнутой экосистеме озера Байкал в Чивыркуйском заливе в октябре 2020-2022 годов. Биологический материал был помещен в 70% и 96% спирте в индивидуальные пробирки и исследован методом световой микроскопии и с помощью компрессориума. Видовую принадлежность скребня определяли по таким признакам как форма тела, наличие и расположение хоботка, количество крючьев на хоботке (сколько рядов и сколько в одном ряду) и их отсутствие на теле, размер паразита, его локализация в организме байкальской нерпы. Наши исследования показали, что найденные скребни в просвете желудочно-кишечного тракта байкальской нерпы принадлежат виду *Metechinorhynchus truttae*, который паразитирует в кишечнике рыб озера Байкал. При поедании нерпами, рыбы, зараженной *M. truttae*, происходит переваривание как тканей рыбы, так и гельминтов, что не оказывает влияние на здоровье нерп.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Байкальская нерпа (*Pusa sibirica*) является видом, эндемичным для озера Байкал и занесена в Красный список Международного союза охраны природы. Байкальская нерпа замыкает трофическую цепочку озера Байкал, является ихтиофагом и регулирует численность рыбы. Доказано, что нерпа способствует сохранению промысловых рыб, и в частности, байкальского омуля. В состав питания нерпы по разным источникам входит от 19 до 29 видов рыб, несколько видов байкальских бычков, мелкие ракообразные. Основу питания байкальской нерпы составляют большая и малая голомянки, длиннокрылая и желтокрылая широколобки, в меньшей степени – каменная и песчаная широколобки и лососевидные. Данные виды рыб обитают на широком диапазоне глубин, от поверхности до более 400 метров. Существуют сезонные и географические колебания в рационе нерп, а также различия в видовом составе рыб, потребляемых в пищу самцами и самками [1, 2, 3].

По данным ряда авторов, в желудочно -кишечном тракте (ЖКТ) ластоногих паразитируют трематоды, некоторые из которых могут передаваться при поедании ракообразных или рыбы. Из представителей класса Cestoda у ластоногих широко распространены Diphillobothriidae и Tetrabothriidae, в жизненном цикле которых также присутствуют рыбы и ракообразные. Также у ластоногих встречаются скребни рода *Corynosoma* паразитирующие в желудочно-кишечном тракте и способные вызывать тяжелые поражения кишечника, вплоть до перфорации. Представители типа Nemathlelminthes у ластоногих наиболее многочисленны и представлены в различных тканях организма: желудочно-кишечный тракт, легкие, мышечная ткань, сердечно-сосудистая система [4, 5, 6].

Поскольку байкальская нерпа, в отличие от других ластоногих, находится в замкнутой водной системе и обитает в пресной воде, в рацион входит ограниченное количество видов пресноводной рыбы, гельминтофауна данного вида животных имеет свои специфические особенности.

В желудке или тонком кишечнике у нерп паразитируют нематоды *Contracaecum osculatum baicalensis* По данным ряда авторов, экстенсивность инвазии (ЭИ) составляла до 90%, интенсивность инвазии (ИИ) – от1 д 360 особей, гельминты локализуются прикрепляясь головным концом к стенке желудка, либо находясь в просвете, промежуточным хозяевами являются низшие ракообразные, дополнительным хозяином *Contracaecum osculatum baicalensis* является желтокрылая широколобка [3, 4, 7].

Также в желудочно-кишечном тракте нерп были обнаружены цестоды *Schistocephalus solidus*, *Ligula intestinalis*, дефинитивными хозяевами которых являются рыбоядные птицы, а дополнительными – рыбы. Нерпы для этих гельминтов являются случайными хозяевами [8].

В ходе ежегодной научно-исследовательской экспедиции Байкальского отделения ВНИРО по изучению численности, мониторингу территориального распределения и роли байкальской нерпы в замкнутой экосистеме озера Байкал было определено, что для байкальской нерпы характерна инвазия легочными нематодами *Otostrongylus circumlitus* и *Pamfilaroides krasheninnikovi,* промежуточными хозяевами которых являются многощетинковые черви [9, 10].

Целью нашей работы является определение зараженности байкальской нерпы скребнями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Во время проведения ежегодной научно-исследовательской экспедиции Байкальского отделения ВНИРО по изучению численности, мониторингу территориального распределения и роли байкальской нерпы в замкнутой экосистеме озера Байкал в Чивыркуйском заливе в октябре 2020-2022 годов было добыто и исследовано 172 особи байкальской нерпы. Материал был собран методом полных гельминтологических вскрытий

отдельных органов с учетом инструкций о гельминтологических вскрытиях морских млекопитающих [11]. Гельминтологическому вскрытию подвергались следующие органы байкальских нерп: сердце, легкие, пищевод, желудок, толстый и тонкий кишечник, печень. Из 172 особей у 15 были обнаружены скребни (8,6%). Других гельминтов в желудочно-кишечном тракте обнаружено не было. Все скребни свободно располагались в просвете ЖКТ в присутствии полупереваренных остатков рыбы и не были прикреплены к слизистой оболочке. Паразитов и их фрагменты сохраняли в 70% и 96% спирте в индивидуальных пробирках.

Нами были исследованы образцы методами световой микроскопии и с помощью компрессориума, чтобы определить видовую принадлежность паразита. На видовую принадлежность скребня указывали форма тела, наличие и расположение хоботка, количество крючьев на хоботке (сколько рядов и сколько в одном ряду) и их отсутствие на теле, размер паразита, его локализация в организме байкальской нерпы.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Методами световой микроскопии и с помощью компрессориума определили видовую принадлежность паразитов – *Metechinorhynchus truttae*.

Тело скребней, полученных от байкальских нерп, конусовидное, узкое, цилиндрическое, с загнутым вентрально хоботком, вооружённым 20–22 продольными рядами крючьев (по 13–16 крючьев в каждом ряду). Размер паразитов в представленных образцах составлял 3-7 мм. Все особи являлись самцами. У паразитов, отобранных из кишечника, крючья на хоботке отсутствовали, в отличие от гельминтов, обнаруженных в желудке.

Результаты микроскопирования представлены на рисунках 1-6.

Были проанализированы данные, полученные от вскрытых байкальских нерп, у которых были обнаружены скребни. Определяли пол, возраст, количество и локализацию скребней, массу тела, массу хоровины (кожа с подкожным жиром), которая является основным источником мехового сырья и жира. На долю хоровины у байкальской нерпы приходится в среднем 54,61–59,82% её общей массы. Возраст нерп определяют по годовым насечкам на когтях. При линьке на когтях появляются годовые насечки, напоминающие годовые кольца у деревьев.

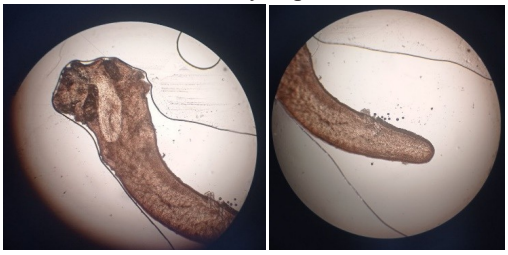


Рисунок 1 – Metechinorhynchus truttae, раздавленный методом компрессориума, образец из кишечника байкальской нерпы (фото: оригинал, ув.х200, передний (слева) и задний конец).



Рисунок 2 – Metechinorhynchus truttae, образец из желудка (фото: оригинал, ув.х50, передний конец).

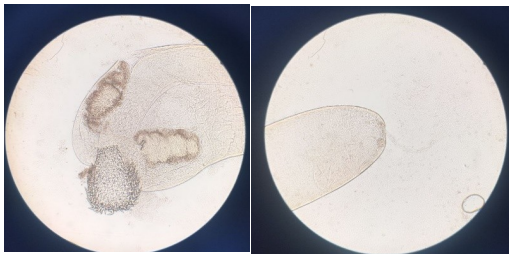


Рисунок 3 – Metechinorhynchus truttae, раздавленный методом компрессориума, образец из желудка байкальской нерпы (фото: оригинал, ув.х400, передний (слева) и задний конец).



Рисунок 4 – Metechinorhynchus truttae, образец из желудка (фото: оригинал, ув.х50, головной конец).

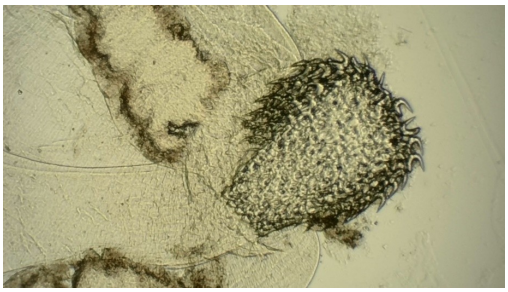


Рисунок 5 – Хоботок с крючьями Metechinorhynchus truttae, раздавленный методом компрессориума, образец из желудка байкальской нерпы (фото: оригинал, ув.х400).

Известно, что *Metechinorhynchus truttae* паразитирует в кишечнике морских и пресноводных рыб, относится к семейству Echinorhynchidae. Промежуточным хозяином являются рачки-бокоплавы (*Gammarus pulex*, в Байкале *M. possolskii*). Заражённых бокоплавов поедают рыбы видов: байкальский сиг, хариус, омуль, щука и другие [12]. Заражение сига скребнями происходит круглогодично, с пиками в конце зимы—начале весны и середине лета [13]. Раннее зарегистрированные сведения о нахождении данного гельминта у байкальских нерп отсутствуют. При вскрытии не было обнаружено патологических признаков, связанных со скребнями, т.к. они не были прикреплены к слизистой оболочке и свободно располагались в просвете желудочно-кишечного тракта.

Различают три вида нерп: байкальская (*Pusa sibirica*), каспийская (*Pusa caspica*) и кольчатая (*Pusa hispida*). Байкальская нерпа является эндемиком озера Байкал, каспийская нерпа — эндемик Каспийского моря, и лишь кольчатая нерпа имеет подвиды, распространенные в Серверном Ледовитом океане, Балтийском море, Охотском море, а также в озёрах Ладожском и Сайма. В сходных условиях, в пресной воде обитают ладожская (*Pusa hispida ladogensis*) и балтийская нерпа (*Pusa hispida botnica*). Гельминты, паразитирующие у близкородственных представителей рода Pusa: байкальской, каспийской и кольчатой нерпы, также являются филогенетически близкими, поэтому изучение гельмитофауны ластоногих позволяет изучать эволюционные процессы, проходящие в популяции ластоногих [14]. Существующие различия в гельминтофауне нерп этих видов обусловлено в том числе различиями в рационе. Балтийская нерпа охотится на бычков, бельдюг, мелкую салаку, корюшку, кильку, колюшку. Ладожская нерпа в естественных условиях охотится на корюшку, ершей, ряпушку, колюшку и мелких ракообразных. Несмотря на сходные условия обитания и кормовую базу (бычки, сиг, мелкие ракообразные), гельминтофауна данных представителей ластоногих отличается из-за их мест обитания. Для ладожской нерпы характерны инвазии скребнями *Corynosoma semerme* и *Corynosoma strumosum*, в то время как у байкальской и балтийской нерпы их не было зарегистрировано. Таким образом, исследование содержимого ЖКТ нерп позволяет судить не только о гельминтофауне данного вида животных, но и о видовом составе рыбы, населяющей водоем, путях ее миграции и даже о паразитах, находящихся в этой рыбе, что может иметь существенное значение для изучения рыбных ресурсов водоемов .

Таблица 1 – Морфометрические показатели туш байкальских нерп, у которых были обнаружены скребни

№	Год	Пол	Возраст по когтям	Скребни, кол-во, локализация	Масса, кг	Масса хоровины, кг	Доля хоровины от массы тела, %
9	2020	f	-	1	40,3	21,55	53,5
18	2020	f	5	2 жел	32,2	16,65	51,8
19	2020	f	5	2 жел, к-к	37,6	19,05	50,7
24	2020	f	0	3 жел	39,9	17,9	53,1
39	2020	f	1	6	48,5	24,25	50,0
49	2020	f	4	4 жел, 1 к-к	50,7	26,9	53,1
50	2020	f	2	4 жел	52,6	30,05	57,2
52	2020	f	3	1 жел	45,0	24,8	55,1
103	2022	f	0	24	36,5	16,1	44,1
104	2022	f	2	2	45,8	24,2	52,8
105	2022	f	0	47	29,7	16	53,9
106	2022	f	5	7	46	24	52,2
133	2022	f	0	1	29,5	16,4	55,6
145	2022	m	1	3	27,5	15,2	55,27
158	2022	m	3	1	41,4	19,9	48,07

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Учитывая отсутствие патологических признаков на слизистой желудочно-кишечного тракта, значения массы тела и массы хоровины, находящихся в пределах нормы, можно сделать вывод что данные гельминты не являются паразитами байкальской нерпы и попали в ЖКТ при поедании инвазированной рыбы. Отсутствие крючьев на хоботке у особей *M. truttae* из кишечника байкальской нерпы можно объяснить воздействием ферментов ЖКТ в процессе переваривания. Зараженная метэхиноринхозом рыба чаще была обнаружена у самок байкальской нерпы (87%), это можно объяснить тем, что самки и самцы байкальской нерпы ведут обособленный образ жизни и собираются вместе только в брачный период. Самки в основном концентрируются ближе к восточному побережью, где ледостав начинается раньше, чтобы найти удобное место для будущего логова. Самцы же, продолжая нагуливать жир, по открытой воде двигаются к западной стороне Байкала.

SCRAPERS IDENTIFICATION IN HELMINTHOLOGICAL AUTOPSY OF BAIKAL SEAL (PUSA SIBIRICA)

Suvorova I.V. [1] – Chief Veterinarian; **Makarova D.A.** [2] – 5th year student; **Zabrovskaya A.V.** *[2] – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Parasitology named after V.L. Yakimov, ORCID 0000-0003-2655-7555;

[1] Center for Oceanography and Marine Biology "Moskvarium"

[2] Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine

*beringa20@mail.ru

ABSTRACT

The Baikal seal (*Pusa sibirica*) is an endemic species to this pond, it feeds exclusively on fish belonging to many species that live both on the surface and at a depth of more than 400 meters in various regions of the lake. Seals are parasitized by both ecto- and endoparasites, including cestodes and nematodes of intestinal and pulmonary localization. In addition, seals can be accidental hosts of parasites common to other animal

species. The article presents the results of a study of scrapers obtained in helminthological autopsy from the gastrointestinal tract of Baikal seals during the annual scientific research expedition of the Baikal branch of VNIRO to study the abundance, monitoring the territorial distribution and role of Baikal seals in the closed ecosystem of Lake Baikal in the Chivyrkuy Bay in October 2020-2022. The samples were placed in 70% and 96% alcohol in individual test tubes and examined by microscopy and using a compressor. The scrapers identification was made by such features as the shape of the body, the presence and location of the proboscis, the number of hooks on the proboscis (how many rows and how many in one row) and their absence on the body, the size of the parasite, its localization in the body of the Baikal seal. Our research has suggested that the scrapers found in the gastrointestinal tract of the Baikal seal belong to the species *Metechinorhynchus truttae*, which parasitizes the intestines of fish in Lake Baikal. When eating seals, fish infected with *M. truttae*, both fish and helminth tissues are digested, which does not affect the welfare of seals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Балданова, Д. Р. Фертильность скребней из рода Echinorhynchus (Acanthocephala: Echinorhynchidae) из озера Байкал/ Д.Р. Балданова // Паразитология. - 2000. - Т. 34. - С. 150-153.
2. Петерфельд, В.А. Питание байкальской нерпы и ее роль в трофической структуре экосистемы Байкала / В.А. Петерфельд, Е.А. Петров // Труды ВНИРО. – 2024. – Т.197. – С.43-59; DOI 10.36038/2037-3497-2024-197-43-59.
3. Суворова, И.В. Зараженность байкальской нерпы (Pusa siberica., Gmelin, 1788) нематодой Contracaecum osculatum baicalensis / И.В.Суворова, И.Ф. Белокобыльский // Труды XII Международной научно -практической конференции «Морские исследования и образование (Maresedu-2023). Тверь. – 2024. - С.234-236
4. Непримерова Т.А. Паразитарные болезни животных Российской государственной цирковой компании: автореф. дис. ... кандидата биологических наук. — М, 2013. — 23 с.
5. Делямуре, С. Л. Гельминтофауна морских млекопитающих в свете их экологии и филогении. Москва: Издательство АН СССР - 1955. - 517 с.
6. Якимова, А.В. Обзорная статья по болезням ластоногих / А.В. Якимова, А.А. Дельцов, И.В. Суворова // Ветеринарная морфология и патология. – 2-24. - №1. – С.45-64.
7. Rusinek, O. Contracaecum spp. from endemic Baikal fishes: The Baikal yellowfin Cottocomephorus grewingkii (Dybowski, 1874) and the longfin Baikal sculpin Cottocomephorus inermis (Yakovlev, 1890) / o. Rusinek, M. Kulikowski, R. Najda, J. Rokiski // The Oceanological and Hydrobiological Studies. - 2025. – Vol. 44. – Is. 1. – P.68-73.
8. Суворова, И.В. Цестоды байкальской нерпы (Pusa siberica Gmelin, 1788) / И.В. Суворова, И.Ф. Белокобыльский, С.Э. Спиридонов // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Морская биология в 21 веке: биология развития, молекулярная и клеточная биология, биотехнология морских организмов (памяти академика Владимира Леонидовича Касьянова). 12-15 сентября 2023 года, Владивосток, Россия. – с.313-314.
9. Суворова, И. В. Легочные нематодозы байкальской нерпы (Pusa sibirica) / И.В. Суворова, К. С. Прокушина, // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. - 2021. - № 22. - С.509-513; DOI: 10.31016/978-5-6046256-1-3.2021.22.509-513
10. NEMAPLEX URL http://nemaplex.ucdavis.edu/
11. Делямуре, С. Л., Скрябин, А. С. Методика гельминтологических вскрытий морских млекопитающих // В книге: Морские млекопитающие. Москва: Наука - 1965. - С. 210-302.
12. Атрашкевич, Г.И. Биоразнообразие скребней пресных вод азиатской субарктики / Г.И. Атрашкевич, Е.И. Михайлова, О.М. Орловская, В.В. Поспехов // Паразитология. – 2-16. – Т. 50. - № 4. – С.263-290

13. Балданова, Д. Р. Вертикальное распределение скребней отряда Echinorhynchida (Acanthocephala) в озере Байкал/ Д.Р. Балданова // Паразитология. - 2008. - Т. 42. - № 3. - С. 197-203.
14. Мещерский, И.Г. Генетические особенности нематод рода Parafilarioides, паразитирующих на байкальских и каспийских нерпах / И.Г. Мещерский, И.В. Суворова // Материалы Всероссийской конференции «Морская биология в 21 веке; систематика, генетика, экология морских организмов». – Владивосток, 20-23 сентября 2022 г. – С.227-228.

REFERENCES

1. Baldanova, D. R. Fertility of acanthocephalans of the genus Echinorhynchus (Acanthocephala: Echinorhynchidae) from Lake Baikal // Parasitology. 2000. Vol. 34. Pp. 150-153. (In Russ.)
2. Peterfeld, V.A. Nutrition of the Baikal seal and its role in the trophic structure of the Baikal ecosystem / V.A. Peterfeld, E.A. Petrov // Proceedings of VNIRO. – 2024. – Vol.197. – pp.43-59; DOI 10.36038/2037-3497-2024-197-43-59 (In Russ)
3. Suvorova, I.V. Infection of the Baikal seal (Pusa siberica., Gmelin, 1788) with the nematode Contracaecum osculatum baicalensis / I.V.Suvorova, I.F. Belokobylsky // Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "Marine Research and Education (Maresedu-2023). Tver. - 2024. - pp.234-236 (In Russ)
4. Neprimerova T. A. Parasitic diseases of animals of the Russian State Circus Company: author's abstract. diss. ... candidate of biological sciences. - M, 2013. - 23 p. (In Russ.).
5. Delyamure, S. J. Helminth fauna of marine mammals in light of their ecology and phylogeny. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1955. 517 p. (In Russ.).
6. Yakimova, A.V. Review article on pinniped diseases / A.V. Yakimova, A.A. Deltsov, I.V. Suvorova // Veterinary morphology and pathology. – 2-24. - No. 1. – pp.45-64 (In Russ)
7. Rusinek, O. Contracaecum spp. from endemic Baikal fishes: The Baikal yellowfin Cottocomephorus grewingkii (Dybowski, 1874) and the longfin Baikal sculpin Cottocomephorus inermis (Yakovlev, 1890) / o. Rusinek, M. Kulikowski, R. Najda, J. Rokiski // The Oceanological and Hydrobiological Studies. - 2025. – Vol. 44. – Is. 1. – P.68-73 (In Engl)
8. Suvorova, I.V. Cestodes of the Baikal seal (Pusa siberica Gmelin, 1788) / I.V. Suvorova, I.F. Belokobylsky, S.E. Spiridonov // Abstracts of the All-Russian conference "Marine Biology in the 21st century: developmental biology, molecular and cellular biology, biotechnology of marine organisms (in memory of Academician Vladimir Leonidovich Kasyanov). September 12-15, 2023, Vladivostok, Russia, pp.313-314.(In Russ)
9. Suvorova, I. V., Prokushina, K. S. Pulmonary nematodoses of the Baikal seal (Pusa sibirica) // Theory and practice of combating parasitic diseases. 2021. No. 22. Pp. 509-513. (In Russ.).
10. NEMAPLEX URL http:// nemaplex.ucdavis.edu/ (In Engl)
11. Delyamure, S. L., Skryabin, A. S. Methodology of helminthological dissections of marine mammals // In the book: Marine mammals. Moscow: Nauka, 1965. Pp. 210-302. (In Russ.).
12. Atrashkevich, G.Year. Asian roots in the sand of the average biodiversity collection / g.Year. Atrashkevich, The Family.Year. Mikhailov, N.M. Orlovskaya, V.V. Pospekhova // Parasitology. – 2-16. – Vol. 50. - No. 4. – pp.263-290 (In Russ)
13. Baldanova, D. R. Vertical distribution of acanthocephalans of the order Echinorhynchida (Acanthocephala) in Lake Baikal // Parasitology. 2008. Vol. 42, No. 3. Pp. 197-203. (In Russ.).
14. Meshchersky, I.G. Genetic features of nematodes of the genus Parafilarioides, parasitizing Baikal and Caspian seals / I.G. Meshchersky, I.V. Suvorova // Proceedings of the All-Russian conference "Marine biology in the 21st century; systematics, genetics, ecology of marine organisms". Vladivostok, September 20-23, 2022, pp.227-228

ФАРМАКОЛОГИЯ, ТОКСИКОЛОГИЯ, ФАРМАЦИЯ

УДК: 543.062:615.33.451.2:619
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.114

РАЗРАБОТКА И ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРБОФЛОКСАЦИНА В СУБСТАНЦИИ И ЛЕКАРСТВЕННОМ ПРЕПАРАТЕ «МАРБОТИМ» В ФОРМЕ РАСТВОРА ДЛЯ ИНЪЕКЦИЙ

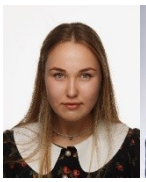
Бобкова К.Э.[1]* – старший химик-аналитик; **Кузнецов Ю.Е.** – д-р ветеринар. наук, доц. (ORCID 0000-0001-9095-7049)

[1] ООО "Апиценна"
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*ke_bobkova@apicenna.ru

Ключевые слова: *марбофлоксацин, фторхинолон, высокоэффективная жидкостная хроматография, антибиотик, валидация.*
Keywords: *marbofloxacin, fluoroquinolone, high-performance liquid chromatography, antibiotic, validation.*

Поступила: 25.04.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025




РЕФЕРАТ

Целью данной работы являлась разработка и валидация методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций, используя метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. В ходе работы решались следующие задачи: разработать методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственных препаратах на его основе, валидировать методику количественного определения марбофлоксацина в субстанции и в препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций. Определение количественного содержания марбофлоксацина устанавливали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно ОФС.1.2.1.2.0005 или ФЕАЭС 2.1.2.28 [4]. В работе использовали аналитический стандартный образец марбофлоксацина серии G1297125 (DR. EHRENSTORFER) с содержанием активного вещества 99,28%, ацетонитрил (Alpha Chemika, Индия), трифторуксусную кислоту (Central Drug House, Индия), уксусную кислоты ледяную (Sigma-Aldrich, США) и сверхочищенную воду, полученную с помощью прибора Rephile Genie U который производит сверхчистую воду (вода типа I) и обратноосмотическую воду (вода тип III) (Китай). Валидацию проводили согласно ОФС.1.1.0012. В качестве растворителя ис-

пользовали 0,1 % (об.) раствор уксусной кислоты. Стандартный раствор марбофлоксацина, испытуемые растворы субстанции марбофлоксацина и лекарственного препарата «Марботим» готовили с использованием растворителя (0,1 % раствора уксусной кислоты) и с конечной концентрацией марбофлоксацина – 16 мкг/мл. На основании результатов тестирования по параметрам: специфичность, линейность, сходимость, внутрилабораторная прецизионность, правильность, аналитическая область, робастность, методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций и присвоен статус «Валидированы».

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В решении задач по обеспечению прироста производства животноводческой продукции и достижению параметров, определенных Доктриной продовольственной безопасности утверждённая Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20, а также Государственной программой развития сельского хозяйства утверждённая постановлением Правительства от 14 июля 2012 года № 717, особую значимость приобретает борьба с инфекционными болезнями животных, которые существенно сдерживают развитие отрасли. Достаточно сложной остается эпизоотическая ситуация и по ряду инфекционных болезней у основных видов продуктивных сельскохозяйственных животных. Таким образом, инфекционная патология продуктивных сельскохозяйственных животных является одним из важнейших факторов, негативно влияющих практически на все отрасли животноводства [1].

Сложности в лечении усугубляются тем, что бактериальная инфекция обычно осложняет течение патологического процесса у животных при вирусных заболеваниях. В комплексе мер по борьбе с заразной патологией животных, наряду со специфической профилактикой, ветеринарно-санитарными мероприятиями, попрежнему одно из ведущих мест должно отводиться применению эффективных антимикробных средств. Антибактериальная терапия является важнейшей составляющей комплексного эффективного лечения животных. Своевременное ее начало – важное условие успешного результата. При постановке диагноза препарат должен быть назначен в течение 4 часов, что обеспечивает быстрое купирование [2, 6, 9].

При выборе антибиотика важно использовать высоко активный препарат в достаточных дозах, рекомендуемых инструкцией по применению. Из-за широко распространенной резистентности инфекционных агентов ко многим применяемым антибиотикам постоянно ведется поиск новых химиотерапевтических антибактериальных препаратов, отличающихся по механизму действия [3].

Создание фторхинолоновых антибиотиков с антипневмококковой активностью («респираторных» фторхинолонов) повлекло за собой ряд изменений в стандартах лечения распространенных инфекционных заболеваний, в первую очередь дыхательных путей, вследствие чего эти фторхинолоны рассматриваются в качестве препаратов первого ряда для терапии негоспитальных пневмоний, нозокомиальных, аспирационных пневмоний и пневмоний у животных, имеющих дефект в иммунном статусе, у животных с сопутствующей патологией [2, 3].

Целью данной работы являлись разработка и валидация методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций, используя метод высокоэффективной жидкостной хроматографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Определение количественного содержания марбофлоксацина устанавливали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно ОФС.1.2.1.2.0005 или ФЕАЭС 2.1.2.28 [4]. В работе использовали аналитический стандартный образец марбофлоксацина серии G1297125 (DR. EHRENSTORFER) с

содержанием активного вещества 99,28%, ацетонитрил (Alpha Chemika, Индия), трифторуксусную кислоту (Central Drug House, Индия), уксусную кислоты ледяную (Sigma-Aldrich, США) и сверхочищенную воду, полученную с помощью прибора Rephile Genie U который производит сверхчистую воду (вода типа I) и обратноосмотическую воду (вода тип III) (Китай).

Логарифм коэффициента распределения (логарифм липофильности, logP) марбофлоксацина отрицательный. Следовательно, молекула гидрофильна и оптимальная фаза обращенно-фазовой колонки — это фаза-С18. Субстанция марбофлоксацина очень легкорастворима в 0,1 % растворе уксусной кислоты (pH ≈ 2,0) поэтому было принято решение начать разработку с использования подвижных фаз с pH 2,5.

При разработке и валидации количественного определения марбофлоксацина в субстанциии лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций использовали высокоэффективном жидкостном хроматографе Shimadzu Prominence (Япония), согласно общепринятым методикам [5] оснащенном диодно-матричным детектором. На основании полученных результатов был получен спектр марбофлоксацина в диапазоне вол от 190 до 800нм и определен максимум поклащения – 298 нм (Рисунок 1).

На основании этого в рутинной работе для количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций можно использовать диодно-матричный детектор или УФ-детектор при длине волны 298 нм. Хроматограммы были получены в программном обеспечении LabSolution 5.73. Условия хроматографирования в условиях испытательной лаборатории приведены в Таблице 1.

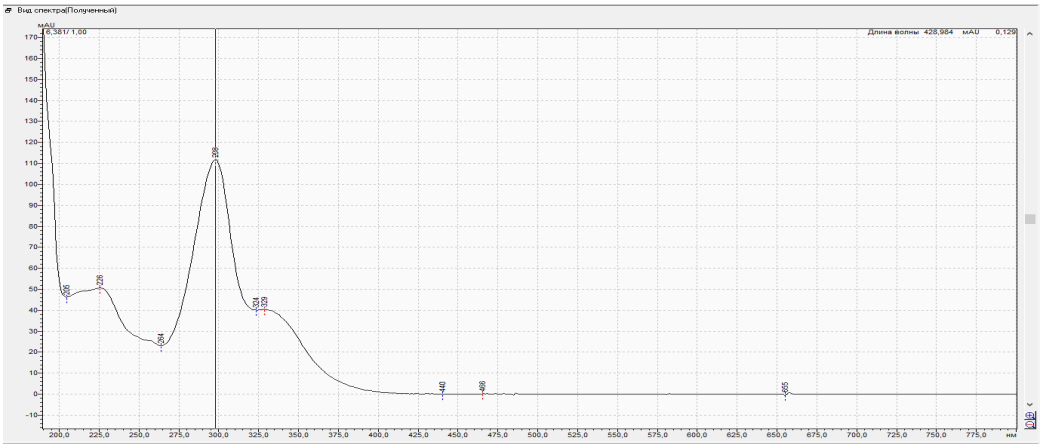


Рисунок 1 – Спектр марбофлоксацина в диапазоне длин волн от 190 до 800 нм.

В качестве растворителя использовали 0,1 % (об.) раствор уксусной кислоты. Растворитель готовили, помещая в мерную колбу вместимость 1000 мл около 900 мл воды, добавляли 1,0 мл уксусной кислоты ледяной, перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 минут при скорости 700 об/мин, доводили объем раствора до метки водой и перемешивали. В качестве подвижной фазы использовали раствор элюента А и элюента В в соотношении 85:15 (об./об.). Элюент А готовили, помещая в мерную колбу вместимостью 1000 мл около 900 мл воды, добавляли 0,5 мл трифторуксусной кислоты и перемешивали на магнитной мешалке в течение не менее 30 минут со скоростью не менее 700 об/мин, доводили объем

раствора до метки водой, перемешивали, фильтровали через нейлонный мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм и дегазировали на УЗ-ванне в течение 10 минут. Элюент В готовили, помещая в мерную колбу вместимостью 1000 мл около 900 мл ацетонитрила, добавляли 0,5 мл трифторуксусной кислоты, перемешивали на магнитной мешалке в течение не менее 30 минут со скоростью не менее 700 об/мин, доводили объем раствора до метки ацетонитрилом, перемешивали и дегазировали на УЗ-ванне в течение 10 минут. Стандартный раствор марбофлоксацина, испытуемые растворы субстанции марбофлоксацина и лекарственного препарата «Марботим» готовили с использованием растворителя (0,1 % раствора уксусной кислоты) и с конечной концентрацией марбофлоксацина – 16 мкг/мл (Рисунок 2).

Таблица 1 – Условия хроматографирования

-	колонка:	Phenomenex Luna C18(2) 100 Å 150x4,6 мм, размер частиц 5 мкм;
-	предколонка:	Security Guard C18 4,0 x 3,0 мм;
-	элюент:	0,05 % раствор трифторуксусной кислоты в воде и 0,05% раствор трифторуксусной кислоты в ацетонитриле в соотношении 85:15 об/об;
-	скорость потока:	1,0 мл/мин;
-	длина волны детектора:	298 нм;
-	объем инжекции:	10 мкл;
-	температура колонки:	30°C;
-	ожидаемое время удерживания:	марбофлоксацин ~ 6,4 мин;
-	продолжительность анализа:	12 мин.

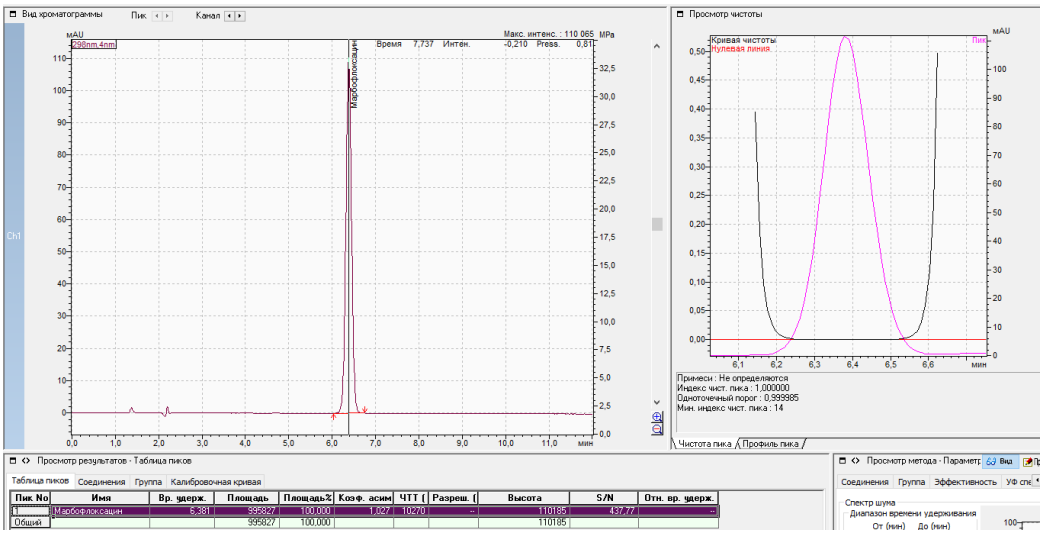


Рисунок 2 – Полученная хроматограмма по предложенному нами методу.

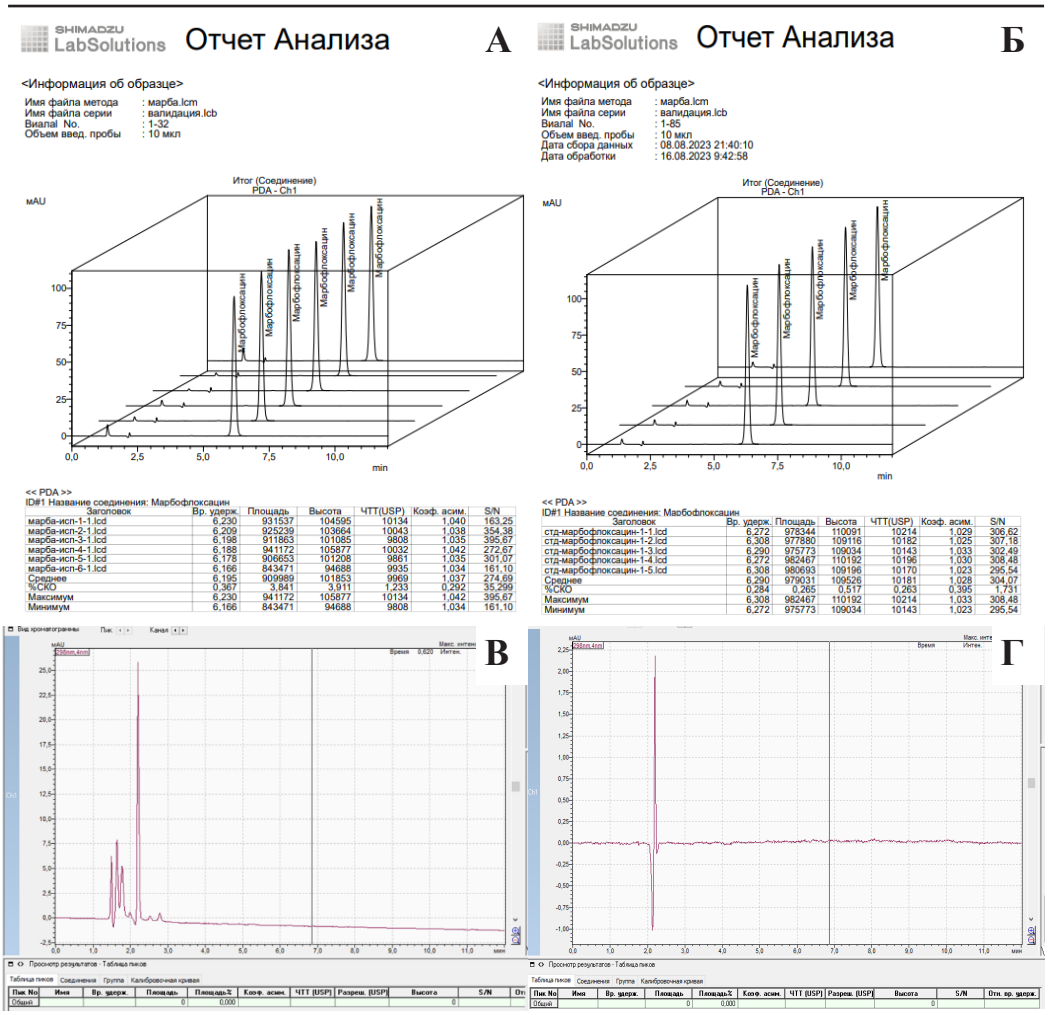


Рисунок 3 – а – типичные хроматограммы испытуемого раствора «Марботим»; б – типичные хроматограммы стандартного раствора марбофлоксацина; в – хроматограмма раствора «плацебо» г – хроматограмма растворителя по предложенному нами методу.

Поскольку минимальный индекс чистоты пика ≥ 0, коэффициент ассиметрии пика в диапазоне от 0,8 – 1,5, отношение сигнал/шум (S/N) ≥ 100 – было принято решение о валидации методики (Рисунок 2).

Валидацию проводили согласно ОФС.1.1.0012. Целью валидации является доказать и экспериментально подтвердить, что рабочие характеристики методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции «Марбофлоксацин» и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций, подтверждают ее пригодность для испытаний в процессе внутрипроизводственного, выходного контролей и контроля изучения стабильности субстанции и лекарственного препарата в течение срока годности. Анализируемые параметры: специфичность, линейность, сходимость, внутрилабораторная преци-

зионность, правильность, определение аналитической области методики, робастность

Для испытания теста «Специфичность» раствор субстанции и испытуемого образца готовили с конечной концентрацией марбофлоксацина – 0,441 мг/мл. Стрессовые растворы подвергали кислотному и щелочному гидролизу, окислительному воздействию, нагреву при 100 °С, и ультрафиолетовому воздействию. В данных хроматографических условиях на растворе «плацебо» лекарственного препарата «Марботим» мешающие пики отсутствовали, минимальный индекс чистоты марбофлоксацина положительный, время удерживания и форма пика основного аналита одинаково в стандартном растворе и в растворе испытуемого образца (Рисунок 3).

Для испытания теста «Линейность» готовили растворы марбофлоксацина с концентрациями 12,8 мкг/мл, 14,4 мкг/мл, 16 мкг/мл, 17,6 мкг/мл, 19,2 мкг/мл. Для испытания теста «Сходимость» и «Внутрилабораторная прецизионность» готовили по 6 параллельных образцов раствора испытуемой субстанции марбофлоксацина и раствора лекарственного препарата «Марботим». Для приготовления испытуемых растворов субстанции в мерную колбу вместимостью 50 мл помещали навеску 20 мг (с точностью до 0,001 мг) субстанции марбофлоксацина, добавляли около 40 мл растворителя, перемешивали до полного растворения, доводили объем раствора до метки растворителем, затем в мерную колбу вместимостью 25 мл помещали 1,0 мл полученного раствора, доводили объем раствора до метки растворителем, перемешивали, полученный раствор фильтровали с помощью шприца через гидрофильный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, отбрасывая первые 3 мл фильтрата. Для приготовления испытуемых растворов лекарственного препарата в мерную колбу вместимостью 100 мл помещали 460 мг (с точностью до 0,001 мг) препарата, доводили объем раствора до метки растворителем, перемешивали, затем в мерную колбу вместимостью 25 мл помещали 1,0 мл полученного раствора, доводили объем раствора до метки, перемешивали и фильтровали с помощью шприца через гидрофильный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, отбрасывая первые 3 мл фильтрата.

Для испытания теста «Правильность» готовили модельные смеси с содержанием марбофлоксацина 80%, 100% и 120% от номинального содержания. Для испытания теста «Правильность» в ходе валидации методики количественного определения марбофлоксацина в субстанции готовили модельные смеси с концентрацией марбофлоксацина 12,8 мкг/мл, 16 мкг/мл, 19,2 мкг/мл. Для испытания теста «Правильность» в ходе валидации методики количественного определения марбофлоксацина в лекарственном препарате «Марботим» модельные смеси готовили с использованием раствора «плацебо» с концентрацией марбофлоксацина 12,8 мкг/мл, 16 мкг/мл, 19,2 мкг/мл.

Для определения аналитической области методики использовали данные, полученные в тестах «Линейность», «Правильность», «Сходимость» и «Внутрилабораторная прецизионность».

Для испытания теста «Робастность» изменяли следующие параметры в условиях хроматографирования: скорость потока, соотношение компонентов подвижной фазы, температура колонки, концентрацию трифторуксусной кислоты в подвижной фазе.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Методика количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме раствора для инъекций была полностью проверена.

При тесте «Специфичность» было выявлено, что время удерживания и форма пика марбофлоксацина в образце субстанции/лекарственного препарата соответствуют времени удерживания и форме пика марбофоксацина в стандартном образце, мешающие пики на хроматограммах растворителя и раствора «плацебо» отсутствуют. Проверка пригодности хроматографической системы выполняется.

Субстанция марбофлоксацина и лекарственный препарат «Марботим» выдерживают стрессовое воздействие кислотой, щелочью, окислителем, нагревом. Минимальный индекс чистоты пика (SPP) положителен (Таблица 2). При УФ-воздействии на раствор субстанции обнаружены деградanты с RRT ~ 0,65; 0,74; 0,87; 1,67; при УФ-воздействии на раствор лекарственного препарата обнаружены деградanты с RRT ~ 0,65; 0,74; 0,87 (Рисунок 3). Разрешение ближайшего пика с марбофлоксацином около 3,5. Все эти данные подтверждают специфичность методики.

Предлагаемый метод является линейным, согласно результатам, полученных с помощью калибровочной кривой в диапазоне концентраций от 12,8 мкг/мл до 19,2 мкг/мл. Результаты показали линейную корреляцию между введённой концентрацией и площадью пика. Квадрат коэффициента корреляции $r^2 = 0,9988$, уравнение кривой: $y = 9236,3x + 19285$.

Таблица 2 – Результаты испытаний теста «Специфичность»

Стрессовое воздействие	Полученные результаты
Согласно аналитической методике	SPP (АФС) = 7 SPP (ЛП) = 4
Кислотный стресс	SPP (АФС) = 4 SPP (ЛП) = 2
Щелочной стресс	SPP (АФС) = 3 SPP (ЛП) = 3
Окислительный стресс	SPP (АФС) = 5 SPP (ЛП) = 5
Температурный стресс	SPP (АФС) = 2 SPP (ЛП) = 1
УФ-стресс	SPP (АФС) = 2 SPP (ЛП) = 3

Таблица 3 – Результаты теста «Правильность»

Критерии приемлемости	Полученные результаты					
	Анализ субстанции			Анализ ЛП		
	Нижняя граница	Середина	Верхняя граница	Нижняя граница	Середина	Верхняя граница
Значения открываемости результатов определения в диапазоне 80 - 120 % от номинального значения должны находиться в диапазоне 98,0 - 102,0 %.	100,55	100,21	100,60	99,82	100,35	100,28
RSD значений открываемости не должно превышать 3,0 %.	0,52	0,84	0,70	0,45	0,28	0,68
Доверительный интервал должен включать 100 % значение.	(99,97 - 100,94) %			(99,77 - 100,53) %		

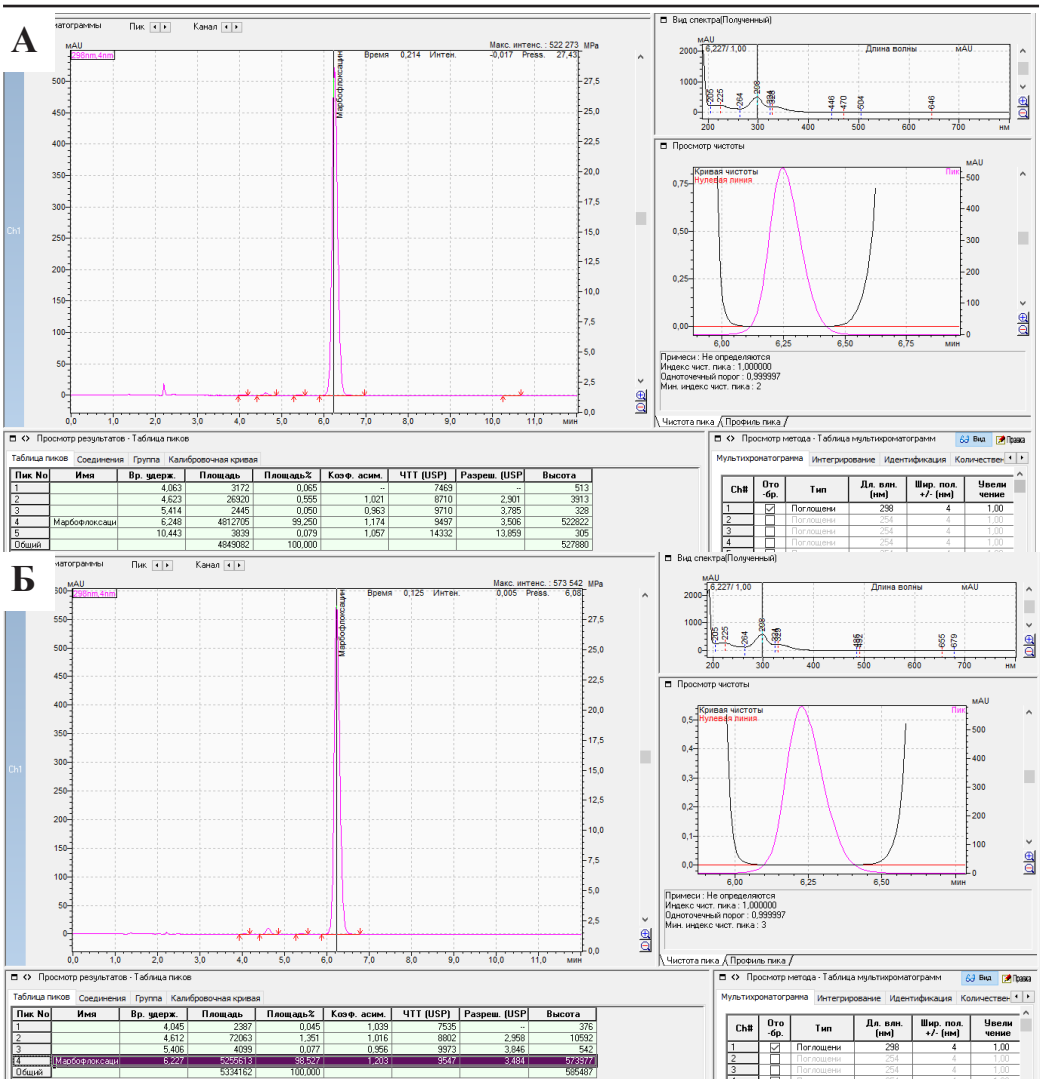


Рисунок 3 – а - хроматограмма раствора субстанции после УФ-стресса, б - хроматограмма испытуемого раствора «Марботим» после УФ-стресса.

Значения RSD, полученные в тестах «Сходимость» и «Внутрилабораторная прецизионность», были менее 2%. Оценка воспроизводимости по критерию Фишера составила 1,18 и 1,97, по критерию Стьюдента 1,69 и 0,39 при анализе субстанции и лекарственного препарата соответственно. Это указывает на точность предложенного метода.

Значение открываемости результатов количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственно препарате в диапазоне 80-120% от номинального значения находятся в диапазоне 98,0 – 102,0%; RSD значений открываемости не превышает 3,0%; доверительный интервал включает 100% значение, что указывает на приемлемую точность методик (таблица 3).

Испытания в тесте «Робастность» показали, что небольшие изменения скорости потока, соотношения компонентов

подвижной фазы, температуры колонки, концентрации трифторуксусной кислоты не оказывает критического влияния на пригодность хроматографической системы (Таблица 3).

Аналитическая область методики представлена в таблице 5.

Таблица 4 – Результаты испытания по тесту «Робастность»

Изменяемый параметр	Значение параметра	Пригодность хроматографической системы		Соответствие (Да/Нет)
		Число теоретических тарелок (N)	Фактор асимметрии (F)	
Скорость потока, мл/мин	0,9	10815	1,033	**Да**
	1,1	9622	1,030	
Соотношение компонентов ПФ	87:13 об/об	11722	1,021	**Да**
	83:17 об/об	8675	1,047	
Температура колонки, °С	27	10046	1,146	**Да**
	33	10645	1,031	
Концентрация кислоты трифторуксусной, мл/л	0,49	11979	0,990	**Да**
	0,55	10506	1,029	
В соответствии с методикой		10263	1,033	**Да**
Норма		≥ 2000	≤ 2,0	**-**

Таблица 5 – Результаты определения аналитической области методики

Критерии приемлемости	Полученные результаты
Диапазон линейности методики составляет от 80 до 120 % от номинального значения	Диапазон линейности методики: 83,8 - 125,7%
Диапазон правильности методики составляет не менее, чем от 80 до 120 % от номинального значения	Диапазон правильности методики: 83,8 - 125,7%
Показатели прецизионности: «Сходимость» и «Внутрилабораторная прецизионность» удовлетворяют критериям приемлемости	Удовлетворяют

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Была разработана методика количественного определения марбофлоксацина в субстанции и растворе для инъекций «Марботим» на основе высокоэффективной жидкостной хроматографии. Показано, что методика позволяет разделять примеси, образующиеся при УФ-стрессе марбофлоксацина, показатель спектральной чистоты основного аналита положителен, пригодность системы соответствует нормам. Методика линейна и правильна в диапазоне 83,8 – 125,7%, а также позволяет получать сходимые и воспроизводимые результаты. Методика особенно полезна для количественного определения марбофлоксаццина в лабораториях контроля качества, поскольку в методе не используются дорогие реактивы, короткое время анализа и простая пробоподготовка.

На основании результатов тестирования по валидационным параметрам, методике количественного определения марбофлоксацина в субстанции и лекарственном препарате «Марботим» в форме

раствора для инъекций присвоен статус «Валидированы». Данная методика была апробирована и внедрена ООО «Апиценна».

VALIDATION OF THE METHOD FOR QUANTITATIVE DETERMINATION OF MARBOFLOXACIN IN THE SUBSTANCE AND MEDICINAL PRODUCT "MARBOTIM" IN THE FORM OF AN INJECTION SOLUTION

Bobkova K.E.[1*] – senior analytical chemist; **Kuznetsov Y.E.**[2] – doctor of veterinary medicine sciences, Associate Professor (ORCID 0000-0001-9095-7049)

[1]Apicenna LLC

[2]St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*ke_bobkova@apicenna.ru

ABSTRACT

The aim of this work was to develop and validate a method for the quantitative determination of marbofloxacin in the substance and the medicinal product "Marbotim" in the form of an injection solution using high-performance liquid chromatography. The following tasks were solved in the course of the work: to develop methods for the quantitative determination of marbofloxacin in the substance and medicinal products based on it, to validate the method for the quantitative determination of marbofloxacin in the substance and in the preparation "Marbotim" in the form of an injection solution. The quantitative content of marbofloxacin was determined using high-performance liquid chromatography according to OFS.1.2.1.2.0005 or FEAEC 2.1.2.28 [4]. The work used the analytical standard sample of marbofloxacin series G1297125 (DR. EHRENSTORFER) with the content of the active substance of 99.28%, acetonitrile (Alpha Chemika, India), trifluoroacetic acid (Central Drug House, India), glacial acetic acid (Sigma-Aldrich, USA) and ultrapurified water obtained using the Rephile Genie U device that produces ultrapure water (type I water) and reverse osmosis water (type III water) (China). Validation was carried out according to OFS.1.1.0012. A 0.1% (vol.) solution of acetic acid was used as a solvent. The standard solution of marbofloxacin, test solutions of marbofloxacin substance and the medicinal product "Marbotim" were prepared using a solvent (0.1% acetic acid solution) and with a final concentration of marbofloxacin - 16 μg / ml. Based on the results of testing for the parameters: specificity, linearity, convergence, intralaboratory precision, accuracy, analytical range, robustness, the methods for the quantitative determination of marbofloxacin in the substance and the medicinal product "Marbotim" in the form of an injection solution were assigned the status "Validated".

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беро Р., Кастилио Ж.Д., Генеольт Л. Проблема антибиотикорезистентности // «Ветеринар». – 2008. – № 2. – С. 28-35.

2. Корреляционные взаимозависимости между содержанием общих желчных кислот и основными биохимическими показателями крови у норок (Mustela vison Schreber, 1777) / Ю. Е. Кузнецов, А. М. Лунегов, В. С. Понамарев, Е. Б. Ромашова // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57, № 6. – С. 1217-1224. – DOI 10.15389/agrobiology.2022.6.1217rus. – EDN FIAAST.

3. Кузнецов, Ю. Е. Субхроническая токсичность препарата азидокс / Ю. Е. Кузнецов // Международный вестник ветеринарии. – 2016. – № 2. – С. 19-24. – EDN WCNTSZ.

4. Методические указания М3 и СР РФ от 10.08.2004 г. Проведение качественных исследований биоэквивалентности лекарственных средств // Клиническая фармакокинетика. - 2005. - №1 (2). - с. 2-9.

5. Субботин В.В., Данилевская Н.В. Антибактериальная терапия в ветеринарной практике // «Ветеринарные науки». – 2011. – №1. – С. 38-42.

6. Mostovoy Y., Demchuk A., Konstantynovych T., Chichirelo-Konstantynovych K. Chronic comorbidity of internal organs as a risk factor of complications and fatal outcome of community-acquired pneumonia // «The Journal of Nutrition, Health & Aging». – 2018. – №3. – P. 42-48.

7. Приказ МСХ РФ от 06.03.2018 г. № 101 «Об утверждении правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения.
8. Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических лекарственных средств. 2-изд., перераб. и доп. Москва: ОАО "Издательство "Медицина", 2005. 832 с.
9. Яковлев С.В. Антибиотики в амбулаторной практике: некоторые проблемы // «Клиническая фармакология и терапия». – 2000. – №2. – С. 3-24.

REFERENCES

1. Bero R., Castillo J.D., Geneault L. The problem of antibiotic resistance // "Veterinarian". - 2008. - No. 2. - P. 28-35.
2. Correlation relationships between the content of total bile acids and the main biochemical parameters of blood in minks (Mustela vison Schreber, 1777) / Yu. E. Kuznetsov, A. M. Lunegov, V. S. Ponomarev, E. B. Romashova // Agricultural biology. - 2022. - Vol. 57, No. 6. - P. 1217-1224. - DOI 10.15389/agrobiology.2022.6.1217rus. - EDN FIAAST.
3. Kuznetsov, Yu. E. Subchronic toxicity of the drug Azidox / Yu. E. Kuznetsov // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2016. - No. 2. - P. 19-24. - EDN WCNTSZ.
4. Methodical instructions M3 and SR RF from 10.08.2004. Conducting qualitative studies of bioequivalence of drugs // Clinical pharmacokinetics. - 2005. - No. 1 (2). - P. 2-9.
5. Subbotin V.V., Danilevskaya N.V. Antibacterial therapy in veterinary practice // "Veterinary sciences". - 2011. - No. 1. - P. 38-42.
6. Mostovoy Y., Demchuk A., Konstantynovych T., Chichirelo-Konstantynovych K. Chronic comorbidity of internal organs as a risk factor of complications and fatal outcome of community-acquired pneumonia // «The Journal of Nutrition, Health & Aging». – 2018. – No. 3. – P. 42-48.
7. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 06.03.2018 No. 101 «On approval of the rules for conducting a preclinical study of a medicinal product for veterinary use, a clinical study of a medicinal product for veterinary use, a bioequivalence study of a medicinal product for veterinary use.
8. Khabriev R.U. Guidelines for experimental (preclinical) study of new pharmacological drugs. 2nd ed., revised and add. Moscow: OJSC "Izdatelstvo" Medicine ", 2005. 832 p.
9. Yakovlev S.V. Antibiotics in outpatient practice: some problems // "Clinical pharmacology and therapy". - 2000. - No. 2. - P. 3-24.

УДК: 619:615.322
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.125

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФАРМАКОТЕРАПИИ ЯЗВЕННОГО ГАСТРОДУОДЕНИТА У ЖИВОТНЫХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОХА УЗКОЛИСТНОГО ПРИ ПАТОЛОГИИ (ОБЗОР)

Бойко Т.В.[1]* – д-р ветеринар. наук, доц., зав. каф. диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства, (ORCID 0000-0002-0799-8921); **Асташева И.А.**[1] – асп. (ORCID 0009-0009-7929-0744); **Лукша Е.А.**[2] – канд. фармац. наук, доц., зав. каф. фармацевтической, аналитической и токсикологической химии (ORCID 0000-0003-4591-2508)

[1] ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»
[2] ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет»

* tv.boyko@omgau.org

Ключевые слова: *лох узколистный, фармакологические эффекты, фитопрепарат, гастрит.*
Key words: *oleaster, pharmacological effects, herbal preparation, gastritis.*

Поступила: 27.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Ведущее место среди болезней незаразной этиологии у продуктивных животных занимают заболевания органов пищеварительного тракта. В статье рассматриваются патогенетические механизмы развития язвенного гастродуоденита, современные подходы фармакотерапии болезни и перспективы применения фитопрепаратов на основе лоха узколистного. Проведен анализ публикаций, по ключевым словам, «лох узколистный», «фармакологические эффекты», «фитопрепарат», «гастрит», «язвенная болезнь», «лекарственные растения», размещенных в библиографических базах данных и научных электронных библиотеках поисковых систем. Исследованы существующие фармакотерапевтические подходы к лечению язвенного гастродуоденита, в том числе фитопрепаратами, а также проведены поиск и анализ данных о биологически активных веществах, содержащихся в лохе узколистном, с акцентом на их потенциальное терапевтическое действие при язвенном гастродуодените. Основным патогенетическим фактором язвенной болезни является повреждение слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки под воздействием избыточной продукции соляной кислоты и пепсина с последующим развитием окислительного стресса и нарушением ее барьерной функции. Частое применение нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП) с лечебной целью животным, способствует развитию НПВП-индуцированной гастропатии. Современная терапия язвенного гастродуоденита у непродуктивных животных основана на применении синтетических препаратов – блокаторов H^+ и H_2 – гистаминовых рецепторов, антацидов и сорбентов. Перспективным направлением терапии язвенного гастродуоде-

нита является использование фитопрепаратов с доказанной гастропротективной активностью, таких как, порошок корневищ и корней девясила, семена льна, подорожника и препаратов на основе календулы лекарственной. В качестве источника биологически активных веществ для производства фитопрепаратов/кормовых добавок с гастропротективным эффектом возможно использование сырья лоха узколистного – растения, содержащего значительное количество дубильных веществ, флавоноидов, каротиноидов и алкалоидов, водные извлечения из плодов которого обладают ранозаживляющим, противовоспалительным, антимутагенным, противомикробным свойствами.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Ведущее место среди болезней незаразной этиологии у продуктивных животных занимают заболевания органов пищеварительного тракта. У коров расстройство пищеварения может достигать 40% от общей структуры незаразных болезней и, как правило, является следствием скармливания недоброкачественных кормов. У свиней заболевания органов желудочно-кишечного тракта находятся на первом месте среди всех форм внутренних патологий – доля их достигает 60-70% от общего числа незаразных болезней, что чаще обусловлено концентрацией микотоксинов в кормах. Если у коров при вынужденном убое больных и вскрытии трупов регистрируют единичные случаи ульцерозного поражения слизистой оболочки сычуга, то у свиней – частота встречаемости данной патологии значительно выше [1, 13-14]. Анализ публикаций показал, что статистика по язвенной болезни у собак и кошек не имеет конкретных цифр и представлена в виде описания факторов, влияющих на развитие данной патологии.

Общепризнано, что основными причинами развития патологии органов пищеварительной системы у животных являются бактерии, вирусы, микотоксины, предрасполагающими факторами выступают генетические, а также нарушение режима дачи кормов, стрессы, в том числе технологические. Вторично заболевания органов пищеварения развиваются на фоне патологии в других системах и органах. Патогенез эрозивного гастрита и дуоденита, а впоследствии язвенной болезни, у животных сложный и многофакторный, поэтому для достижения контроля над заболеванием или уменьшения выраженности его клинических проявлений, снижения частоты обострений и риска развития осложнений, а также с целью улучшения качества жизни животных-компаньонов назначают необходимый объем патогенетически обоснованной фармакотерапии [13-14, 25, 30].

Сегодня для достижения целей лечения гастритов у непродуктивных животных используют синтетические препараты различных фармакологических групп – блокаторы H^+ - и H_1 рецепторов гистамина, вяжущие, обволакивающие и антибактериальные средства, при этом важно отметить, что препаративные формы многих лекарственных средств (прежде всего, блокаторы «протонной помпы») не разработаны для применения в ветеринарии. В свиноводстве для контроля заболеваемости гастритом в корма дополнительно вводят сорбенты и антибиотики в лечебной дозе. Таким образом, существующий подход фармакотерапии гастритов у животных, предполагает одновременное использование нескольких препаратов разных фармакологических групп, что существенно влияет на экономику предприятия, повышая себестоимость конечной продукции. В этой связи применение полифункциональных средств природного происхождения, влияющих на многие патогенетические звенья заболеваний, представляется актуальным направлением фармакологических исследований. Именно богатый состав биологически активных веществ растений позволяет использовать лекарственное растительное сырье для создания лекарственных препаратов полифункционального действия. Первичные метаболиты растений (углеводы, протеины, жиры, аминокислоты, витамины) и минеральные элементы способствуют восполнению дефицита питательных веществ в

больном организме. За счет воздействия вторичных метаболитов, представленных эфирными маслами, сапонинами, флавоноидами, таннинами, алкалоидами и др., проявляется основной комплексный терапевтический эффект фитопрепаратов [20, 38].

В настоящее время к отечественным фитопрепаратам с доказанной гастропротективной активностью относят порошок корневищ и корней девясила (*Inulae rhizomata et radices*), семена льна (*Semen Lini*), семена подорожника (*Semen Plantaginis*) и препараты на основе календулы лекарственной (*Calendula officinalis*) [34].

Анализ Реестра кормовых добавок (КД) РФ (2025) показал, что КД, оказывающие положительный эффект на пищеварительную систему и имеющие в своем составе растительные компоненты, представлены в основном зарубежными производителями [6]. Например, французские КД Креа Эдванс и Аксион Свайн («ССРА», Франция), разработаны на основе экстракта зеленого чая с добавлением капсаицина (экстракта перца) и витаминов Е, B_{12}. Кормовая добавка АдиКоксСол PF (AdiFeed Sp. Zoo, Польша) состоит из экстрактов растений: горчица белая (*Sinapis alba*) 4,5-6,0 %, аир болотный (*Acorus calamus*) 4,5-6,0 %, перец черный (*Piper nigrum*) 3,5-5,0 %, мыльнянка лекарственная (*Saponaria officinalis*) 2,5-4,0 %, с содержанием в качестве действующих веществ эфирных масел не менее 0,8 % и фенольных кислот не менее 0,5 %. КД ДИГЕСТАРОМ® П. Е. П. 125 («Биомин ГмбХ», Австрия), разработанная для улучшения аппетита сельскохозяйственных животных, содержит ароматические компоненты: анетол 2,14 г/кг, карвакрол 112 г/кг, лимонен 6 г/кг эфирных масел орегана, аниса и цитрусовых культур. На рынке кормовых добавок присутствуют и российские разработки фитогеников, такие как Диаракс Псиллиум (ООО «Органико», г. Москва), содержащий в своем составе семена подорожника с добавлением лецитина, диатомита, натрия хлорида и гидрокарбоната натрия. Данный комплекс направлен на восстановление кислотно-щелочного и водно-электролитного баланса в организме, нормализацию обмена веществ, сокращение количества жидкого стула при диспепсии у телят. Кормовая добавка Экстрафит (ООО "Электрол-Б", г. Москва) содержит экстракт высушенной зеленой массы амаранта багряного (действующие вещества – пектин, флавоноиды, ретинол, куротин). Для улучшения вкусовых качеств кормов и нормализации состояния желудочно-кишечного тракта у животных разработана кормовая добавка ЭленОйл Д с ароматическими компонентами эфирных масел эвкалипта 3,3 % орегано 2,4% и тимьяна 0,6 %. Производственной компанией "СибБиоТех" разработана КД «СБТ МОС-Активатор», представляющая собой смесь клеточных стенок дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae*, хелатированных микроэлементов, кремния в водорастворимой форме и галлокатехинов зеленого чая. Кормовая добавка – «СОРБИФЛОР-Вет» – содержит природный сорбент лигнин.

В России в настоящее время сложилась парадоксальная ситуация – при наличии обширного генофонда дикорастущей флоры ассортимент видов растений, используемых для создания и разработки фитопрепаратов, представлен немногочисленной группой [6-8]. В связи с этим, актуальной и перспективной задачей ветеринарной фармакологии является научный поиск новых видов лекарственного растительного сырья в качестве источника биологически активных веществ для производства фитопрепаратов и кормовых добавок для животных.

В последние годы в научных журналах появились публикации о древесных растениях семейства лоховые, представителем которого является лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia*). В народной медицине извлечения из растения применяют для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, артритов, плоды используют в качестве отхаркивающего и противопаразитарного средства. Установлено, что средства на основе лоха узколистного обладают ранозаживляющим,

противовоспалительным, антимутагенным, антимикробным и миорелаксантным свойствами. Следует отметить отсутствие в доступной научной литературе информации об использовании лоха узколистного в этноветеринарии. Лох узколистный широко распространен на территории России, растение способно к быстрому накоплению биологической массы, что позволяет прогнозировать наличие значительных объемов сырьевой базы для производства фитопрепаратов в промышленных масштабах. В связи с этим, в научном сообществе актуально изучение лоха узколистного как перспективного источника биологически активных веществ, обладающих гастропротективным, антиоксидантным и противовоспалительным эффектами [2, 5, 18-19, 24, 29].

Цель исследования – провести анализ и обобщить результаты научных публикаций о механизмах развития язвенного гастродуоденита у животных и современных средствах фармакокоррекции синтетического и растительного происхождения, для обоснования перспективы применения фитопрепаратов на основе лоха узколистного в качестве гастропротективного средства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В качестве источников литературы были приняты научные статьи на английском и русском языках, опубликованные на апрель 2025 года, и размещенные в библиографических базах данных, в научных электронных библиотеках поисковых систем: Pubmed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov), реестр лекарственных растений (https://www.rlsnet.ru), Гугл академия (https://scholar.google.ru/schhp?hl=ru), eLIBRARY.RU (https://www.elibrary.ru), Science Direct (https://www.sciencedirect.com/), Государственный реестр лекарственных средств для ветеринарного применения, Государственный реестр кормовых добавок (https://fsvps.gov.ru/). Запрос включал слова и их сочетания: «лох узколистный», «*Elaeagnus angustifolia»*, «фитопрепарат», «биологически активные вещества», «фармакологические эффекты растений», «язвенная болезнь», «патогенез язвенной болезни», «фитотерапия эрозивного гастрита». Методы исследования – анализ и обобщение научной литературы с 2018 года по настоящее время о патогенезе язвенного гастродуоденита, с акцентом на механизмы развития заболевания, этиологические факторы. Исследованы существующие фармакотерапевтические подходы к лечению язвенного гастродуоденита, в том числе фитопрепаратами, а также проведены поиск и анализ данных о биологически активных веществах, содержащихся в лохе узколистном, с акцентом на их потенциальное терапевтическое действие при язвенном гастродуодените.

РЕЗУЛЬТАТЫ/ RESULTS

Патогенез язвенного гастродуоденита. Эрозивно-язвенный гастродуоденит представляет собой сложное полиэтиологическое заболевание, характеризующиеся поверхностным (эрозии) или глубоким (язвы) повреждением оболочек желудка и двенадцатиперстной кишки. Образование эрозий начинается с истончения слизистой оболочки на месте повреждений, что может привести к образованию более глубоких язв. Язвы формируются как овальные или круглые дефекты, затрагивающие подслизистый и мышечный слои стенки желудка, что может вызвать кровотечение или перфорацию [17, 20].

Существует прямая связь между повышенной кислотообразующей функцией желудка и протеолитической активностью желудочного сока. Гастродуоденальные язвы возникают при преобладании агрессивных факторов (соляная кислота, пепсин) над защитными (слизь, бикарбонаты). Слизь желудка представляет собой коллоидный раствор гликопротеидов, который образует защитную бикарбонатную выстилку [14, 30, 37].

Молекулярный механизм кислотно-пептического фактора включает обратную диффузию ионов водорода в стенку органа, *окислительный стресс* нарушает антиоксидантную систему в эндогенных клетках слизистой оболочки, после чего про-

исходит нарушение барьерной функции слизистой оболочки. Это приводит к повышению образования воспалительных цитокинов и макрофагов, что усиливает воспалительный процесс и способствует дальнейшему разрушению тканей. Повреждение эндотелия вызывает выделение гистамина тучными клетками подслизистого слоя, что приводит к вазоконстрикции, гипоксии и воспалению тканей. Накопление ионов водорода снижает кровоток в слизистой оболочке, вызывая аноксию и анаэробиоз с последующим повышением молочной кислоты в тканях, в тяжелых случаях развивается системный ацидоз [23, 25-26, 28, 32].

Ведущую роль в развитии язвенного гастродуоденита уделяют *снижению уровня простагландинов*. Доказано, что частое применение нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП) животным, особенно кошкам, приводит к истончению защитного слоя слизи, что способствует прямому воздействию соляной кислоты на слизистую оболочку желудка вплоть до развития желудочно-кишечного кровотечения, перфорации язв и развития перитонита. Доказано, что НПВП вызывают пептические язвы как через местные, так и системные механизмы. Местные механизмы включают продукцию реактивных форм кислорода (РФК), таких как супероксиды и свободные гидроксильные радикалы. Системные механизмы связаны с ингибированием продукции простагландинов через подавление циклооксигеназ (ЦОГ), что неизбежно нарушает защитный механизм слизистой оболочки (рис. 1). НПВП вызывают увеличение адгезии нейтрофилов к стенкам кровеносных сосудов, что сопровождается высвобождением протеаз и свободных радикалов кислорода из этих клеток, что, в свою очередь, приводит к множественным повреждениям эндотелия и эпителия. На внутриклеточном уровне происходит синдром липидной пероксидации – повреждение липидов и белков мембран, набухание и разрушение митохондрий и лизосом, активация катепсинов внутри клетки и ее гибель [25, 30-31].



Рисунок 1 – Механизм индукции язвы желудка нестероидными противовоспалительными препаратами.

Изменение состава микрофлоры кишечника на фоне повышения активности блуждающего нерва (*n.Vagus*), например, при действии хронического стресса в промышленном свиноводстве, также играют важную роль в патогенезе язвенной болезни. Развивающиеся при этом состоянии гиперсекреция соляной кислоты и спазм сосудов желудка способствуют образованию трофических язв в эндотелии желудка и двенадцатиперстной кишки, микрофлора которой, в основном, представлена энтеро- и лактобактериями, стрепто- и пептококками [1, 3, 27]. Продвижение химуса на фоне нарушения моторики кишечника, например, при гастродуоденальном рефлюксе, способствует развитию дисбактериоза, вследствие его «закисления» в начальном отделе кишечника. Снижение количественного содержания лактобактерий также вызывает

задержку химуса в двенадцатиперстной кишке, при этом содержимое агрессивно влияет на слизистую оболочку кишки. При повторных антиперистальтических движениях кишечника, происходит возврат химуса в желудок, что оказывает негативное воздействие на слизистую оболочку желудка, имея в своем составе, помимо пепсина и соляной кислоты, желчные кислоты [11-12, 17].

Таким образом, патогенез язвенной болезни сводится к нарушению равновесия между факторами кислотно-пептической агрессии желудочного содержимого и защитными элементами слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки. Важно отметить, что в большинстве случаев возникновение гастродуоденальной язвы является результатом сложного взаимодействия нескольких факторов – от нервных до биохимических, что требует комплексного подхода к диагностике и терапии данного заболевания.

Фармакотерапия язвенного гастродуоденита. Традиционная фармакотерапия язвенного гастродуоденита у собак фокусируется на подавлении кислотной продукции. Однако, несмотря на применение современных ингибиторов протонной помпы, в ряде случаев наблюдают персистенцию язвенного дефекта или его рецидив, что указывает на необходимость пересмотра терапевтических подходов. В настоящее время все большее внимание уделяют комплексному подходу к лечению язвенной болезни. Данная стратегия предполагает не только воздействие на кислотную агрессию, но и коррекцию различных проявлений микроциркуляции, моторики, а также повышение резистентности к повреждающим факторам. Сегодня протокол лечения язвенной болезни у собак включает применение антисекреторных препаратов – ингибиторов протонной помпы, блокаторов гистаминовых рецепторов, а также антацидов, энтеросорбентов, антибиотиков для борьбы с патогенной микрофлорой, вяжущих, обволакивающих средств, в том числе препаратов растительного происхождения в восстановительном периоде [7, 11-12, 15, 17, 20, 35-39]. В комплексном лечении эрозивного гастродуоденита и язвенной болезни в гуманной медицине в качестве противовоспалительного и спазмолитического средства назначают фитопрепараты лекарственных растений солодки голой (*Glycyrrhiza glabra* L.) и ромашки аптечной (*Chamomilla recutita* L.), в качестве вяжущего средства – фитопрепараты на основе зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*) [7, 33-34, 40]. Известные фармакологические мишени, на которые воздействуют лекарственные препараты для лечения язвенной болезни, представлены на рисунке 2.

Одной из фармакологических мишеней являются мускариновые рецепторы, регулирующие выделение ацетилхолина в интрамуральный ганглий желудка с последующим его поступлением в париетальные и ECL-клетки. С целью снижения секреции желудочного сока разработаны М-холиноблокаторы – препараты, связывающие рецепторы и снижающие межнейронную передачу импульса по *n.vagus* – это атропина сульфат, скополамин и препараты на основе красавки белладонны (*Atropa belladonna*) (табл.). Блокаторы гистаминовых рецепторов (фамотидин, ранитидин) ингибируют поступление гистамина в гистаминовые рецепторы париетальной клетки. Высвобождению ионов водорода на поверхность стенки желудка из париетальной клетки препятствуют ингибиторы протонной помпы (ИПП), блокируя фермент H+/K+-АТФазу, который отвечает за перенос ионов водорода в желудочный просвет для образования соляной кислоты. ИПП такие как омепразол, пантопразол, лансопразол, рабепразол эффективно снижают кислотность желудочного сока, профилактируя развитие колик. Нейтрализуют соляную кислоту антациды: алюминия и магния гидроксид, алюминия фосфат, натрия гидрокарбонат, кальция и магния карбонат. Уменьшают проницаемость слизистой оболочки и вызывают «дубящее» действие вяжущие средства: соли тяжелых металлов и органические

средства растительного происхождения, содержащие танины (кора дуда, лист чая, ягоды черемухи, щавель конский и др.). Обволакивающие средства (алюминия гидроокись, сукральфат) образуют на поверхности слизистой оболочки желудка защитный слой слизи. Спазмолитики миотропного действия (папаверин, дротаверин) используют в качестве вспомогательного средства для лечения язвенного гастродуоденита при спазмах гладкой мускулатуры желудочно-кишечного тракта [7, 15, 20].

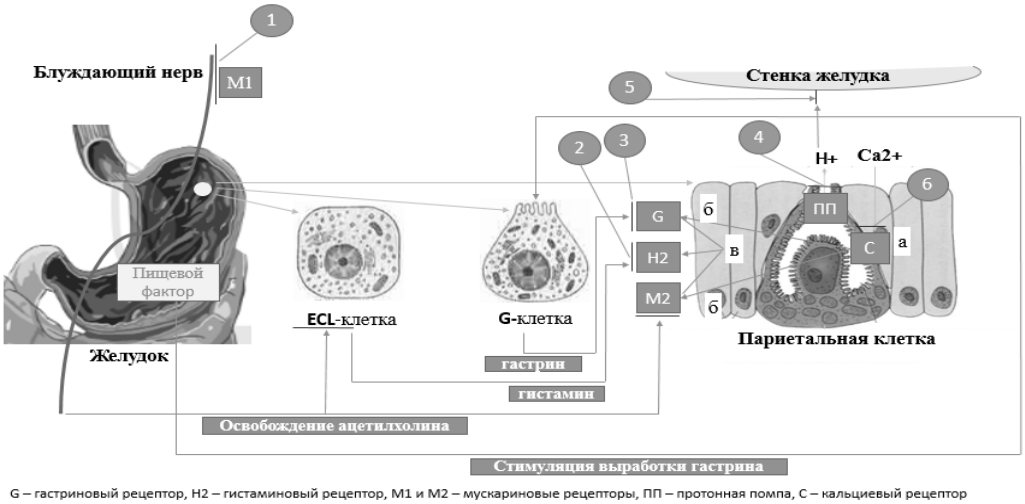


Рисунок 2 – Фармакологические мишени для лечения язвенной болезни. Цифрами указаны фармакологические группы лекарственных препаратов (см. табл.).

Результат анализа Государственного реестра лекарственных средств для животных, показал, что в ветеринарии официально разрешены к применению только вяжущие средства и энтеросорбенты. Аналоги препаратов гуманной медицины с иным механизмом действия для животных отсутствуют несмотря на широкое их назначение в комплексной терапии язвенного гастродуоденита у собак [4, 7-10].

Перспективы применения лоха узколистного при язвенном гастродуодените. В плодах и коре лоха узколистного выявлено высокое содержание дубильных веществ и каротиноидов, в частности β-каротина – провитамина А, который играет важную роль в защите мембран эпителиальных клеток от повреждений и участвует в их метаболизме [24]. Листья лоха узколистного содержат значительное количество конденсированных танинов (стриктинин, изостриктинин, казуаринин, гипофенин), обладающих антиоксидантным, ранозаживляющим, противовоспалительным, бактерицидным и иммуностимулирующим действием. Анализ химического состава плодов показал наличие около 60 % общего сахара, из которых более 50 % составляют редуцирующие сахара и около 4 % – пектины (природные сорбенты). В различных частях растения (листья, плоды, кора и цветы) обнаружено высокое содержание флавоноидов (рутин, кверцетин, изорамнетин и его гликозиды, элеагнозид, кемпферол), которые обладают капилляроукрепляющей активностью и проявляют антиоксидантные, спазмолитические и противоязвенные эффекты. Механизм действия флавоноидов включает регуляцию экспрессии циклооксигеназы-2 (ЦОГ-2) и стимуляцию секреции желудочной слизи, что способствует облегчению язвенных поражений желудка [2, 5, 16, 18, 19, 22-23, 26-27, 29].

Таблица 1 – Фармакологические мишени и средства фармакокоррекции язвенного гастродуоденита

1. Угнетение ацетилхолиновых рецепторов (М-ХБ)		
Действующее вещество	*Торговое наименование*	*Форма выпуска*
Атропина сульфат	Атропин	Раствор для инъекций
Скополамина гидробромид	Скополамин	Порошок
		Водный раствор 0,05%
		Водный раствор 0,25%
Красавка	Красавки настойка	Настойка
Красавка	Белладонна	Суппозитории ректальные
2. Угнетение H_2-гистаминовых рецепторов		
Ранитидин	Ранитидин	Таблетки 150 мг, 300 мг
Фамотидин	Фамотидин	Таблетки 20 мг, 40 мг
Фамотидин	Квамател®Мини	Таблетки 10 мг
3. Угнетение гастриновых рецепторов (антагонисты гастриновых рецепторов)		
Действующее вещество	Торговое наименование	
Проглумид	Milid	В настоящее время препарат больше не применяется
4. Блокада фермента H^+/K^+-АТФазы париетальной клетки слизистой оболочки желудка (ингибиторы протонной помпы)		
Омепразол	Омез	Капсулы 10 мг
		Лиофилизат для приготовления раствора для инфузий 40 мг
	Омепразол	Капсулы 20 мг
Лансопразол	Ланзабел®	Капсулы 30 мг
	Ланцид®	Капсулы 15 мг, 30 мг
	Лансон-АФ	Лиофилизат для приготовления раствора для инфузий 30 мг
Пантопразол	Нольпаза	Таблетки 20 мг, 40 мг
Рабепразол	Париет	Таблетки 10 мг, 20 мг
5. Угнетение воздействия желудочного сока на стенку желудка		
5.1. Нейтрализация HCl (Антациды, неорганические средства)		
Алюминия гидроксид, магния гидроксид	Алмагель®	Суспензия
Алюминия фосфат	Фосфалюгель	Гель
Натрия гидрокарбонат	Пищевая сода	Порошок
Кальция карбонат, магния карбонат	Ренни®	Таблетки жевательные 680+80 мг
5.2. Нейтрализация HCl. Формирование барьера на слизистой оболочке желудка (органические средства)		
Альгинат натрия	Альгинат натрия	Препаративные формы зарегистрированы в РФ только для применения в проктологии
5.3. Комбинированные средства (органические и неорганические)		
Кальция карбонат, натрия гидрокарбонат, натрия альгинат	Гевискон®	Суспензия

5.4. Вяжущие средства неорганической природы (соли тяжелых металлов)		
Висмута субнитрат	Викаир	Таблетки
Висмута трикалия дицитрат	Висмута трикалия дицитрат	Таблетки 120 мг
	Бивинол	
	Бисмутен	
	Де-Нол®	Таблетки 304,6 мг
Алюминия ацетат	Алюминия ацетат	В РФ зарегистрирован для наружного применения
Серебра нитрат	Серебра нитрат	В настоящее время применяется только наружно
5.5. Вяжущие средства органической природы (растительного происхождения)		
Зверобоя трава	Зверобоя трава	Порошок
Зверобой продырявленный	Стартин-Фито[В]	Порошок
Ромашки цветки	Ромашки цветки	Сырье растительное измельченное
Черемухи плоды	Черемухи плоды	Сырье растительное цельное
Лапчатки корневища	Лапчатки прямостоячей корневища	Порошок
Танин	Танин	Порошок
5.6. Обволакивающие средства неорганической природы		
Магния трисиликат	Гестид	Таблетки. Препарат не зарегистрирован в РФ
Алгедрат (алюминия гидроокись)	Алгемаг	Суспензия
5.7. Обволакивающие средства органической природы (растительного происхождения)		
Льна семя	Льна семена	Сырье растительное
Сукральфат	Antepsin 1 G	Таблетки 1 г.
	Вентер	Таблетки 1 г. Препарат не зарегистрирован в РФ
5.8. Энтеросорбенты		
Пектин	Комплекс с пектином жидкий уголь®	Порошок
Активированный уголь	Активированный уголь	Таблетки 250 мг, 500 мг
Шелуха семян подорожника	Фитомуцил® Сорбент Форте	Порошок
Шелуха семян подорожника	Диаракс Псиллиум[В]	Порошок
Полиметилсилоксана полигидрат	Энтеросгель®	Паста
Кремния диоксид коллоидный	Зоосорб[В]	Порошок
Поливинилпирролидон	Лерсин[В]	Порошок
6. Угнетение проникновения Ca^{2+} в париетальную клетку через кальциевый канал (Блокаторы кальциевых каналов)		
Действующее вещество	*Торговое наименование*	*Форма выпуска*
Верапамил	Верапамил	Таблетки 40 мг, 80 мг
7. Спазмолитики миотропного действия		
Действующее вещество	*Торговое наименование*	*Форма выпуска*
Папаверин	Папаверин	Таблетки 40 мг
		Раствор 20 мг/1 мл, 40 мг/2 мл
Дротаверин	Но-шпа®	Таблетки 40 мг
		Раствор 20 мг/1 мл

Пояснение к таблице: [В] - ветеринарный препарат.

Лох узколистный содержит ß-карболиновые алкалоиды (гарман, дигидрогарман, тетрагидрогарман, тетрагидрогармол, N-метил-тетрагидрогармол, N-метил-тетрагидро-ß-карболин), которые было предложено использовать в качестве антиоксидантов, противовоспалительных, психотропных, антимикробных и тонизирующих средств [5, 21]. Известно, что ß-карболиновые алкалоиды способны ингибировать моноаминоксидазу (МАО), в свою очередь, ингибиторы МАО обладают непрямым действием на выделение желудочного сока и тонус гладкой мускулатуры желудка: повышается концентрация моноаминов (серотонина, норадреналина, дофамина) в синаптической щели, после чего, благодаря повышенной концентрации норадреналина, происходит стимуляция симпатической нервной системы, что сопровождается снижением активности парасимпатической нервной системы. Сниженная активность блуждающего нерва сопровождается уменьшением выделения секрета железами желудка, а также снижением моторики желудочно-кишечного тракта, что может благоприятно влиять на исход язвенной болезни при наличии рисков кровотечения. Таким образом, норадреналин оказывает тормозящее влияние на деятельность желез желудка [21].

Благодаря своему богатому химическому составу, включающему дубильные вещества, флавоноиды, каротиноиды и алкалоиды, лох узколистный обладает комплексным терапевтическим потенциалом. Эти компоненты обеспечивают выраженные противовоспалительные, антиоксидантные, ранозаживляющие и иммуностимулирующие свойства, а также способствуют снижению секреции желудочного сока и улучшению состояния слизистой оболочки желудка.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В заключение, патогенез язвенного гастродуоденита представляет собой сложный многофакторный процесс, обусловленный нарушением баланса между агрессивными факторами желудочного сока и защитными механизмами слизистой оболочки. Основные механизмы включают повышение кислотно-пептической активности, снижение уровня простагландинов, повреждение эндотелия и эпителия под действием воспалительных цитокинов, свободных радикалов и медикаментозных факторов, таких как НПВП. Важную роль играют также изменения микрофлоры кишечника и нервной регуляции, что способствует развитию трофических изменений и дисбактериоза. Комплексность патогенетических механизмов требует системного подхода к диагностике и терапии, направленного на восстановление равновесия между факторами повреждения и защитными элементами слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки.

Современная фармакотерапия язвенного гастродуоденита предполагает комплексный подход, включающий не только подавление кислотной секреции с помощью ингибиторов протонной помпы и блокаторов гистаминовых рецепторов, но и коррекцию трофики, моторики желудочно-кишечного тракта, повышение резистентности его слизистой оболочки. В ветеринарной медицине наблюдается ограниченность в использовании препаратов, воздействующих на различные фармакологические мишени, что обусловливает необходимость применения гуманитарных лекарственных средств для лечения животных.

Комплексный химический состав лоха узколистного обуславливает его многофункциональное фармакологическое действие при язвенном гастродуодените. Перспективы применения данного растения в качестве фитотерапевтического средства для лечения и профилактики язвенного гастродуоденитов обусловлены его способностью снижать воспаление, защищать слизистую оболочку желудка и стимулировать процессы регенерации. Для подтверждения эффективности и безопасности лоха узколистного необходимы дальнейшие клинические исследования с целью разработки оптимальных форм препаратов и схем лечения.

PATHOGENETIC JUSTIFICATION OF PHARMACOTHERAPY OF ULCER GASTRODUODENITIS IN ANIMALS AND PROSPECTS FOR USING OLEACH IN PATHOLOGY (REVIEW)

Boyko T.V. [1]* – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Diagnostics, Internal Non-Communicable Diseases, Pharmacology, Surgery and Obstetrics (ORCID 0000-0002-0799-8921); **Astasheva I.A.**[1] – Postgraduate student, (ORCID 0009-0009-7929-0744); **Luksha E.A**.[2] – Ph.D. of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of pharmaseutical, analytical and toxicology chemistry (ORCID 0000-0003-4591-2508).

[1] Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin.

[2] Omsk State Medical University

* tv.boyko@omgau.org

ABSTRACT

The leading place among diseases of non-infectious etiology in productive animals is occupied by diseases of the digestive tract. The article discusses the pathogenetic mechanisms of ulcerative gastroduodenitis development, modern approaches to pharmacotherapy of the disease and prospects for the use of herbal remedies based on oleaster. An analysis of publications by keywords, "oleaster", "pharmacological effects", "herbal remedy", "gastritis", "peptic ulcer disease", "medicinal plants", posted in bibliographic databases and scientific electronic libraries of search engines. The existing pharmacotherapeutic approaches to the treatment of ulcerative gastroduodenitis, including herbal preparations, were studied, and data on biologically active substances contained in narrow-leaved oleaster were searched and analyzed, with an emphasis on their potential therapeutic effect in ulcerative gastroduodenitis. The main pathogenetic factor of peptic ulcer disease is damage to the mucous membrane of the stomach and duodenum under the influence of excessive production of hydrochloric acid and pepsin with the subsequent development of oxidative stress and disruption of its barrier function. Frequent use of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) for therapeutic purposes in animals contributes to the development of NSAID-induced gastropathy. Modern therapy of ulcerative gastroduodenitis in unproductive animals is based on the use of synthetic drugs - blockers of H+ and H2 - histamine receptors, antacids and sorbents. A promising direction in the therapy of ulcerative gastroduodenitis is the use of herbal preparations with proven gastroprotective activity, such as powder of rhizomes and roots of elecampane, flax seeds, plantain and preparations based on calendula officinalis. As a source of biologically active substances for the production of herbal preparations / feed additives with a gastroprotective effect, it is possible to use raw materials of oleaster - a plant containing a significant number of tannins, flavonoids, carotenoids and alkaloids, aqueous extracts from the fruits of which have wound-healing, anti-inflammatory, antimutagenic, antimicrobial properties.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Барышев, В. А. Влияние фитобиотика на микробиоту кишечника телят / В. А. Барышев, О. С. Попова // Международный вестник ветеринарии. – 2019. – № 4. – С. 86-89. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2019.4.86. – EDN EJKKPG.

2. Бойко Т.В., Огурной И.В., Огурная Ю.Е. Потенциальные источники биологически активных веществ Омской области для создания фитобиотиков и фитогеников. Международный вестник ветеринарии. 2024;(4):127-137. https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.4.127

3. Вахрушев Я. М., Бусыгина М. С., Сапегин А. А. Ассоциация нарушений моторики желудочно-кишечного тракта и пристеночной микробиоты при хронической дуоденальной недостаточности // Вятский медицинский вестник. 2023. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/assotsiatsiya-narusheniy-motoriki-zheludochno-kishechnogo-trakta-i-pristenochnoy-mikrobioty-pri-hronicheskoy-duodenalnoy (дата обращения: 12.04.2025).

4. Гафурова М. Р., Салаутин В. В. Пре-

имущества применения комплексного подхода в лечении гастрита у собак, включающий медикаментозную и диетотерапию // Научный аспект. – 2024. – Т. 39. – №. 6. – С. 4831.
5. Гонохов, Е. С. Общая характеристика и перспективы применения лоха узколистного (Elaeagnus angustifolia l.) в ветеринарии / Е. С. Гонохов, Т. В. Бойко // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2023. – № 4(35). – EDN KNQCKI.
6. Государственный реестр кормовых добавок. URL: https://fsvps.gov.ru/files/spisok-zaregistrirovannyh-kormovyh-dobavok-dlja-zhivotnyh/ (дата обращения: 06.05.2025).
7. Государственный реестр лекарственных средств. URL: https://grls.rosminzdrav.ru/ (дата обращения: 19.04.2025)
8. Государственный реестр лекарственных средств для ветеринарного применения (перечень лекарственных препаратов, прошедших государственную регистрацию) URL: https://fsvps.gov.ru/ (дата обращения: 27.11.2024).
9. Загородских, О. Д. Клинический случай: язва желудка у собаки / О. Д. Загородских // Сборник клинических случаев студентов факультета ветеринарной медицины и экспертизы: сборник тезисов студентов факультета ветеринарной медицины и экспертизы, обучающихся по специальности - 36.05.01 "Ветеринария". – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. – С. 104-107. – EDN ORCJLD.
10. Киселева Е. Ю., Дарбинян А. А. Этиология и статистика заболеваний желудочно-кишечного тракта собак и кошек // Научный аспект. – 2019. – Т. 12. – №. 2. – С. 1514.
11. Лычкова А. Э., Хомерики С. Г., Пузиков А. М. Моторная функция желудочно-кишечного тракта при эрозиях желудка // ЭиКГ. 2021. №3 (187). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/motornaya-funktsiya-zheludochno-kishechnogo-trakta-pri-eroziyah-zheludka (дата обращения: 21.03.2025).
12. Михайлова Д.С., Магер С.Н. Влияние фитометабиотика «Фитолизат Гастро» на показатели гомеостаза и изменение популяций микрофлоры толстого отдела кишечника телят с синдромом желудочно-кишечных заболеваний. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024;(3):221-229. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-221-229
13. Нургалиев Ф. М., Семенов Э. И., Поздеев О. К., Софронов П. В. Частота развития язвенных процессов в слизистой оболочке желудка свиней, обусловленных воздействием микотоксинов и колонизацией бактериями рода Helicobacter // Ветеринарный врач. 2020. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chastota-razvitiya-yazvennyh-protsessov-v-slizistoy-obolochke-zheludka-sviney-obuslovlennyh-vozdeystviem-mikotoksinov-i-kolonizatsiey (дата обращения: 13.05.2025).
14. Оздемиров А. А. Распространенность и структура желудочно-кишечных болезней телят в условиях Прикаспийского региона //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – №. 11-1. – С. 129-133.
15. Минушкин О Н., Фролова А А., Масловский Л В. Механизм действия и возможности применения комбинированных фитопрепаратов в терапии функциональных заболеваний желудочно-кишечного тракта // РМЖ. 2023. №10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizm-deystviya-i-vozmozhnosti-primeneniya-kombinirovannyh-fitopreparatov-v-terapii-funktsionalnyh-zabolevaniy-zheludochno (дата обращения: 12.04.2025).
16. Прокопчук, Т. М. Оценка мутагенного потенциала Elaeagnus angustifolia в тесте Эймса / Т. М. Прокопчук // Актуальные вопросы современной науки и образования: сборник статей III Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Пенза, 25 мая 2020 года. Том Часть 1. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 23-25. – EDN ANBEND.
17. Пугачева А. В., Маркова М. В. Профилактика заболеваний желудочно-

кишечного тракта у поросят на крупном свиноводческом комплексе / Пугачева А. В., Маркова М. В. // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики. — Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2020. — С. 170-173.
18. Садырова М. А., Карроматов И. Дж, Амонов М. К. Медицинское значение растения лох узколистый // Биология и интегративная медицина. 2017. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskoe-znachenie-rasteniya-loh-uzkolistyy (дата обращения: 06.05.2025).
19. Сальникова Н. А., Цибизова А. А., Шур Ю. В. Перспективы применения растений рода Elaeagnus в фармацевтической и пищевой промышленности // Бюллетень науки и практики. 2018. №12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-rasteniy-roda-elaeagnus-v-farmatsevticheskoy-i-pischevoy-promyshlennosti (дата обращения: 20.03.2025).
20. Смоленцев С. Ю., Грачева О. А., Мухутдинова Д. М., Шагеева А. Р. Лечение желудочно-кишечных болезней телят природными лекарственными средствами // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2022. №1 (29). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lechenie-zheludochno-kishechnyh-bolezney-telyat-prirodnymi-lekarstvennymi-sredstvami (дата обращения: 21.03.2025).
21. Толкачев О. Н. и др. Растительные препараты на основе индольных алкалоидов: биологическая активность //Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2018. – №. 9. – С. 141.
22. Цибизова А. А., Сергалиева М. У., Башкина О. А., Самотруева М. А. Изучение противоязвенной активности экстракта плодов Elaeagnus angustifolia // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2022. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-protivoyazvennoy-aktivnosti-ekstrakta-plodov-elaeagnus-angustifolia (дата обращения: 13.05.2025).
23. Цибизова А. А., Сергалиева М. У., Макалатия М. К., Самотруев А. В., Каштанова О. А. Оценка влияния экстрактов плодов и листьев лоха узколистного (Elaeagnus angustifolia l.) на интенсивность перекисного окисления липидов // МНИЖ. 2022. №12 (126). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-ekstraktov-plodov-i-listiev-loha-uzkolistnogo-elaeagnus-angustifolia-l-na-intensivnost-perekisnogo-okisleniya (дата обращения: 21.03.2025).
24. Шастак, Е. Натуральный и синтетический β-каротин / Е. Шастак // Животноводство России. – 2018. – № 10. – С. 46-48. – EDN YMRVCH.
25. Alaa Zouher Darkazallya, Amirah Alnourb, Shadi Homsi. Troxerutin effect on gastric ulcers induced by ketorolac in rats: Relation with oxidative stress. Heliyon, Volume 10, Issue 19, 2024, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e38893
26. Antioxidant capacity of an ethanolic extract of Elaeagnus x submacrophylla Servett. leaves Bisi, Hélène et al. Heliyon, Volume 10, Issue 7, 2024, e28067
27. Elaeagnus angustifolia L. fruit alleviates diarrhea via regulating intestinal microbiota and short chain fatty acids. Abulizi, Xiatiguli et al. Heliyon, Volume 10, Issue 19, e38646.
28. Mehdi Ahaninjan, Seyed Hadi Peighambardoust, Sodeif Azadmard-Damirchi, From plant to nanomaterial: Physicochemical and functional characterization of nanochitosomes loaded with antioxidant peptide fractions from oleaster-seed protein, Journal of Agriculture and Food Research, Volume 20, 2025, 101771, ISSN 2666-1543, https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101771
29. Mitra Heydari Nasrabadi, Malahat Parsivand, Narges Mohammadi, Nastaran Asghari Moghaddam, Comparison of Elaeagnus angustifolia L. extract and quercetin on mouse model of knee osteoarthritis, Journal of Ayurveda and Integrative Medicine, Volume 13, Issue 2, 2022, 100529, ISSN 0975-9476, https://doi.org/10.1016/j.jaim.2021.10.001
30. Nazma Khan, Mohammad Khushtar, Md Azizur Rahman, Md Kaish, Mohd Ajmal. Amelioration of gastric ulcer using a hydro-

alcoholic extract of Mangifera indica in Sprague Dawley rats by prevention of muco-oxidative stress. Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine, Volume 11, 2024, ISSN 2667-1425, https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2024.100442
31. Nonsteroid anti-inflammatory drugs and the risk of peptic ulcers after gastric bypass and sleeve gastrectomy, Skogar, Martin L. et al., Surgery for Obesity and Related Diseases, Volume 18, Issue 7, 2022, 888 - 893
32. Palika Wetchakul, Soiphet Net-Anong, Jo Aan Goon, Sineenart Sanpinit. Anti-oxidative stress and gastroprotective effect of Tri-Tharn-Thip tea against ethanol-induced gastric ulcer in rats. South African Journal of Botany,Volume 170, 2024, Pages 130-136, ISSN 0254-6299, https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.027
33. Park Y. S. et al. Exploring the dietary and therapeutic potential of licorice (Glycyrrhiza uralensis Fisch.) sprouts //Journal of Ethnopharmacology. – 2024. – Т. 328. – С. 118101.
34. Shahane K. et al. An updated review on the multifaceted therapeutic potential of Calendula officinalis L //Pharmaceuticals. – 2023. – Т. 16. – №. 4. – С. 611.
35. Suputra Bunlung, Teerapat Nualnoi, Ousanee Issarachot, Ruedeekorn Wiwattanapatapee. Development of raft-forming liquid and chewable tablet formulations incorporating quercetin solid dispersions for treatment of gastric ulcers. Saudi Pharmaceutical Journal, Volume 29, Issue 10, 2021, Pages 1143-1154, ISSN 1319-0164, https://doi.org/10.1016/j.jsps.2021.08.005.
36. Tiantai Wu, Huan Zhang, Yang Jin, Ming Zhang, Qing Zhao, Herong Li, Shouli Wang, Yuan Lu, Shuaishuai Chen, Huakang Du, Ting Liu, Weiyu Guo, Wen Liu. The active components and potential mechanisms of Wuji Wan in the treatment of ethanol-induced gastric ulcer: An integrated metabolomics, network pharmacology and experimental validation.Journal of Ethnopharmacology,Volume 326, 2024, ISSN 0378-8741, https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117901
37. Urooj Iqbal, Abdul Malik, Nabeela Tabassum Sial, Malik Hassan Mehmood, Ambreen Malik Uttra, Ume Ruqia Tulain, Alia Erum, Muhammad Fayyaz-ur-Rehman, Nermeen N. Welson, Mohamed H. Mahmoud, Athanasios Alexiou, Marios Papadakis, Gaber El-Saber Bathia. Eucalyptol attenuates indomethacin-induced gastric ulcers in rats by modulating the ICAM-1, eNOS and COX/LOX pathways: Insights from in silico, in vitro and in vivo approaches. Food and Chemical Toxicology, Volume 199, 2025, ISSN 0278-6915, https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115319
38. Xueying Wang, Xuejiao Wang, Mingyuan Wen, Xiaolong Li. Bibliometric analysis of literature on prevention and treatment of gastric ulcer with natural medicines. Journal of Future Foods, Volume 3, Issue 3, 2023, Pages 225-233, ISSN 2772-5669, https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.02.004
39. Yifei Xu, Linsun Lin, Huantian Zheng, Siyuan Xu, Xinxin Hong, Tiantian Cai, Jianqu Xu, Weijian Zhang, Yanzhen Mai, Jingwei Li, Bin Huang, Zhu Liu, Shaoju Guo. Protective effect of Amauroderma rugosum ethanol extract and its primary bioactive compound, ergosterol, against acute gastric ulcers based on LXR-mediated gastric mucus secretions. Phytomedicine, Volume 123, 2024, ISSN 0944-7113, https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.155236
40. Yufan Wu, Yinglin Guo, Tairun Huang, Dehao Huang, Li Liu, Chunyan Shen, Cuiping Jiang, Zhuxian Wang, Hongkai Chen, Peiyi Liang, Yi Hu, Zeying Zheng, Tao Liang, Dan Zhai, Hongxia Zhu, Qiang Liu. Licorice flavonoid alleviates gastric ulcers by producing changes in gut microbiota and promoting mucus cell regeneration. Biomedicine & Pharmacotherapy, Volume 169, 2023, 115868, SSN 0753-3322, https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115868

REFERENCES

1. Baryshev, V. A. Effect of phytobiotic on the intestinal microbiota of calves / V. A. Baryshev, O. S. Popova // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2019. - No. 4. - P. 86-89. - DOI 10.17238/issn2072-2419.2019.4.86. - EDN EJKKPG. 2. Boyko T.V., Ogurnoy I.V., Ogurnaya Yu.E. Potential sources of biologically active substances of the Omsk region for the creation of phy-

tobiotics and phytogenics. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024; (4): 127-137. https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.4.127
3. Vakhrushev Ya. M., Busygina M. S., Sapegin A. A. Association of gastrointestinal motility disorders and parietal microbiota in chronic duodenal insufficiency // Vyatka Medical Bulletin. 2023. No. 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/assotsiatsiya-narusheniy-motoriki-zheludochno-kishechnogo-trakta-i-pristenochnoy-mikrobioty-pri-hronicheskoy-duodenalnoy (date of access: 12.04.2025).
4. Gafurova M. R., Salautin V. V. Advantages of using an integrated approach to the treatment of gastritis in dogs, including drug and diet therapy // Scientific aspect. - 2024. - Vol. 39. - No. 6. - P. 4831.
5. Gonokhov, E. S. General characteristics and prospects for the use of narrow-leaved oleaster (Elaeagnus angustifolia l.) in veterinary medicine / E. S. Gonokhov, T. V. Boyko // Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University. - 2023. - No. 4 (35). - EDN KNQCKI.
6. State register of feed additives. URL: https://fsvps.gov.ru/files/spisok-zaregistrirovannyh-kormovyh-dobavok-dlja-zhivotnyh/ (date of access: 06.05.2025).
7. State Register of Medicines. URL: https://grls.rosminzdrav.ru/ (date of access: 19.04.2025)
8. State Register of Medicines for Veterinary Use (list of drugs that have passed state registration) URL: https://fsvps.gov.ru/ (date of access: 27.11.2024).
9. Zagorodskikh, O. D. Clinical case: gastric ulcer in a dog / O. D. Zagorodskikh // Collection of clinical cases of students of the faculty of veterinary medicine and examination: collection of theses of students of the faculty of veterinary medicine and examination, studying in the specialty - 36.05.01 "Veterinary Medicine". – Ekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2022. – P. 104-107. – EDN ORCJLD.
10. Kiseleva E. Yu., Darbinyan A. A. Etiology and statistics of gastrointestinal diseases in dogs and cats // Scientific aspect. – 2019. – Vol. 12. – No. 2. – P. 1514.
11. Lychkova A. E., Khomeriki S. G., Puzikov A. M. Motor function of the gastrointestinal tract in gastric erosions // EiCG. 2021. No. 3 (187). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/motornaya-funktsiya-zheludochno-kishechnogo-trakta-pri-eroziyah-zheludka (date of access: 21.03.2025).
12. Mikhailova D.S., Mager S.N. Effect of the phytometabiotic "Fitolizat Gastro" on homeostasis indices and changes in the populations of microflora of the large intestine of calves with gastrointestinal diseases syndrome. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024; (3): 221-229. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-72-3-221-229
13. Nurgaliev F. M., Semenov E. I., Pozdeev O. K., Sofronov P. V. Frequency of development of ulcerative processes in the gastric mucosa of pigs caused by exposure to mycotoxins and colonization by bacteria of the genus Helicobacter // Veterinary doctor. 2020. No. 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chastota-razvitiya-yazvennyh-protsessov-v-slizistoy-obolochke-zheludka-sviney-obuslovlennyh-vozdeystviem-mikotoksinov-i-kolonizatsiey (date of access: 13.05.2025).
14. Ozdemirov A. A. Prevalence and structure of gastrointestinal diseases of calves in the Caspian region // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2018. - No. 11-1. - P. 129-133.
15. O. N. Minushkin, A. A. Frolova, L. V. Maslovsky Mechanism of action and possibilities of using combined herbal preparations in the treatment of functional diseases of the gastrointestinal tract // RMJ. 2023. No. 10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizm-deystviya-i-vozmozhnosti-primeneniya-kombinirovannyh-fitopreparatov-v-terapii-funktsionalnyh-zabolevaniy-zheludochno (date of access: 12.04.2025).
16. Prokopchuk, T. M. Evaluation of the mutagenic potential of Elaeagnus angustifolia in the Ames test / T. M. Prokopchuk // Actual issues of modern science and education: collection of articles of the III International scientific and practical conference: in

2 parts, Penza, May 25, 2020. Volume Part 1. - Penza: "Science and Education" (IP Gulyaev G.Yu.), 2020. - P. 23-25. - EDN ANBEND.
17. Pugacheva A. V., Markova M. V. Prevention of gastrointestinal diseases in piglets on a large pig breeding complex / Pugacheva A. V., Markova M. V. // Actual problems of veterinary science and practice. — Omsk: FGBOU VO Omsk SAU, 2020. — P. 170-173.
18. Sadyrova M. A., Karomatov I. Dzh., Amonov M. K. Medical significance of the plant Elaeagnus angustifolia // Biology and integrative medicine. 2017. No. 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskoe-znachenie-rasteniya-loh-uzkolistyy (date of access: 06.05.2025).
19. Salnikova N. A., Tsibizova A. A., Shur Yu. V. Prospects for the use of plants of the genus Elaeagnus in the pharmaceutical and food industries // Bulletin of Science and Practice. 2018. No. 12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-rasteniy-roda-elaeagnus-v-farmatsevticheskoy-i-pischevoy-promyshlennosti (accessed: 20.03.2025). 20. Smolentsev S. Yu., Gracheva O. A., Mukhutdinova D. M., Shageeva A. R. Treatment of gastrointestinal diseases of calves with natural medicines // Bulletin of the Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences". 2022. No. 1 (29). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lechenie-zheludochno-kishechnyh-bolezney-telyat-prirodnymi-lekarstvennymi-sredstvami (date of access: 21.03.2025).
21. Tolkachev O. N. et al. Herbal preparations based on indole alkaloids: biological activity // Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry. - 2018. - No. 9. - P. 141.
22. Tsibizova A. A., Sergalieva M. U., Bashkina O. A., Samotrueva M. A. Study of antiulcer activity of Elaeagnus angustifolia fruit extract // Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry. 2022. No. 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-protivoyazvennoy-aktivnosti-ekstrakta-plodov-elaeagnus-angustifolia (date of access: 13.05.2025).
23. Tsibizova A. A., Sergalieva M. U., Makalatia M. K., Samotruev A. V., Kashtanova O. A. Evaluation of the effect of extracts of fruits and leaves of narrow-leaved oleaster (Elaeagnus angustifolia l.) on the intensity of lipid peroxidation // MNIZH. 2022. No. 12 (126). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-ekstraktov-plodov-i-listiev-loha-uzkolistnogo-elaeagnus-angustifolia-l-na-intensivnost-perekisnogo-okisleniya (date of access: 21.03.2025).
24. Shastak, E. Natural and synthetic β-carotene / E. Shastak // Animal Husbandry of Russia. - 2018. - No. 10. - P. 46-48. - EDN YMRVCH.
25. Alaa Zouher Darkazallya, Amirah Alnourb, Shadi Homsi. Troxerutin effect on gastric ulcers induced by ketorolac in rats: Relation with oxidative stress. Heliyon, Volume 10, Issue 19, 2024, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e38893
26. Antioxidant capacity of an ethanolic extract of Elaeagnus x submacrophylla Servett. leaves Bisi, Hélène et al. Heliyon, Volume 10, Issue 7, 2024, e28067
27. Elaeagnus angustifolia L. fruit alleviates diarrhea via regulating intestinal microbiota and short chain fatty acids. Abulizi, Xiatiguli et al. Heliyon, Volume 10, Issue 19, e38646.
28. Mehdi Ahaninjan, Seyed Hadi Peighambardoust, Sodeif Azadmard-Damirchi, From plant to nanomaterial: Physicochemical and functional characterization of nanochitosomes loaded with antioxidant peptide fractions from oleaster-seed protein, Journal of Agriculture and Food Research, Volume 20, 2025, 101771, ISSN 2666-1543, https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101771
29. Mitra Heydari Nasrabadi, Malahat Parsivand, Narges Mohammadi, Nastaran Asghari Moghaddam, Comparison of Elaeagnus angustifolia L. extract and quercetin on mouse model of knee osteoarthritis, Journal of Ayurveda and Integrative Medicine, Volume 13, Issue 2, 2022, 100529, ISSN 0975-9476, https://doi.org/10.1016/j.jaim.2021.10.001
30. Nazma Khan, Mohammad Khushtar, Md Azizur Rahman, Md Kaish, Mohd Ajmal.

Amelioration of gastric ulcer using a hydro-alcoholic extract of Mangifera indica in Sprague Dawley rats by prevention of muco-oxidative stress. Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine, Volume 11, 2024, ISSN 2667-1425, https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2024.100442
31. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs and the risk of peptic ulcers after gastric bypass and sleeve gastrectomy, Skogar, Martin L. et al., Surgery for Obesity and Related Diseases, Volume 18, Issue 7, 2022, 888 - 893
32. Palika Wetchakul, Soiphet Net-Anong, Jo Aan Goon, Sineenart Sanpinit. Anti-oxidative stress and gastroprotective effect of Tri-Tharn-Thip tea against ethanol-induced gastric ulcer in rats. South African Journal of Botany, Volume 170, 2024, Pages 130-136, ISSN 0254-6299, https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.027
33. Park Y. S. et al. Exploring the dietary and therapeutic potential of licorice (Glycyrrhiza uralensis Fisch.) sprouts // Journal of Ethnopharmacology. – 2024. – T. 328. – P. 118101.
34. Shahane K. et al. An updated review on the multifaceted therapeutic potential of Calendula officinalis L //Pharmaceuticals. – 2023. – T. 16. – No. 4. – P. 611.
35. Suputra Bunlung, Teerapat Nualnoi, Ousanee Issarachot, Ruedeekorn Wiwattanapatapee. Development of raft-forming liquid and chewable tablet formulations including quercetin solid dispersions for the treatment of gastric ulcers. Saudi Pharmaceutical Journal, Volume 29, Issue 10, 2021, Pages 1143-1154, ISSN 1319-0164, https://doi.org/10.1016/j.jsps.2021.08.005.
36. Tiantai Wu, Huan Zhang, Yang Jin, Ming Zhang, Qing Zhao, Herong Li, Shouli Wang, Yuan Lu, Shuaishuai Chen, Huakang Du, Ting Liu, Weiyu Guo, Wen Liu. The active components and potential mechanisms of Wuji Wan in the treatment of ethanol-induced gastric ulcer: An integrated metabolomics, network pharmacology and experimental validation. Journal of Ethnopharmacology, Volume 326, 2024, ISSN 0378-8741, https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117901
37. Urooj Iqbal, Abdul Malik, Nabeela Tabassum Sial, Malik Hassan Mehmood, Ambreen Malik Uttra, Ume Ruqia Tulain, Alia Erum, Muhammad Fayyaz-ur-Rehman, Nermeen N. Welson, Mohamed H. Mahmoud, Athanasios Alexiou, Marios Papadakis, Gaber El-Saber Bathia. Eucalyptol attenuates indomethacin-induced gastric ulcers in rats by modulating the ICAM-1, eNOS and COX/LOX pathways: Insights from in silico, in vitro and in vivo approaches. Food and Chemical Toxicology, Volume 199, 2025, ISSN 0278-6915, https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115319
38. Xueying Wang, Xuejiao Wang, Mingyuan Wen, Xiaolong Li. Bibliometric analysis of literature on prevention and treatment of gastric ulcer with natural medicines. Journal of Future Foods, Volume 3, Issue 3, 2023, Pages 225-233, ISSN 2772-5669, https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.02.004
39. Yifei Xu, Linsun Lin, Huantian Zheng, Siyuan Xu, Xinxin Hong, Tiantian Cai, Jianqu Xu, Weijian Zhang, Yanzhen Mai, Jingwei Li, Bin Huang, Zhu Liu, Shaoju Guo. Protective effect of Amauroderma rugosum ethanol extract and its primary bioactive compound, ergosterol, against acute gastric ulcers based on LXR-mediated gastric mucus secretions. Phytomedicine, Volume 123, 2024, ISSN 0944-7113, https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.155236
40. Yufan Wu, Yinglin Guo, Tairun Huang, Dehao Huang, Li Liu, Chunyan Shen, Cuiping Jiang, Zhuxian Wang, Hongkai Chen, Peiyi Liang, Yi Hu, Zeying Zheng, Tao Liang, Dan Zhai, Hongxia Zhu, Qiang Liu. Licorice flavonoid alleviates gastric ulcers by producing changes in gut microbiota and promoting mucus cell regeneration. Biomedicine & Pharmacotherapy, Volume 169, 2023, 115868, SSN 0753-3322, https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115868

УДК: 619:616.8:582.28
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.142

ЭМБРИОТОКСИЧНОСТЬ КОНЪЮГИРОВАННЫХ ФОРМ ЗЕАРАЛЕНОНА

Вафин Ф.Р.* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-2274-8074);
Семёнов Э.И. – д-р ветеринар. наук, гл. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-3029-7170);
Мишина Н.Н. – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-9312-0970);
Мухарлямова А.З. – канд. биол. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0002-3847-2084);
Сагдеева З.Х. – канд. биол. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0002-9312-0970);
Майорова Е.Н. – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-2874-1498);
Макаева В.И. – мл. науч. сотр.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

* vafin.fr@mail.ru

Ключевые слова: *токсичность, микотоксины, замаскированные микотоксины, зеараленон, белые крысы*

Key words: *toxicity, mycotoxins, masked mycotoxins, zearalenone, white rats*

Финансирование: *Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан». (Соглашение от 16.12.2024 № 157/2024-ПД).*

Поступила: 25.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Зеараленон — это микотоксин, вырабатываемый микроскопическими грибами, главным образом из рода *Fusarium*, который часто встречается в кормах для животных. Известно, что зеараленон обладает эстрогенной активностью и может вызывать различные нарушения в репродуктивной системе животных. В последние годы внимание исследователей все больше привлекают конъюгированные формы зеараленона, такие как сульфаты и гликозиды. В связи с этим, целью данного исследования является анализ эмбриотоксичности зеараленона и его конъюгированных форм при введении беременным крысам. В статье представлен экспериментальный анализ эмбриотоксичности зеараленона и его конъюгированных форм (сульфатов и гликозидов) при их введении беременным крысам. Исследование проводилось на четырёх группах животных, включая контрольную, с применением кристаллического зеараленона и экстрактов кормов, естественно загрязнённых зеараленоном и его конъюгатами. Результаты показали, что присутствие конъюгированных форм зеараленона значительно усиливает эмбриотоксическое действие. Это проявляется в повышении предимплантационной гибели эмбрионов на 25–30%, увеличении постимплантационной гибели на 15–20%, а также в общем росте эмбриональной смертности до 40%. Кроме

того, в опыте наблюдалось снижение массы плодов на 10 - 15% и уменьшение краниокаудального размера плодов на 5 - 10%. Данные эффекты связаны с возможным освобождением токсичного зеараленона из конъюгированных форм в желудочно-кишечном тракте. Это приводит к фактически большей токсической нагрузке, чем рассчитывалось. Таким образом, результаты исследования подчеркивают важность осознания потенциальных рисков, связанных с конъюгированными формами зеараленона.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Микотоксины, вырабатываемые грибами рода *Fusarium,* представляют собой значимые метаболиты токсигенных видов, широко распространенных по всему миру [1-3]. Загрязнение зерновых культур этими микотоксинами является неизбежным, поскольку многие токсигенные виды *Fusarium* также выступают в роли патогенов, вызывающих заболевания растений, что затрудняет их контроль [4-6]. Микотоксины *Fusarium* могут вызывать широкий спектр токсических реакций как у животных, так и у людей [7, 8]. В настоящее время установлено, что многие специфические синдромы у сельскохозяйственных животных тесно связаны с определенными микотоксинами *Fusarium,* включая задержку роста, отказ от корма, поражения ротовой полости и желудочно-кишечного тракта, репродуктивные дисфункции, лейкопению у лошадей, отек легких у свиней, а также рвоту и анорексию [9-11].

Зеараленон, один из наиболее распространённых микотоксинов, вырабатывается видами *Fusarium* и привлекает всё больше внимания из-за проблем с безопасностью и экономических последствий. Являясь липофильным микотоксином с макроциклическим лактоном β-резорциловой кислоты, зеараленон конкурирует с эндогенными гормонами за места связывания рецепторов эстрогена, что приводит к нарушениям репродуктивной функции у животных [12]. Существует все больше доказательств того, что микотоксины *Fusarium* могут вызывать репродуктивную токсичность и нарушения развития. Эти микотоксины способны проникать через плаценту в ткани плода, что может приводить к гибели эмбриона или плода, а также к различным порокам развития. Исследования показали, что зеараленон может нарушать различные процессы во время беременности, включая оплодотворение, развитие и транспортировку преимплантационных эмбрионов, а также имплантацию и потенциальное развитие плаценты, что, в конечном итоге, влияет на исход беременности [13, 14].

В последнее время «замаскированные» микотоксины, образующиеся в результате защитного механизма растений от ксенобиотиков, стали важными загрязняющими веществами из-за их непредсказуемой токсичности и трудновыявляемых свойств. Наиболее часто обсуждаемые «замаскированная» форма зеараленона обнаруживается в пшенице, кукурузе. Хотя эта форма зеараленона обладает меньшей токсичностью, чем его исходная форма [15]. Преобразованная коньюгированная форма в зеараленон кишечной флорой во время пищеварения может представлять дополнительный риск для здоровья людей и животных [16].

Целью данной работы являлось изучение эмбриотоксичности зеараленона и его конъюгированных форм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Эксперимент по изучению эмбриотоксичности зеараленона и его конъюгированных форм был проведен в условиях вивария лаборатории микотоксинов отделения токсикологии и в лаборатории физико-химического и прецизионного анализа испытательного центра ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». В опытах использовали самок крыс породы Wistar, ранее не участвовавшие в исследованиях, возрастом 8 - 10 недель и весом 180 - 200 г, которые прошли двухнедельную адаптацию. К самкам на ночь подсаживали самцов той же породы из расчета 2 самки на од-

ного самца, при этом каждая пара помещалась в отдельную клетку. Самцов использовали только для оплодотворения. Вагинальные мазки от каждой самки крысы отбирали и подвергали микроскопическому исследованию на следующее утро с целью определения эстрального цикла и наличия спермиев. О наступлении беременности судили по обнаружению мужских половых клеток (спермиев) во влагалищных мазках у крыс [17].

Было сформировано 4 группы по 9 крыс в каждой. Первая группа служила биологическим контролем. Вторая группа получала кристаллический зеараленон в дозе 0,14 мг/кг массы тела внутрижелудочно в виде 0,5% водно-спиртового раствора ежедневно по аналогии с работой [13]. Токсин получен нами по аналогии с работой [18] (Рис. 1.) самки третьей группы получали экстракт партии корма (кукуруза), естественно, загрязнённой зеараленоном. Предварительно нами было определено содержание зеараленона по методике, описанной в [19] и были обнаружены конъюгаты зеараленона - сульфаты и гликозиды (Рис. 2.), также исключены другие опасные микотоксины продуцируемые грибами рода *Fusarium* (Т-2 токсин, дезоксиниваленол, фумонизины). Экстракт был разбавлен нами 0,5% водно -спиртового раствором и вводился внутрижелудочно ежедневно в объеме эквивалентной дозе 0,14 мг/кг массы тела, содержание конъюгатов зеараленона - сульфатов и гликозидов суммарно составляло 0,043 мг/кг массы тела. Самки четвертой группы получали экстракт партии корма (пшеница), естественно, загрязнённой зеараленоном и его конъюгированными формами. Экстракт был разбавлен нами 0,5% водно-спиртового раствором и вводился внутрижелудочно ежедневно в объеме эквивалентной дозе 0,14 мг/кг массы тела, содержание конъюгатов зеараленона - сульфатов и гликозидов суммарно составляло 0,074 мг/кг массы тела. Животным токсины зеараленон и его конъюгированные формы задавали с 1 по 17 сут беременности.

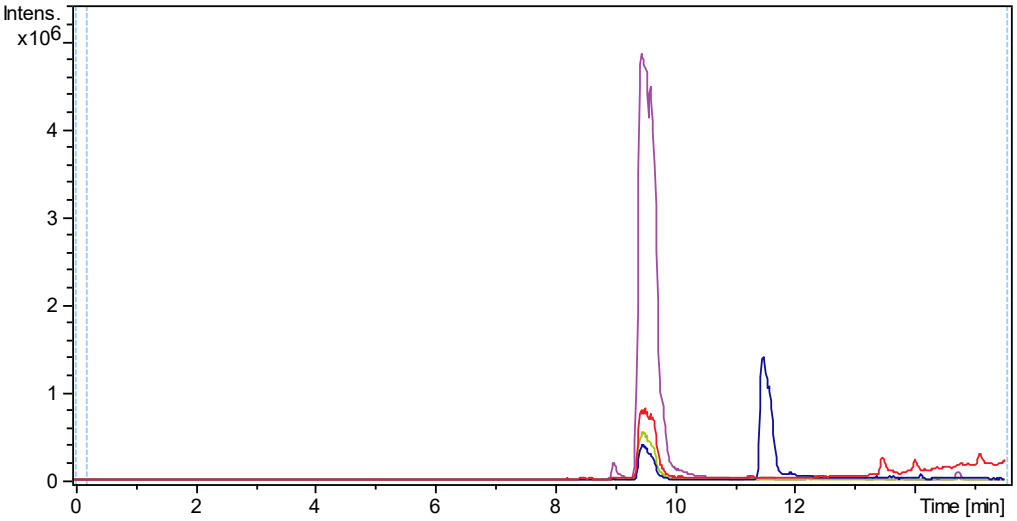


Рисунок 1 – Хроматограмма анализа образца очищенного зеараленона по выбранному иону $[M+H]^+$ =319,1754 и осколочным ионам с m/z=283; 301 и 97 Да.

Обнаружение и количественную оценку токсина и его конъюгированных форм проводили с помощью системы ВЭЖХ-МС/МС состоящей из квадрупольвремяпролетного масс-спектрометрического детектора «Bruker Impact II», оснащенного источником электрораспылительной ионизации (ESI)

и жидкостного хроматографа «Dionex UltiMate 3000». Хроматографическое разделение проводили при температуре 35 ° С на колонке Zorbax SB-C18 размером 150 × 4,6 мм, с частицами сорбента размером 5 мкм (Agilent, США). Оба элюента подвижной фазы содержали 5 мМ ацетата аммония и состояли из метанола/воды/уксусной кислоты в соотношении 10:89:1 (элюент А) и 97:2:1 (элюент В). В качестве экстрагирующего раствора для извлечения аналитов из матрицы использовали смесь ацетонитрил-вода-уксусная кислота (79:20:1 по объему). Экстракцию проводили в течение 90 мин с помощью шейкера. Далее образцы центрифугировали 2 мин при 3000 об/мин. Супернатант разбавляли смесью ацетонитрил-вода-уксусная кислота (20:79:1 по объему) в соотношении 1:1 и вводили в систему ВЭЖХ-МС/МС.

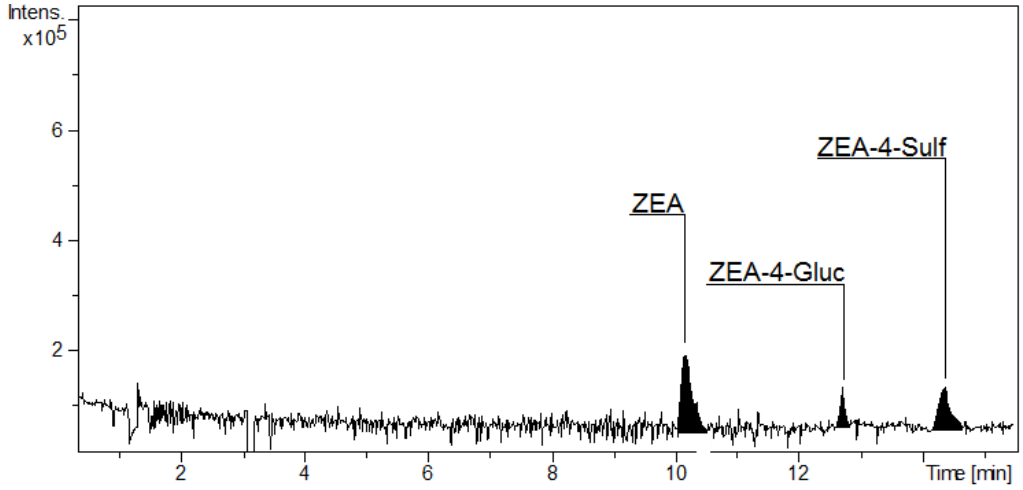


Рисунок 2 – Хроматограмма экстракта зеареленона с конъюгированными формами токсина (ZEA - зеараленон, ZEA-4-Gluc – зеараленон-4-гликозид, ZEA-4-Sulf - зеараленон-4-сульфат).

Все животные содержались в вентилируемых помещениях для животных при температуре 23 ± 1 °С, относительной влажности 55 ± 10%. Корм и воду давали в неограниченном количестве.

На 20 сут беременности посредством декапитации умерщвляли по 6 крыс из каждой группы для исследований. Каждую матку извлекали, вскрывали и осматривали на наличие и расположение участков резорбции, мест имплантации, а также мёртвых или живых плодов. Жизнеспособные плоды извлекали из матки, взвешивали, измеряли длину тела (от макушки до крупа). Критериями оценки эмбриотоксического действия токсикантов служили показатели предимплантационной и постимплантационной гибели эмбрионов, общей эмбриональной смертности.

Показатели предимплантационной, постимплантационной гибели эмбрионов и общей эмбриональной смертности (%) вычисляли по формулам:

$$ПРЕДИМП = (ЖТ – МИ) / ЖТ \times 100\ \%,$$

где ПРЕДИМП – предимплантационная гибель эмбрионов,

ЖТ – количество жёлтых тел в яичниках,

МИ – количество мест имплантаций.

$$ПОСТИМП = (МИ – ЖП) / МИ \times 100\ \%,$$

где ПОСТИМП – Постимплантацион-

ная гибель эмбрионов,

МИ – количество мест имплантаций,

ЖП – количество живых плодов.

ЭМБ = (ЖТ – ЖП) / ЖТ х 100 %,

гдеЭМБ – общая эмбриональная смертность,

ЖТ – количество жёлтых тел в яичниках,

ЖП – количество живых плодов.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel. Вероятность различий показателей средних в группах определяли с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты изучения влияния зеараленона в отдельности и совместно с его конъюгированными формами на массу тела белых крыс (таблица 1.) свидетельствуют о том, что прирост живой массы у беременных крыс, получавших зеараленон, был ниже относительно контрольной − на 3,4 %. У крыс, третьей и четвертой групп, данный показатель ниже контроля − на 4,7 и 3,9 %, однако различия не были статистически достоверны.

Данные изучения эмбриотоксических свойства зеараленона в отдельности и совместно с его конъюгированными формами таблицы 2 свидетельствуют о том, что предимплантационная гибель плодов в группах, получавших зеараленон по сравнению с контрольной, увеличилась на 18,7 % ($p \leq 0,05$), в III и IV группах, получавшие зеараленон с конъюгированными формами−на 35,4 ($p \leq 0,01$) и 93,7 % ($p \leq 0,001$) соответственно.

Постимплантационная гибель плодов во второй группе по сравнению с контролем увеличилась на 46,4 % ($p \leq 0,001$), в третьей−на 63,9 % ($p \leq 0,001$), в четвёртой - в 2,16 раза ($p \leq 0,001$).

Увеличение эмбриональной смертности по сравнению с контролем наблюдалось у плодов второй группы – 33,1% ($p \leq 0,01$), в третьей группе наблюдалось увеличение − на 50,4 % ($p \leq 0,001$). Существенное повышение эмбриональной смертности плодов происходило в четвертой группе – на 92,2 % ($p \leq 0,001$).

Таблица 1 – Влияние зеараленона в отдельности и совместно с его конъюгированными формами на массу тела белых крыс (M±m, n=9)

Срок беременности, сут	Группа / масса тела, г			
	I	II	III	IV
1	196,7±2,5	196,1±2,1	194,8±2,6	195,1±2,3
7	241,1±1,8	239,4±2,3	236,5±1,9	237,4±1,9
14	257,2±2,1	256,1±1,9	254,2±2,3	253,5±2,2
20	302,0±2,0	297,8±2,7	295,2±2,4	296,3±2,4
Прирост массы	105,3±2,3	101,7±2,5	100,4±2,4	101,2±2,3

Краниокаудальный размер плода в группах, получавших зеараленон, по сравнению с контролем сократился − на 1,7 %. В группах, получавший зеараленон с конъюгированными формами этот показатель уменьшился на 3,3 и 5,9 % ($p \leq 0,05$) соответствеенно.

Наблюдалось также уменьшение массы плода в опытных группах по сравнению с контрольной. Незначительно она уменьшилась в группе, получавшей раздельно только зеараленон – 1,02 %. В третьей и четвертой группах уменьшение массы плода по сравнению с контрольной группы составил 4,8 и 5,4 % ($p \leq 0,05$) соответственно.

Как следует из представленных данных, наличие конъюгированных форм зеараленона усиливает эмбриотоксическое действие самого зеараленона. Ранее исследователи обнаруживали взаимоусиление влияния микотоксинов [13, 20], однако в данном случае, вероятно, имеет место быть не сколько взаимоусиление, а скорее дополнение, за счет освобождения в желудочно – кишечном тракте живот-

ных лиганда (зеараленона) из конъюгированнгой формы и согласуется с данными работы [15]. В результате, животные фактически получают большую дозу чистого токсина в отличии от расчетной. Однако затруднительно говорить о соотношении высвобожденного зеараленона. Данный вопрос требует дополнительного изучения.

Таблица 2 – Эмбриотоксические свойства зеараленона в отдельности и совместно с его конъюгированными формами (M±m, n=9)

Показатели	Группа			
	I	II	III	IV
Количество беременных самок	9	9	9	9
Количество живых плодов	11,3±0,52	10,7±0,27	10,4±0,23*	9,7±0,20*
Средний вес эмбрионов, г	2,95±0,05	2,92±0,04	2,81±0,06	2,79±0,11*
Краниокаудальный размер плодов, мм	30,1±0,50	29,6±0,23	29,1±0,20	28,3±0,12*
Количество мест имплантации	12,0±0,39	11,7±0,37	11,5±0,28	11,1±0,27*
Количество желтых тел	12,6±0,49	12,4±0,51	12,3±0,37	12,1±0,6
Предимплантационная смертность, %	4,80±0,87	5,70±0,77*	6,50±0,80***	9,30±0,79***
Постимплантационная смертность, %	5,83±0,55	8,54±0,46***	9,56±0,75***	12,6±1,10***
Общая эмбриональная смертность, %	10,30±1,70	13,71±0,90**	15,50±0,71***	19,8±2,10***

*Примечание: * - p ≤ 0,05; ** - p ≤ 0,01; *** - p ≤ 0,001 относительно контрольной группы.*

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Наличие конъюгированных форм зеараленона усиливает эмбриотоксическое действие самого зеараленона. В настоящее время «замаскированные» формы не рассматривается ни в одном нормативном акте или руководстве и поэтому его часто не учитывают при анализе, что приводит к недооценке реального вреда. Проблема требует дополнительного изучения действия «замаскированных» форм зеараленона на репродуктивную функцию у животных.

EMBRYOTOXICITY OF CONJUGATED FORMS OF ZEARALENONE

Vafin F.R.* – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0002-2274-8074); **Semenov E.I.** – Doctor of Veterinary Sciences, Chief Researcher (ORCID 0000-0002-3029-7170); **Mishina N.N.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-9312-0970); **Mukharlyamova A.Z.** - Candidate of Biological Sciences, Researcher (ORCID 0000-0002-3847-2084); **Sagdeeva Z.Kh.** – Candidate of Biological Sciences, Researcher (ORCID 0000-0002-9312-0970); **Mayorova E.N.** - Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0002-2874-1498); **Makaeva V.I.** – Junior Researcher.

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

* vafin.fr@mail.ru

Financing: *This paper is performed as part of the grant of the Tatarstan Academy of Sciences, provided to young candidates of*

science (postdoctoral felloes) for the purpose of defending their doctoral dissertation, conducting research, as well as performing their work duties in scientific and educational or organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan "Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan". (Contract No157/2024-PD of December16, 2024).

ABSTRACT

Zearalenone is a mycotoxin produced by fungi, mainly of the genus Fusarium, which is often found in animal feed. Zearalenone is known to have estrogenic activity and can cause various disorders in the reproductive system of animals. In recent years, conjugated forms of zearalenone, such as sulfates and glycosides, have increasingly attracted the attention of researchers. In this regard, the aim of this study was to analyze the embryotoxicity of zearalenone and its conjugated forms when administered to pregnant rats. The article presents an experimental analysis of the embryotoxicity of zearalenone and its conjugated forms (sulfates and glycosides) when administered to pregnant rats. The study was conducted on four groups of animals, including a control group, using crystalline zearalenone and feed extracts naturally contaminated with zearalenone and its conjugates. The results showed that the presence of conjugated forms of zearalenone significantly enhances the embryotoxic effect. This is manifested by an increase in preimplantation embryonic mortality by 25-30%, an increase in postimplantation mortality by 15-20%, and an overall increase in embryonic mortality of up to 40%. In addition, a decrease in fetal weight by 10-15% and a decrease in craniocaudal size of fetuses by 5-10% were observed in the experiment. These effects are associated with the possible release of toxic zearalenone from conjugated forms in the gastrointestinal tract. This leads to an actually higher toxic load than calculated. Thus, the study results highlight the importance of understanding the potential risks associated with conjugated forms of zearalenone.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Орина, А.С. Физиолого-биохимические свойства лабораторных мутантов грибов Fusarium, резистентных к флудиоксонилу / А.С. Орина, О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкаева и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2025. – Т. 60. - № 1. – С. 138-152. – DOI 10.15389/agrobiology.2025.1.138rus. – EDN YGUBQN.

2. Potekhina, R.M. A case of laying hens mycosis caused by Fusarium proliferatum / R.M. Potekhina, E.Yu. Tarasova, L.E. Matrosova et al. // Veterinary Medicine International. – 2023. – Vol. 2023. – P. 5281260. – DOI 10.1155/2023/5281260. – EDN HFWVAE.]

3. Wang, J.Type A Trichothecene Metabolic Profile Differentiation, Mechanisms, Biosynthetic Pathways, and Evolution in Fusarium Species-A Mini Review / J. Wang, M. Zhang, J. Yang, X. Yang, J. Zhang, Z. Zhao // Toxins (Basel). – 2023. – Jul. – 5. - 15(7). P. 446. doi: 10.3390/toxins15070446. PMID: 37505715; PMCID: PMC10467051.

4. Гагкаева, Т. Ю. Значительные изменения в классификации грибов рода Fusarium / Т. Ю. Гагкаева // Успехи медицинской микологии. – 2023. – Т. 25. – С. 54-59. – EDN JIBPQG

5. Ермолаева, О.К. Пораженность кормов грибами рода фузариум / О.К. Ермолаева, Р.М. Потехина, Л.Е. Матросова, Э.И. Семенов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – Т. 239, № 3. – С. 121-124. – DOI 10.31588/2413-4201-1883-239-3-121-125. – EDN KTFVPN.

6. Кондакова, И.А. Теоретическое обоснование мероприятий по профилактике и борьбе с микотоксинами, возникающими в процессе жизнедеятельности микрофлоры зерновой массы / И. А. Кондакова, В. И. Левин, И.П. Льгова [и др.]. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – 161 с. – ISBN 978-5-98660-343-8. – EDN XPFTUK.

7. Матросова, Л.Е. Фузариотоксикозы животных (обзор) / Л. Е. Матросова, Н.

Н. Мишина, С. А. Танасева и др. // Ветеринарный врач. – 2025. – № 2. – С. 8-14. – DOI 10.33632/1998-698X_2025_2_8. – EDN KEHXHB.
8. Gavrilova, O. P. Diversity and Pathogenicity of the Fusarium Fungi Occurred in Soybean Mycobiota / O.P. Gavrilova, A S. Orina, T.Yu. Gagkaeva // Russian Agricultural Sciences. – 2023. – Vol. 49 - No. 4. – P. 368-373. – DOI 10.3103/S1068367423040067. – EDN CBAMGJ.
9. Семенов, Э. И. Экспериментальный сочетанный микотоксикоз свиней на фоне инфекционной нагрузки / Э. И. Семенов, Л. Е. Матросова, С. А. Танасева и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57, № 2. – С. 371-383. – DOI 10.15389/agrobiology.2022.2.371rus. – EDN XTIGXI.
10. Хасиятуллин, А.Ф. Влияние хитин-глюканового комплекса на распределение зеараленона в кишечнике / А.Ф. Хасиятуллин, Э.И. Семенов, Ф.Р. Вафин и др. // Проблемы медицинской микологии. – 2024. – Т. 26. № 2. – С. 218. – EDN OMAPAY.
11. Hueza, I.M. Zearalenone, an estrogenic mycotoxin, is an immunotoxic compound / I.M. Hueza, P.C. Raspantini, L.E. Raspantini, A.O. Latorre, S.L. Górniak // Toxins (Basel). – 2014. - Mar 13. - 6(3). P. 1080-95. doi: 10.3390/toxins6031080. PMID: 24632555; PMCID: PMC3968378.
12. Sun, Z. Biotransformation of zearalenone to non-estrogenic compounds with two novel recombinant lactonases from Gliocladium / Z. Sun, Y. Fang, Y. Zhu et al. // BMC Microbiol. – 2024. No. 24. P. 75. https://doi.org/10.1186/s12866-024-03226-3.
13. Валиуллин, Л. Р. Эмбриотоксическое действие зеараленона и Т-2 токсина при их раздельном и сочетанном применении / Л. Р. Валиуллин, Э. Ю. Лодвигов // Ветеринарный врач. – 2008. – № 5. – С. 10-12. – EDN JSJKSP.
14. Zhou, J. Zearalenone toxicosis on reproduction as estrogen receptor selective modulator and alleviation of zearalenone biodegradative agent in pregnant sows / J. Zhou, L. Zhao, S. Huang et al. // J Anim Sci Biotechnol. – 2022. – 13. - P. 36. https://doi.org/10.1186/s40104-022-00686-3.
15. Anthony, H. Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood / H. Anthony, H. Arthur // EFSA Journal. – 2016. No. 14(6). - 30 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4501.
16. Pfeiffer, E. Absorption and metabolism of the mycotoxin zearalenone and the growth promoter zeranol in Caco-2 cells in vitro / E. Pfeiffer, A. Kommer, J.S. Dempe, A.A. Hildebrand, M. Metzler // Molecular Nutrition and Food Research. – 2011. - No. 5. P. 560–5672011.
17. Миронов, А. Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая. / А. Н. Миронов – М.: Гриф и К, 2012. – 944 с.
18. Semenov, E.I. Effect Of Bee Brood And Zeolite On Broiler Chickens Exposed By Mycotoxin T-2 / E.I. Semenov, N.N. Mishina, V.R. Saitov et al. // Natural Volatiles and Essential Oils. - 2021. - Vol. 8. - No. 4. - P. 3520-3531.
19. Sulyok, M. A liquid chromatography/ tandem mass spectrometric multi-mycotoxin method for the quantification of 87 analytes and its application to semi-quantitative screening of moldy food samples / M. Sulyok, R. Krska, R. Schuhmacher // Analytical and Bioanalytical Chemistry. – 2007. - Vol. 389. –P. 1505–1523.
20. Тарасова, Е.Ю. Особенности проявления подострого Т-2-, афла- и зеараленон токсикоза у белых крыс при применении профилактических комплексов / Е.Ю. Тарасова, Л.Е. Матросова, О.К. Ермолаева и др. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. - 2023. - Т. - 255. - №3. – С. 307-314. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_2_255_307. – EDN SMWCEM

REFERENCES

1. Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Arabina E.P., Burkin A.A., Kononenko G.P. Physiological and biochemical properties of laboratory mutants of Fusarium fungi resistant to fludioxonil // Agricultural biology. 2025. 60. (1): 138-152. - DOI 10.15389/

agrobiology.2025.1.138rus. - EDN YGUBQN.
2. Potekhina R.M., Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Khammadov N.I.., Saifutdinov A.M., Ermolaeva O.K., Tanaseva S.A., Mishina N.N., Nigmatulin G.N., Mukharlyamova A.Z., Smolentsev S.Y., Semenov E.I. A case of laying hens mycosis caused by Fusarium proliferatum // Veterinary Medicine International. 2023. 2023: 5281260. – DOI 10.1155/2023/5281260. – EDN HFWVAE.
3. Wang J., Zhang M., Yang J., Yang X., Zhang J., Zhao Z. Type a trichothecene metabolic profile differentiation, mechanisms, biosynthetic Pathways, and evolution in Fusarium species-a mini review // Toxins (Basel). 2023. 15(7): 446. doi: 10.3390/toxins15070446. PMID: 37505715; PMCID: PMC10467051.
4. Gagkaeva T.Yu. Significant changes in the classification of fungi of the genus Fusarium // Advances in Medical Mycology. 2023. 25: 54-59. - EDN JIBPQG.
5. Ermolaeva O.K., Potekhina R.M., Matrosova L.E., Semenov E.I. Infestation of feed with Fusarium fungi // Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2019. 239(3):121-124. - DOI 10.31588/2413-4201-1883-239-3-121-125. - EDN KTFVPN.
6. Kondakova I.A., Levin V.I., Lgova I.P., Antoshina O.A. Theoretical substantiation of measures for the prevention and control of mycotoxins arising in the process of vital activity of grain mass microflora // - Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. - 161 p. - ISBN 978-5-98660-343-8. - EDN XPFTUK.
7. Matrosova L.E, Mishina N.N., Tanaseva S.A., O.K.Ermolaeva, A.V. Sofronova, A.R. Valiev, E.I. Semenov. Fusariotoxicoses of animals (review) // Veterinarian. 2025. 2: 8-14. – DOI 10.33632/1998-698X_2025_2_8. – EDN KEHXHB.
8. Gavrilova O.P., Orina A S., Gagkaeva T.Yu. Diversity and Pathogenicity of the Fusarium Fungi Occurred in Soybean Mycobiota // Russian Agricultural Sciences. 2023. 49(4):368-373. – DOI 10.3103/S1068367423040067. – EDN CBAMGJ.
9. Semenov E.I., Matrosova L.E., Tanaseva S.A., Valiev A.R., Potekhina R.M., Tarasova E.YU., Spiridonov G.N., Gubeeva E.G., Mishina N.N. Experimental combined mycotoxicosis of pigs against the background of an infectious load // Agricultural biology. 2022. T.57(2): 371-383. – DOI 10.15389/agrobiology.2022.2.371rus. – EDN XTIGXI.
10. Khasiyatullin A.F., Semenov E.I., Vafin F.R., Matrosova L.E., Mingaleev D.N. The influence of the chitin-glucan complex on the distribution of zearalenone in the intestine / Problems of medical mycology. 2024. 26(2):218. – EDN OMAPAY.
11. Hueza I.M., Raspantini P.C., Raspantini L.E., Latorre A.O., Górniak S.L. Zearalenone, an estrogenic mycotoxin, is an immunotoxic compound // Toxins (Basel). 2014. 6(3):1080-95. doi: 10.3390/toxins6031080. PMID: 24632555; PMCID: PMC3968378.
12. Sun Z., Fang Y., Zhu Y., Tian W., Yu J., Tang J. Biotransformation of zearalenone to non-estrogenic compounds with two novel recombinant lactonases from Gliocladium// BMC Microbiol. 2024. 24: 75. https://doi.org/10.1186/s12866-024-03226-3.
13. Valiullin L.R., Lodvigov E.Yu. Embryotoxic effect of zearalenone and T-2 toxin with their separate and combined use // Veterinarian. 2008. 5: 10-12. - EDN JSJKSP.
14. Zhou J., Zhao L., Huang S., Liu Q., Ao X., Lei Y., Ji C., Ma Q. Zearalenone toxicosis on reproduction as estrogen receptor selective modulator and alleviation of zearalenone biodegradative agent in pregnant sows / // J Animal Sci Biotechnol. 2022. 13:36. https://doi.org/10.1186/s40104-022-00686-3.
15. Anthony H., Arthur H. Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood // EFSA Journal. 2016. 14(6):30 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4501.
16. Pfeiffer E., Kommer A., Dempe J.S., Hildebrand A.A., Metzler M. Absorption and metabolism of the mycotoxin zearalenone and the growth promoter zeranol in Caco-2 cells in vitro // Molecular Nutrition

and Food Research. 2011. 5: 560–5672011.
17. Mironov A. N. Guidelines for conducting preclinical studies of drugs. Part one. / A. N. Mironov - M .: Grif i K, 2012. - 944 p.
18. Semenov E.I., Mishina N.N., Saitov V.R., Perfilova K.V., Kashevarov G.S., Tanaseva S.A., Idiyatov I.I., Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Shlyamina O.V.1, Nasybullina Zh.R., Sharshov K.A. Effect Of Bee Brood And Zeolite On Broiler Chickens Exposed By Mycotoxin T-2 // Natural Volatiles and Essential Oils. - 2021. 8(4): 3520-3531.
19. Sulyok M., Krska R., Schuhmacher R. A liquid chromatography/tandem mass spectrometric multi-mycotoxin method for the quantification of 87 analytes and its application to semi-quantitative screening of moldy food samples // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2007. Vol. 389:1505–1523.
20. Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Ermolaeva O.K., TAnaseva S.A., Semenov E.I., Khasiyatullin A.F., Idyatov I.I. Features of the manifestation of subacute T-2-, afla- and zearalenone toxicosis in white rats when using prophylactic complexes / // Scientists notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after. N.E. Bauman. 2023. 255(3): 307-314. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_2_255_307. – EDN SMWCEM.

УДК: 579.62; 577.29
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.152

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОБИОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАКТОБАКТЕРИЙ ИЗ КИШЕЧНИКА ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Зверева О.В. [1*] – асс. (ORCID 0000-0002-7051-9858); **Кузнецова Ю.П.** [1] – мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0001-6701-3039); **Вострикова А.С.** [1] – мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0005-9460-9507); **Сыромятников М.Ю.** [1,2] – канд. биол. наук, доц., вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-9028-0613); **Михайлов Е.В.** [2] – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5457-1325); **Корнеева О.С.** [1] – д-р. биол. наук, проф. (ORCID 0000-0066-0281-5904)

[1] ФГБОУВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
[2] ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»)

[*] bond.vrn15@yandex.ru

Ключевые слова: *пробиотики, цыплята, высокопроизводительное секвенирование, молочнокислые бактерии*
Key words: *probiotics, chickens, high-throughput sequencing, lactic acid bacteria*
Финансирование*: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FZGW-2024-0003).*

Поступила: 27.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ
Объектами исследования данной работы были выбраны следующие штаммы: *Pediococcus acidilactici, Lactobacillus johnsonii* и *Ligilactobacillus salivariu*s, выделенные из фекалий цыплят-бройлеров возрастом 14 суток. Навеску фекалий цыплят-бройлеров помещали в стерильную питательную среду MRS (HiMedia, Индия) и инкубировали при температуре 37 ˚С в течение 24 часов. После этого анализируемые образцы пересевали глубинно на питательную среду MRS–агар («НПЦ «Биокомпас-С», Россия) методом предельных разведений для выделения отдельных колоний микроорганизмов. Чашки Петри с посевами инкубировали в течение 48 часов при 37 ˚С. Выросшие колонии микроорганизмов идентифицировали по культуральным и морфологическим признакам для дальнейшего секвенирования. Изучена устойчивость данных культур к желчным кислотам, проведена оценка их антагонистической активности, толерантности к экстремально низким и высоким значениям pH, а также проведен анализ их устойчивости к разным группам антибиотиков. *L. salivarius* оказался наиболее устойчивым к желчи по сравнению с *L. johnsonii* и *P. acidilactici*. Антагонистического действия по отношению к нормальной микробиоте желудочно-кишечного тракта *P. acidilactici* не проявил, в отличие от других анализируемых штаммов, но оказал существенное влияние в отношении условно-патогенных бактерий. Экс-

тремально низкие и высокие значения pH не провоцировали полную гибель *P. acidilactici*, тогда как *L. salivarius* и *L. johnsonii* не сохранили активность при экстремально низких значениях pH. Также в ходе эксперимента было выявлено, что *L. johnsonii* оказался наиболее антибиотикочувствительным штаммом.

ВВЕДЕНИЕ/ INTRODUCTION

В настоящее время распространенной проблемой в развивающемся сельском хозяйстве является применение антибиотиков. Вследствие их активного использования появляются штаммы, с устойчивостью к антибиотикам и происходит снижение разнообразия микроорганизмов [1-3]. В связи с этим для поддержания здоровья, повышения производительности сельскохозяйственных животных возможно использование пробиотических микроорганизмов с совместным уменьшением использования антибиотиков и противомикробных препаратов, что в настоящее время является достаточно перспективным направлением.

Пробиотики являются препаратами микробного происхождения, которые представляют собой различные культуры микроорганизмов, обладающие способностью угнетающе воздействовать на патогенную микрофлору, при этом положительно влиять на здоровую микрофлору кишечника человека, животных и птиц. Использование пробиотических микроорганизмов безопасно как для окружающей среды, так и для людей, которые потребляют продукцию птицеводства и животноводства в пищу. Также важно отметить, что эффективность пробиотиков практически не уступает многим антибиотикам. Применение пробиотиков служит не только для нормализации кишечной микрофлоры после использования антибактериальных средств, но может быть единственным эффективным методом лечения, профилактики и стимулирования продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы [4-6].

Видовой состав бактерий в микробиоте кишечника цыплят достаточно разнообразен. Однако следует учитывать, что существует баланс полезных и вредных бактерий в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), при соблюдении которого бройлер достигает максимального роста. Установлено, что при снижении количества полезной микробиоты снижается иммунитет [7]. Использование местных микроорганизмов с пробиотическими свойствами является альтернативной профилактикой некоторых болезней живых организмов [8].

Известно, что пробиотики обладают способностью подавлять выработку токсинов патогенами, оказывая антитоксинный эффект, а также вырабатывать бактериоцины, которые подавляют рост патогенов [9-11]. Группой ученых было установлено, что добавление к рациону цыплят-бройлеров пробиотических бактерий *L. salivarius* в течение 42 дней способствовало увеличению массы тела и показателей активности общей супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы II и IV, а также снижению окислительного статуса и уровня малонового диальдегида. Микробный состав слепой кишки опытных цыплят был более разнообразен, чем у бройлеров без добавления пробиотиков [12].

Наиболее типичным кишечным *пробиотиком является Lactobacillus johnsonii*, который широко распространен в ЖКТ нескольких хозяев, включая людей, мышей, собак, домашнюю птицу, свиней и медоносных пчел. С быстрыми темпами развития науки и технологий *L. johnsonii* имеет широкий спектр применения во многих областях, таких как биология, сельское хозяйство, животноводство и медицина. Существуют исследования, в которых *L. johnsonii* был выбран для исследования профилактического воздействия на воспалительное поражение кишечника. Было установлено, что данный штамм облегчает симптомы диареи, контролируя воспалительную реакцию [13-18].

Установлено, что *Pediococcus acidilactici* обладает рядом потенциальных пробиотических функций, включая устойчивость к кислоте и желчи, отсутствии генов устойчивости к антимикробным

препаратам на основе критериев, установленных Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (EFSA), а также антибактериальной активностью в отношении *Salmonella enterica* [19].

Целью данного исследования было изолирование, идентификация и выявление наиболее активных пробиотических штаммов молочнокислых бактерий из желудочно-кишечного тракта цыплят-бройлеров для потенциального применения в качестве пробиотической добавки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Объектами исследования данной работы были выбраны следующие штаммы: *Pediococcus acidilactici, Lactobacillus johnsonii* и *Ligilactobacillus salivariu*s, выделенные из фекалий цыплят-бройлеров возрастом 14 суток.

Навеску фекалий цыплят-бройлеров помещали в стерильную питательную среду MRS (HiMedia, Индия) и инкубировали при температуре 37 ˚С в течение 24 часов. После этого анализируемые образцы пересевали глубинно на питательную среду MRS–агар («НПЦ «Биокомпас-С», Россия) методом предельных разведений для выделения отдельных колоний микроорганизмов. Чашки Петри с посевами инкубировали в течение 48 часов при 37 ˚С. Выросшие колонии микроорганизмов идентифицировали по культуральным и морфологическим признакам для дальнейшего секвенирования.

Выделение ДНК из изолированных бактерий осуществляли с помощью набора ПРОБА-ГС («ДНК-технология», Россия). Качественная ПЦР проводилась с использованием 5X ScreenMix-HS реакционной смеси («Евроген», Россия) с праймерами 337F/1100R с последующим проведением электрофореза амплифицированных образцов в 2%-ном агарозном геле и экстракцией ампликонов из геля с помощью коммерческого набора Cleanup Standard («Евроген», Россия). Измерение концентрации очищенных продуктов ПЦР осуществляли с помощью флуориметра Qubit 2.0 Invitrogen (Life Technologies, Сингапур). Секвенирование очищенных продуктов ПЦР проводилось на генетическом анализаторе «Нанофор 05» («Синтол», Россия) с использованием BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. Полученные нуклеотидные последовательности анализировали с помощью инструмента Blast [25].

Анализ и оценку толерантности выделенных штаммов к желчным кислотам проводили глубинным культивированием на питательной среде MRS и дополнительным внесением 10, 20, 30 и 40 % медицинской консервированной желчи (Самсон мед, Россия). Длительность культивирования составляла 24 часа со скоростью 220 об/мин при температуре 37 °С. Оценка устойчивости к желчи определялась по изменению числа колониеобразующих единиц (КОЕ). С помощью метода предельных разведений (от 10^{-2}—10^{-8}до) при глубинном высеве на питательную среду MRS-агар, определяли количество жизнеспособных клеток бактерий в 1 $см^3$ суспензии. Подсчет жизнеспособных клеток проводили через 24 часа после инкубирования их в термостате при поддержании температуры 37 °С.

Для определения толерантности молочнокислых бактерий к различным значениям pH среды проводили количественное определение жизнеспособных клеток [20, 21]. Для этого исследуемые штаммы пробиотических культур глубинно культивировали на питательной среде MRS в диапазоне pH от 2 до 8 при стандартных условиях в течение 24 часов. Для определения жизнеспособных клеток после культивирования проводили глубинный посев культуры на агаризованную среду MRS методом предельных разведений (10^{-2}-10^{-8}). Чашки Петри с анализируемыми культурами инкубировали в термостате при температуре 37 ˚С в течение 24 часов, после чего проводили косвенное определение количества жизнеспособных клеток бактерий в 1 $см^3$ суспензии. Антагонистическую активность пробиотических штаммов по отношению к условно-патогенной бактерии (тест-культура *Escherichia coli Top 10*) определяли по методу агаровых блоков. Приме-

нение данного метода позволяет проверить антагонистическую активность микроорганизмов и тест-культур, которые не могут одновременно расти на одной питательной среде [22, 25]. Для получения агаровых блоков с исследуемой культурой проводили глубинный посев 1 $см^3$ суточного инокулята с дальнейшей инкубацией в течение 120 часов при температуре 37 ˚С. После этого из слоя питательной среды при помощи стерильного пробочного сверла вырезали агаризованные блоки и переносили их на поверхность агаризованной питательной среды LB. Подготовленные таким образом чашки Петри оставляли при +4 °С для диффузии метаболитов пробиотических штаммов в среду LB. После суточного засева тест–культуру поверхностно засевали на чашку Петри при помощи шпателя Дригальского. Об антагонистической активности исследуемых штаммов к тест-культуре судили по диаметру зон задержки роста вокруг агаровых блоков.

Определение резистентности к антибиотикам проводили с помощью дисково-диффузионного метода (ДДМ). В исследовании применяли следующие антибиотики (HiMedia Laboratories Pvt. Limited, Индия): Азитромицин (30 мкг), Ампициллин (10 мкг), Амоксиклав (30 мкг), Амоксициллин (30 мкг), Гентамицин (50 мкг), Доксициклин (30 мкг), Канамицин (30 мкг), Левомицетин (10 мкг), Оксациллин (5 мкг), Тетрациклин (30 мкг), Цефаклор (30 мкг), Цефтизоксим (30 мкг), Цефоперазон (75 мкг), Цефалексин (30 мкг), Цефазолин (30 мкг).

Диски с антибиотиками хранили в герметичной упаковке в морозильной камере при температуре -50 °С. Для определения чувствительности дисково-диффузионным методом в чашку Петри в среду MRS-агар вносили суспензию бактерий. Затем на поверхность получившейся среды с анализируемыми бактериями помещали диски, содержащие антибиотики. Готовые чашки Петри инкубировали в термостате при температуре 37 ^{o}С в течение 24 часов. В процессе диффузии антибиотика в агар происходит формирование зоны подавления роста микроорганизмов вокруг дисков. Результат учитывали путем визуальной оценки наличия диаметра зоны подавления вокруг диска.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения Statistica (StatSoft Inc., США). Различия анализировали с помощью дисперсионного анализа ANOVA.

РЕЗУЛЬТАТЫ/ RESULTS

На первом этапе были выделены лактобактерии из кишечника цыплят-бройлеров. Идентификация изолированных бактерий происходила при помощи секвенирования. Всего было изолировано три вида бактерий – *L. salivarius, L. johnsonii* и *P. acidilactici* (таблица 1).

В ходе анализа устойчивости выделенных штаммов к желчным кислотам был выявлен рост клеток через 24 часа у бактерий *L. johnsonii,* при культивировании с различными концентрациями желчи. При этом титр бактерий относительно контроля снизился при концентрации желчи 30%, а при 40% он уменьшился в два раза. Известно, что *L. salivarius* является доминирующим в микробиоте ЖКТ бройлеров [23]. Было установлено, что данный штамм показал большую устойчивость к желчным кислотам с небольшим уменьшением количества жизнеспособных клеток без изменения титра. Такую же тенденцию сохранения титра наблюдали и при проверке устойчивости *P. acidilactici* к желчным кислотам (таблица 2).

Следующим этапом эксперимента была оценка антагонистической активности штаммов *L. salivarius, L. johnsonii* и *P. acidilactici.* Тест-культурой для этого были выбраны условно-патогенные бактерии (*Escherichia coli top 10)* и бактерии, выделены из нормобиоты *(Escherichia coli 1).* В ходе эксперимента было установлено, что все исследуемые пробиотические штаммы проявили антагонистическую активность по отношению к условно-патогенным бактериям. Однако более выраженное влияние наблюдается у *P. acidilactici,* который при этом по отношению к представителям нормобиоты не оказывал антагонистического действия (рисунок 1).

Таблица 1 – Секвенированные последовательности ДНК региона гена 16S rRNA, изолированные из кишечника цыплят, лактобактерий

№	Полученная нуклеотидная последовательность	Идентификационный вид бактерий
1	ACAGCCATGCACCACCTGTCACTTTGTCCCCGAAGGGAAAAC- CTAATCTCTTAGGTGGTCAAAGGATGTCAAGACCTGGTAAGGT TCTTCGCGTTGCTTCGAATTAAACCACATGCTCCACCGCTTGTG CGGGCCCCCGTCAATTCCTTTGAGTTTCAACCTTGCGGTCGTAC TCCCCAGGCGGAATGCTTATTGCGTTAGCTGCGGCACTGAAGG GCGGAAACCCTCCAACACCTAGCATTCATCGTTTACGGCGTGG ACTACCAGGGTATCTAATCCTGTTTGCTACCCACGCTTTCRAAC CTCAGCGTCAGTTACAGACCAGAGAGCCGCTTTCGCCACTGGT GTTCTTCCATATATCTACGCATTTCACCGCTACACATGGAGTTC CACTCTCCTCTTCTGCACTCAAGTCTTCCAGTTTCCAATGCACT ACTCCGGTTAAGCCGAAGGCTTTCACATCAGACTTAAAAGACC GCCTGCGTTCCCTTTACGCCCAATAAATCCGGACAACGCTTGC CACCTACGTATTACCGCGGCTGCTGGCACGTAGTTAGCCGTGA CTTGCTGGTTAGATACCGTCATCGAATGAACAGTTACTCTCAC TCGTGTTCTTCTCTAACAACAGAGTTTTACGATCCGAAGACCTT CTTCACTCACGCGGCGTTGCTCCATCAGACTTGCGTCCATTGTG GAAGATTCCCTACTGCAG	*Ligilactobacillus salivarius*
2	TCCTATAAAGGTTATCCCACCTGGCTTT- GGGTGTTACAGACTCTCATGGTGTGACGGGCGGTGTGTACAAG GCCCGGGAACGTATTCACCGCGGCGTGCTGATCCGCGATTACT AGCRATTCCAGCTTCGTGTAGGCRAGTTGCAGCCTACAGTCCR AACTGAGAACGGCTTTAAGAGATCCGCTTGCCTTCGCAGGTTC GCTTCTCGTTGTACCGTCCATTGTAGCACGTGTGTAGCCCAGG TCATAAGGGGCATGATGACTTGACGTCATCCCCACCTTCCTCC GGTTTGTCACCGGCAGTCTCATTAGAGTGCCCAACTTAATGAT GGCAACTAATGACAAGGGTTGCGCTCGTTGCGGGACTTAACCC AACATCTCACRACACRAGCTGACRACAGCCATGCACCACCTGT CTCAGCGTCCCCGAAGGGAACACCTAATCTCTTAGGTTTGCAC TGGATGTCAAGACCTGGTAAGGTTCTTCGCGTTGCTTCGAATT AAACCACATGCTCCACCGCTTGTGCGGGCCCCCGTCAATTCCT TTGAGTTTCAACCTTGCGGTCGTACTCCCCAGGCGGAGTGCTT AATGCKTTAGCTGCAGCACTGAGAGGCGGAAACCTCCCAACA CTTAGCACTCATCGTTTACGGCATGGACTACCAGGGTATCTAA TCTTGTTCGCTACWTATGCTTTCGAGCCTCAGYGTCAGTTGCA GAC	*Lactobacillus johnsonii*
3	ACGACAGCCATGCACCACCTGTCATTCTAG- TYCCCTGAAGGGAAYGCCTAATCTCTTAGGTTGGCAGAAGATG TCAAGACCTGGTAAGGTTCTTCGCGTAGCTTCGAATTAAACCA CATGCTCCACCGCTTGTGCGGGCCCCCGTCAATTCTTTTGAGTT TYAACCTTGCGGTCGTACTCCCCAGGCGGATTACTTAATGCGT TAGCTGCAGCACTGAARGGYGRAAACCCTCCAACACTTAGTA ATCATCGTTTACGGCATGRACTACCAGGGTATCTAATCCTGTT YGCTACCCATGCTTTYGAGCCTCARCGTCAGTTACAGACCAGA CAGCCGCCTTCGCCACTGGWGTMCTTCCATATATCTACGCWTT TCACCGCTACACATGGAGTTCCACTGTCCTCTTCTGCACTCAA GTCTCCCAGTTTCCAATGCACTTCTTCRGTTGAGCCKAAGGMT TTCACATTAGACTTAAAARACMGCCTGCRCTCGCTTTACGCCC AATAAATCCGGATAACGCTTGCCACCTACGTATTACCGCKGCT GCTGGCACKTARTTAGCCGTGGCTTTCTGGTTAAATACMGTCA CTGGGTGAACAGTTACTCTCACCCACRKTTCTTCTTTAACAAC AGAGCTTTAC	*Pediococcus acidilactici*

Таблица 2 – Оценка устойчивости *L. salivarius, L. johnsonii* и *P. acidilactici* к различным концентрациям желчи

Концентрация желчи, %	*L. salivarius, КОЕ*	*L. johnsonii, КОЕ*	*P. acidilactici, КОЕ*
10	$39 * 10^8$ *	$30 * 10^8$ *	$33 * 10^8$ *
20	$27 * 10^8$ *	$0{,}41 * 10^8$ *	$22 * 10^8$ *
30	$17 * 10^8$ *	$3{,}5 * 10^5$ **	$1{,}7 * 10^8$ **
40	$27 * 10^8$ *	$8 * 10^4$ **	$0{,}01 * 10^8$ **
Контроль	$42 * 10^8$	$0{,}47 * 10^8$	$42 * 10^8$

*Примечание: * – различия с контролем статистически достоверны (p<0,05); ** – различия с контролем статистически достоверны (p<0,001).*

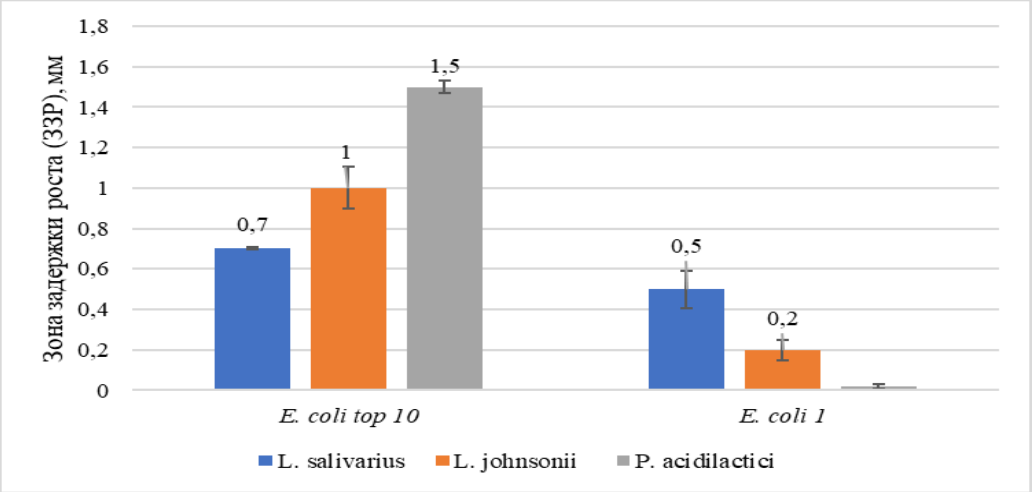


Рисунок 2 – Оценка антагонистической активности лактобактерий относительно различных штаммов E. coli.

Успешное прохождение пробиотиков через условия ЖКТ и колонизация ими микробиоты имеет решающее значение для сельского хозяйства, чтобы оказать положительный эффект при введении животным. Известно, что изолированные лактобациллы обладают умеренной или хорошей устойчивостью к pH 3, однако при повышении кислотности количество клеток снижается. В ходе исследования было установлено, что штаммы *L. salivarius* и *L. johnsonii* не обладают способностью к длительному выживанию в условиях желудка pH 2,0, в то время как *P. acidilactici* остается достаточно активным в верхних отделах ЖКТ. Стоит отметить, что исследуемые нами штаммы оказались достаточно толерантны к высоким значениям pH и относительно долго сохраняли жизнеспособность в тонком кишечнике (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка толерантности *L. salivarius*, *L. johnsonii* и *P. acidilactici* к различным значениям pH

pH	*L. salivarius*	*L. johnsonii*	*P. acidilactici*
2	-	-	$2{,}5 * 10^{7}$ *
4	$0{,}02 * 10^{5}$ *	$4{,}2 * 10^{5}$ *	$1{,}5 * 10^{9}$ *
6 (контроль)	$1 * 10^{5}$	$3{,}2 * 10^{8}$	$2{,}9 * 10^{9}$
8	$2{,}7 * 10^{5}$ *	$1{,}2 * 10^{5}$ *	$1{,}2 * 10^{9}$ **

*Примечание: * – различия с контролем статистически достоверны ($p<0{,}05$);*
*** - различия с контролем статистически достоверны ($p<0{,}001$)*

Таблица 4 – Оценка чувствительности *L. salivarius*, *L. johnsonii* и *P. acidilactici* к различным антибиотикам

№	Наименование антибиотика	Концентрация, мкг/мл	Зона задержки роста (ЗЗР), мм		
			L. johnsonii	*L. salivarius*	*P. acidilactici*
1	Гентамицин	50	0,05	0	0
2	Канамицин	30	0	0	0
3	Левомицетин	10	0,75	1,62	0,7
4	Азитромицин	30	0,19	0,24	0,5
5	Цефазолин	30	0,56	0,9	0,3
6	Оксациллин	5	0,15	0,91	0,37
7	Ампициллин	10	0,84	0,97	0,57
8	Цефтизоксим	30	0,27	1,75	0,65
9	Доксициклин	30	0,17	0,75	0,58
10	Амоксиклав	30	1,05	1,17	0,37
11	Цефалексин	30	0,37	0,95	0,23
12	Амоксициллин	30	0,94	1,28	0,27
13	Цефаклор	30	0,6	0,9	0,23
14	Тетрациклин	30	0,1	0,56	0,23
15	Цефоперазон	75	0,95	1,8	0,57

В настоящее время известно, что бактерии достаточно быстро приобретают резистентность в ответ на новые антибиотики [24].

Для подтверждения пробиотической способности данных штаммов была проведена оценка их чувствительности к наиболее распространенным антибиотикам. В ходе исследования было выявлено, что *L. johnsonii* проявляет выраженную антибиотикочувствительность в отличие от *L. salivarius* и *P. acidilactici* (статистически значимо во всех случаях $p<0,01$) (таблица 4). Это может свидетельствовать о том, что *L. johnsonii* не будет проявлять высокого риска для здоровья, связанного с его чрезмерным использованием и потенциальным горизонтальным переносом генов антибиотикорезистентности.

Резистентность, наблюдаемая у других штаммов, может отражать возможное частое использование анализируемых антибиотиков на птицеводстве, что является прямым следствием появления бактерий с множественной лекарственной устойчивостью.

Интерпретация результатов определения резистентности лакто- и бифидобактерий к антибактериальным препаратам в настоящее время имеет ряд трудностей. Многочисленные противоречия в отношении оценки частоты находок антибиотикорезистентных штаммов лактобацилл могут быть обусловлены как естественными причинами, так и методическими – отсутствием стандартных методов тестирования и общепризнанных пороговых значений МИК. Однако при оценке ЗЗР можно сделать вывод, что полное ингибирование роста бактерий является показателем антибиотикорезистентности у данных штаммов. Также можно заметить, что все исследуемые штаммы обладали низкой чувствительностью к самым распространённым антибиотикам гентамицин и канамицин, которые относятся к классу аминогликозидов.

ВЫВОДЫ/ CONCLUSION

В связи с высокими темпами развития птицеводческой промышленности в России значительно возросла заболеваемость бактериальными инфекциями, что в свою очередь представляет угрозу здоровью населения и приводит к огромным экономическим потерям. В нашем исследовании показано, что изолированные штаммы обладают способностью выживать в сложной экологической нише, такой как ЖКТ бройлеров. Эта характеристика весьма важна для микроорганизмов с пробиотическим потенциалом.

Все изолированные штаммы показали высокую или умеренную антимикробную активность по отношению к условно-патогенным бактериям рода *Escherichia.* Бактерии *P. acidilactici* обладали максимальной антагонистической активностью только в отношении условно-патогенных бактерий (E. coli top 10).

По отношению к желчным кислотам наиболее толерантными являлись штаммы микроорганизмов *L. salivarius* и *P. acidilactici,* в то время как количество жизнеспособных клеток *L. johnsonii* снизилось в два раза. При изучении выживаемости клеток бактерий в экстремально низких и высоких значениях pH установлено, что штаммы *L. salivarius* и *L. johnsonii* не обладают высокой способностью к выживанию в низких значениях pH, в то время как *P. acidilactici* показал высокую устойчивость как к щелочной, так и к кислой среде. Выраженная антибиотикочувствительность наблюдалась у *L. johnsonii*, в то время как штаммы *L. salivarius* и *P. acidilactici* не проявили чувствительность лишь к некоторым из протестированных антибиотиков.

Проведенное исследование подтвердило, что все из исследуемых штаммов обладают существенным пробиотическим потенциалом. Принимая во внимание результаты данной работы, можно сказать, что *L. salivarius, L. johnsonii* и *P. acidilactici* могут иметь потенциал для использования в качестве пробиотиков. Тем не менее, необходимы дополнительные клинические исследования *in vivo*, чтобы подтвердить результаты для практического применения.

IDENTIFICATION AND PROBIOTIC PROPERTIES OF LACTOBACILLI IN THE INTESTINE OF BROILER CHICKENS

Zvereva O.V.[1] – Assistant Professor of the Department of Biochemistry and Biotechnology (ORCID 0000-0002-7051-9858); **Kuznetsova Yu.P.**[1] – Junior Researcher (ORCID 0009-0001-6701-3039); **Vostrikova A.S.**[1] – Junior Researcher (ORCID ID 0009-0005-9460-9507); **Syromyatnikov M.Yu.** [1,2*] - PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-9028-0613); **Mikhaylov E.V.** [2] – PhD in Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5457-1325); **Korneeva O.S.** [1] – PhD in Biological Sciences, Professor (ORCID 0000-0066-0281-5904)

[1] Voronezh State University of Engineering Technology

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

* bond.vrn15@yandex.ru

***Funding**:* The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FZGW-2024-0003).

ABSTRACT

The objects of study in this work were the following strains*: Pediococcus acidilactici*, *Lactobacillus johnsonii* and *Ligilactobacillus salivarius*, isolated from the feces of 14-day-old broiler chickens. A sample of broiler chicken feces was placed in a sterile MRS nutrient medium (HiMedia, India) and incubated at 37 ˚C for 24 hours. After that, the analyzed samples were subcultured deeply onto the MRS-agar nutrient medium (SPC Biokompas-S, Russia) using the limiting dilution method to isolate individual colonies of microorganisms. Petri dishes with the cultures were incubated for 48 hours at 37 ˚C. The grown colonies of microorganisms were identified by cultural and morphological characteristics for further sequencing. The resistance of these cultures to bile acids was studied, their antagonistic activity, tolerance to extremely low and high pH values were assessed, and their resistance to different groups of antibiotics was analyzed. L. salivarius was the most resistant to bile compared to *L. johnsonii* and *P. acidilactici*. *P. acidilactici* did not exhibit antagonistic action against the normal microbiota of the gastrointestinal tract, unlike the other analyzed strains, but had a significant effect on opportunistic bacteria. Extremely low and high pH values did not provoke complete death of *P. acidilactici,* while *L. salivarius* and *L. johnsonii* did not retain activity at extremely low pH values. The experiment also revealed that *L. johnsonii* was the most antibiotic-sensitive strain.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Aidara-Kane A., Angulo F. J., Conly J., Minato Y., Sil-bergeld E. K., McEwen S. A., et al. World Health Organization (WHO) guidelines on use of medically important anti-microbials in food-producing animals. Antimicrob. Resist.Infect. Control 7:7. doi: 10.1186/s13756-017-0294-9.

2. Гладких М. И., Нестерова Е. Ю., Сыромятников М. Ю., Михайлов Е. В., Попов В. Н. Идентификация генов антибиотикорезистентности в молоке // Ветеринарный фармакологический вестник. — 2022 — № 1(18). – С. 69-73

3. Зубарева В. Д., Безбородова Н. А., Соколова О. В., Исаева А. Г., Лысова Я. Ю., Суздальцева М. А., Васильева А. Н. Определение антибиотикорезистентности Pseudomonas aeruginosa, выделенных из биологических образцов и окружающей среды молочно-товарных предприятий Свердловской области // Ветеринарный фармакологический вестник. — 2022 — № 2 (19). — С. 58—64.

4. Долов М. Качество мяса бройлеров кросса «СК Русь-4» [Текст] /М. Долов, Р. Абдулхаликов, О. Гетоков // Птицеводство - 2010 - №5 - С. 33 -35.

5. Ноздрин Г.А. Пробиотики и микронутриенты при интенсивном выращивании цыплят кросса Смена [Текст] / Г.А. Ноздрин, А.Б. Иванова, А.И. Шевченко, С.А. Шевченко. - Новосибирск: НГАУ, 2009. - 207 С.

6. Тараканов Б.В. Микрофлора кишечника, иммунный статус и продуктивность цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотика микроцила [Текст] / Б.В. Тараканов, Т.А. Николичева, А.И. Манухина и др. // С.-х. биология. - 2007. - № 2. - С. 87-93.
7. Lutful Kabir, S.M., 2009. The role of probiotics in the poultry industry. International Journal of Molecular Sciences 10, 3531-3546.
8. Rosmini, M.R., Sequeira, G.J., Guerrero-Legarreta, I., Martí, L.E., Dalla-Santina, R., Frizzo, L., Bonazza, J.C., 2004. Producción de probióticos para animales de abasto: importancia del uso de la microbiota intestinal indígena. Revista Mexicana de Ingeniería Química 3, 181-191.
9. Asahara T, Shimizu K, Nomoto K, Hamabata T, Ozawa A, Takeda Y. Probiotic bifidobacteria protect mice from lethal infection with Shiga toxin-producing Escherichia coli O157:H7. Infect Immun. 2004 Apr;72 (4):2240-7.
10. Maqueda M, Sánchez-Hidalgo M, Fernández M, Montalbán-López M, Valdivia E, Martínez-Bueno M. Genetic features of circular bacteriocins produced by Gram-positive bacteria. FEMS Microbiol Rev. 2008 Jan;32(1):2-22. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00087.x. Epub 2007 Nov 20. PMID: 18034824.
11. Frizzo, L.S., Bertozzi, E., Soto, L.P., Sequeira, G., Rodriguez Armesto, R., Rosmini, M.R., 2010. Studies on translocation, acute oral toxicity and intestinal colonization of potentially probiotic lactic acid bacteria administered during calf rearing. Live Stock Science 128, 28-35.
12. Yang, J., Wang, J., Liu, Z. et al. Ligilactobacillus Salivarius improve body growth and anti-oxidation capacity of broiler chickens via regulation of the microbiota-gut -brain axis. BMC Microbiol 23, 395 (2023).
13. Kim S.-Y., Adachi Y. Biological and genetic classification of canine intestinal lactic acid bacteria and bifidobacteria. Microbiol. Immunol. 2007;51:919–928.
14. Carina Audisio M., Torres M.J., Sabaté D.C., Ibarguren C., Apella M.C. Properties of different lactic acid bacteria isolated from Apis mellifera L. Bee-gut. Microbiol. Res. 2011;166:1–13. doi: 10.1016/ j.micres.2010.01.003.
15. Duar R.M., Lin X.B., Zheng J., Martino M.E., Grenier T., Pérez-Muñoz M.E., Leulier F., Gänzle M., Walter J. Lifestyles in Transition: Evolution and Natural History of the Genus Lactobacillus. FEMS Microbiol. Rev. 2017;41:S27–S48. doi: 10.1093/femsre/ fux030.
16. Andrada E., Mechoud M.A., Abeijón-Mukdsi M.C., Chagra Dib E.P., Cerviño S., Perez Chaia A., Medina R.B. Ferulic acid esterase producing Lactobacillus johnsonii from goat feces as corn silage inoculants. Microorganisms. 2022;10:1732. doi: 10.3390/microorganisms10091732.
17. Mager L.F., Burkhard R., Pett N., Cooke N.C.A., Brown K., Ramay H., Paik S., Stagg J., Groves R.A., Gallo M., et al. Microbiome -derived inosine modulates response to checkpoint inhibitor immunotherapy. Science. 2020;369:1481–1489. doi: 10.1126/ science.abc3421.
18. Tao S, Fan J, Li J, Wu Z, Yao Y, Wang Z, Wu Y, Liu X, Xiao Y, Wei H. Extracellular vesicles derived from Lactobacillus johnsonii promote gut barrier homeostasis by enhancing M2 macrophage polarization. J Adv Res. 2024 Mar 18:S2090-1232(24) 00111-5.
19. Khurajog B, Disastra Y, Lawwyne LD, et al. Selection and evaluation of lactic acid bacteria from chicken feces in Thailand as potential probiotics. PeerJ. 2023;11:e16637. doi: 10.7717/peerj.16637.
20. Никифорова А. П., Хамагаева И. С. Изучение пробиотического потенциала штаммов молочнокислых бактерий Latilactobacillus sakei // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. — Т. 10, № 2. — С. 15—21. doi: 10.14529/ food220202
21. Пеньдюхова А. С., Белькова Н. Л., Савинова Ю. С., Воропаева Н. М., Смурова Н. Е., Клименко Е. С., Кондратов И. Г., Семенова Н. В., Рычкова Л. В. Пробиотические консорциумы: структура и антагонистическая активность в отношении условно-патогенных бактерий и нормобиоты человека (на примере Escherichia

coli) in vitro // Acta biomedica scientifica. — 2023. — Т. 8, № 4. — С. 20—31. doi: 10.29413/ABS.2023- 8.4.3.
22. Mitsuoka, T., 2002. Research in intestinal flora and functional foods. International Journal of Microbiology 15, 57-89.
23. Jin, L.Z., Ho, Y.W., Abdullah, L., Jalaludin, S., 1998. Acid and bile tolerance of Lactobacillus isolated from chicken intestine. Letters in Applied Microbiology 23, 183-185.
24. Perry J., Waglechner N., Wright G. The Prehistory of Antibiotic Resistance. Cold Spring Harb. Perspect. Med. 2016.
25. Идентификация и свойства лактобактерий в кишечнике поросят / М. Ю. Сыромятников, С. В. Шабунин, Е. Ю. Нестерова [и др.] // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2024. – № 2(62). – С. 15-19. – DOI 10.24412/2074-5036-2024-262 -15-19.

REFERENCES

1. Aidara-Kane A., Angulo F. J., Conly J., Minato Y., Sil-bergeld E. K., McEwen S. A., et al. World Health Organization (WHO) guidelines on use of medically important anti -
microbials in food-producing animals. Antimicrob. Resist.Infect. Control 7:7. doi: 10.1186/s13756-017-0294-9.
2. Gladkikh M.I., Nesterova E.Yu., Syromyatnikov M.Yu., Mikhailov E.V., Popov V.N. Identification of antibiotic resistance genes in milk // Veterinary Pharmacological Bulletin. - 2022 - No. 1 (18). - P. 69-73.
3. Zubareva V.D., Bezborodova N.A., Sokolova O.V., Isaeva A.G., Lysova Ya.Yu., Suzdaltseva M.A., Vasilyeva A.N. Determination of antibiotic resistance of Pseudomonasaeruginosa isolated from biological samples and the environment of dairy enterprises of the Sverdlovsk region // Veterinary Pharmacological Bulletin. - 2022 - No. 2 (19). - P. 58-64.
4. Dolov M. Meat quality of broiler chickens of the cross «SK Rus-4» [Text] /M. Dolov, R. Abdulhalikov, O. Getokov // Poultry farming - 2010 - №5 - P. 33-35.
5. Nozdrin G.A. Probiotics and micronutrients in intensive rearing of chickens of the cross Smena [Text] / G.A. Nozdrin, A.B. Ivanova, A.I. Shevchenko, S.A. Shevchenko. - Novosibirsk: NGAU, 2009. - 207 P.
6. Tarakanov, B. V. Intestinal microflora, immune status and productivity of broiler chickens with inclusion of the probiotic microcycol in the diet / B. V. Tarakanov, T. A. Nikolicheva, A. I. Manukhina // Agricultural biology. - 2007. - V. 42, No. 2. - P. 87-94. - EDN HZUFTX.
7. Lutful Kabir, S.M., 2009. The role of probiotics in the poultry industry. International Journal of Molecular Sciences 10, 3531-3546.
8. Rosmini, M.R., Sequeira, G.J., Guerrero -Legarreta, I., Martí, L.E., Dalla-Santina, R., Frizzo, L., Bonazza, J.C., 2004. Producción de probióticos para animales de abasto: importancia del uso de la microbiota intestinal indígena. Revista Mexicana de Ingeniería Química 3, 181-191.
9. Asahara T, Shimizu K, Nomoto K, Hamabata T, Ozawa A, Takeda Y. Probiotic bifidobacteria protect mice from lethal infection with Shiga toxin-producing Escherichia coli O157:H7. Infect Immun. 2004 Apr;72 (4):2240-7.
10. Maqueda M, Sánchez-Hidalgo M, Fernández M, Montalbán-López M, Valdivia E, Martínez-Bueno M. Genetic features of circular bacteriocins produced by Gram-positive bacteria. FEMS Microbiol Rev. 2008 Jan;32(1):2-22. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00087.x. Epub 2007 Nov 20. PMID: 18034824.
11. Frizzo, L.S., Bertozzi, E., Soto, L.P., Sequeira, G., Rodriguez Armesto, R., Rosmini, M.R., 2010. Studies on translocation, acute oral toxicity and intestinal colonization of potentially probiotic lactic acid bacteria administered during calf rearing. Live Stock Science 128, 28-35.
12. Yang, J., Wang, J., Liu, Z. et al. Ligilactobacillus Salivarius improve body growth and anti-oxidation capacity of broiler chickens via regulation of the microbiota-gut -brain axis. BMC Microbiol 23, 395 (2023).
13. Kim S.-Y., Adachi Y. Biological and genetic classification of canine intestinal lactic acid bacteria and bifidobacteria. Microbiol. Immunol. 2007;51:919–928.

14. Carina Audisio M., Torres M.J., Sabaté D.C., Ibarguren C., Apella M.C. Properties of different lactic acid bacteria isolated from Apis mellifera L. Bee-gut. Microbiol. Res. 2011;166:1–13. doi: 10.1016/ j.micres.2010.01.003.
15. Duar R.M., Lin X.B., Zheng J., Martino M.E., Grenier T., Pérez-Muñoz M.E., Leulier F., Gänzle M., Walter J. Lifestyles in Transition: Evolution and Natural History of the Genus Lactobacillus. FEMS Microbiol. Rev. 2017;41:S27–S48. doi: 10.1093/ femsre/fux030.
16. Andrada E., Mechoud M.A., Abeijón-Mukdsi M.C., Chagra Dib E.P., Cerviño S., Perez Chaia A., Medina R.B. Ferulic acid esterase producing Lactobacillus johnsonii from goat feces as corn silage inoculants. Microorganisms. 2022;10:1732. doi: 10.3390/microorganisms10091732.
17. Mager L.F., Burkhard R., Pett N., Cooke N.C.A., Brown K., Ramay H., Paik S., Stagg J., Groves R.A., Gallo M., et al. Microbiome -derived inosine modulates response to checkpoint inhibitor immunotherapy. Science. 2020;369:1481–1489. doi: 10.1126/ science.abc3421.
18. Tao S, Fan J, Li J, Wu Z, Yao Y, Wang Z, Wu Y, Liu X, Xiao Y, Wei H. Extracellular vesicles derived from Lactobacillus johnsonii promote gut barrier homeostasis by enhancing M2 macrophage polarization. J Adv Res. 2024 Mar 18:S2090-1232(24) 00111-5.
19. Khurajog B, Disastra Y, Lawwyne LD, et al. Selection and evaluation of lactic acid bacteria from chicken feces in Thailand as potential probiotics. PeerJ. 2023;11:e16637. doi: 10.7717/peerj.16637.
20. Nikiforova A.P., Khamagaeva I.S. Study of probiotic potential of lactic acid bacteria strains Latilactobacillus sakei // Bulletin of SUSU. Series "Food and Biotechnology". 2022. - Vol. 10, No. 2. - P. 15-21.
21. Pendyukhova A.S., Belkova N.L., Savinova Yu.S., Voropaeva N.M., Smurova N.E., Klimenko E.S., Kondratov I.G., Semenova N.V., Rychkova L.V. Probiotic consortia: structure and antagonistic activity against opportunistic bacteria and human normobiota (using Escherichia coli as an example) in vitro // Acta biomedica scientifica. - 2023. - T. 8, No. 4. - P. 20-31
22. Mitsuoka, T., 2002. Research in intestinal flora and functional foods. International Journal of Microbiology 15, 57-89.
23. Jin, L.Z., Ho, Y.W., Abdullah, L., Jalaludin, S., 1998. Acid and bile tolerance of Lactobacillus isolated from chicken intestine. Letters in Applied Microbiology 23, 183-185.
24. Perry J., Waglechner N., Wright G. The Prehistory of Antibiotic Resistance. Cold Spring Harb. Perspect. Med. 2016;
25. Identification and properties of lactobacilli in the intestines of piglets / M. Yu. Syromyatnikov, S. V. Shabunin, E. Yu. Nesterova [et al.] // Current issues in veterinary biology. - 2024. - No. 2 (62). - P. 15-19.

УДК: 615.33:619:636.5.034
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.164

ОЦЕНКА ХИМИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОКСИФЛОКСАЦИНА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОЛИБАКТЕРИОЗЕ ЦЫПЛЯТ

Мазур А. Д.* – мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-1340-8024); **Скворцов В.Н.** – д-р ветеринар. наук, руководитель Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0002-9629-0000); **Юрин Д.В.** – канд. вет. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-9380-4136); **Горбанёва А.С. –** мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-1128-0020); **Лаишевцев А.И.** – канд. биол. наук, зав. лабораторией (ORCID 0000-0002-5050-2274)

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

*an4.mazur@yandex.ru

Ключевые слова: колибактериоз, экспериментальная инфекция, цыплята, моксифлоксацин, терапевтическая эффективность.

Key words: colibacteriosis, experimental infection, chickens, moxifloxacin, therapeutic efficacy.

Поступила: 26.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Цель исследования заключалась в оценке терапевтической эффективности моксифлоксацина, применяемого в различных дозах, при экспериментальном колибактериозе цыплят. Экспериментальное заражение цыплят суточного возраста кросса Хайсекс Браун проводили путем внутрибрюшинного введения суспензии из *Escherichia coli* в концентрации 150 млн. колониеобразующих единиц (КОЕ) в 0,5 мл (1 по стандарту McFarland) на цыпленка. Для проведения опыта сформировали три группы цыплят по 90 голов в каждой. Доза моксифлоксацина для лечения первой группы цыплят составила 5 мг/кг массы тела; для второй – 10 мг/кг массы тела; для третьей – 20 мг/кг массы тела. В каждой группе цыплятам препарат вводили внутрибрюшинно, однократно (по десять голов), через 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10 и 12 часов после заражения, а также одновременно с ним. Результаты исследования показали, что удовлетворительная терапевтическая эффективность моксифлоксацина, применяемого в дозе 5 мг/кг при экспериментальном колибактериозе цыплят вне зависимости от времени введения препарата относительно заражения в данном опыте не была достигнута. Слабоактивной доза 5 мг/кг массы тела являлась при ее введении птице через один час и десять часов после заражения, а также одновременно с ним (средняя продолжительность жизни = 31-39%). В остальных случаях назначенная доза препарата являлась неактивной. При увеличении дозы препарата до 10 мг/кг массы тела наблюдалось и увеличение его терапевтической эффективности. При одновременном введении моксифлоксацина и заражении птиц суммарная продолжительность жизни составила 57%, что даёт возможность

отнести данную дозу к активной. Подобные результаты были получены при введении препарата цыплятам через шесть, восемь и десять часов (СПЖ = 44-53%). Более высокую эффективность продемонстрировал препарат, назначенный в дозе 20 мг/кг массы тела. Введение моксифлоксацина в этой дозе обеспечивало суммарную продолжительность жизни до 75% (одновременное введение препарата и суспензии микроорганизма).

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Колибактериоз, вызываемый патогенными штаммами *E. coli,* представляет собой одну из наиболее распространенных инфекционных патологий у птиц, особенно у молодняка. Это заболевание, как правило, проявляется в виде системных инфекций, которые могут сопровождаться сепсисом, перитонитом и другими серьезными осложнениями.

Патогенные штаммы *E. coli,* такие как O78, O2 и O1, способны вызывать тяжелые клинические проявления у птиц, включая диарею, отек, синуситы, затрудненное хриплое дыхание, нервные явления – тремор мышц, парезы и параличи [1, 2].

В условиях птицеводства колибактериоз может приводить к значительным экономическим потерям, так как он сопровождается не только высокой смертностью, но и снижением продуктивности, ухудшением качества мяса и яиц, а также увеличением затрат на ветеринарные услуги. Например, в некоторых хозяйствах, где наблюдаются вспышки данного заболевания, уровень смертности среди цыплят может достигать 30-60% [3, 4, 5].

Лечение колибактериоза включает использование антимикробных средств, таких как фторхинолоны, которые могут быть эффективны против патогенных штаммов *E. coli.* Однако важно учитывать, что устойчивость к антибиотикам является растущей проблемой. При подозрении на колибактериоз и смешанные инфекции целесообразно проводить антибиотикотерапию теми лекарственными средствами, к которым предварительно определена чувствительность у выделенных возбудителей заболеваний [6 - 9].

Моксифлоксацин, относящийся к классу фторхинолонов, обладает широким спектром антимикробной активности и может быть эффективным средством для лечения инфекций, вызванных грамотрицательными бактериями, такими как *E. coli.* Данный препарат действует путем ингибирования ДНК-гиразы, что приводит к нарушению репликации и транскрипции бактериальной ДНК. Это делает моксифлоксацин особенно полезным в борьбе с патогенными штаммами, которые проявляют резистентность к другим антимикробным средствам [10].

Исследования показывают, что применение фторхинолонов может значительно снизить уровень патогенных бактерий в организме птиц и улучшить клинические показатели. Однако, для достижения максимального терапевтического эффекта необходимо определить оптимальные дозы препарата и время начала лечения [11, 12, 13].

Цель работы: оценка терапевтической эффективности моксифлоксацина, применяемого в различных дозах при экспериментальном колибактериозе цыплят.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Нами проведено исследование на цыплятах суточного возраста кросса Хайсекс Браун для определения терапевтической эффективности моксифлоксацина при экспериментальном колибактериозе.

Заражение проводили путем внутрибрюшинного введения птице суспензии из суточной культуры *E. coli* в концентрации 150 млн. колониеобразующих единиц (КОЕ) в 0,5 мл (1 по стандарту McFarland) на цыпленка.

Для проведения опыта сформировали три группы цыплят по 90 голов в каждой. Доза моксифлоксацина для лечения первой группы цыплят составила 5 мг/кг массы тела; для второй – 10 мг/кг массы тела; для третьей – 20 мг/кг массы тела. В каждой группе цыплятам препарат вводили внутрибрюшинно, однократно (по десять голов), через 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10 и 12 часов

после заражения, а также одновременно с ним.

Также в опыте были сформированы контрольная группа, птицу которой после заражения не лечили, и интактная группа, в которой цыплята не подвергались каким -либо экспериментальным воздействиям.

Наблюдение за птицей вели в течение 10 дней, учитывая проявление клинических признаков заболевания, а также количество павших цыплят.

Оценку эффективности лечения проводили на основе определения суммарной продолжительности жизни птицы (СПЖ) в опыте. Максимальная продолжительность жизни цыплят составляла 100 условных дней (10 голов × 10 дней). Продолжительность жизни птицы выражали в процентах от максимально возможной за период наблюдения.

Эффективность использованных доз препарата оценивали по следующим показателям: высокоактивная доза – СПЖ в пределах 80-100%, активная доза – 40-80%, слабоактивная доза – 30-40%. Неактивной считали дозу препарата, при использовании которой разница в продолжительности жизни с контрольной группой была недостоверной.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Данные о терапевтической эффективности моксифлоксацина, применяемого в различных дозах для цыплят, экспериментально зараженных *E. coli*, представлены в таблице 1.

Результаты исследования показали, что терапевтическая эффективность моксифлоксацина, применяемого в дозе 5 мг/кг при экспериментальном колибактериозе цыплят вне зависимости от времени введения препарата относительно заражения в данном опыте не была достигнута. Слабоактивной доза 5 мг/кг массы тела являлась при ее введении птице через один час и десять часов после заражения, а также одновременно с ним (СПЖ = 31-39%). В остальных случаях доза являлась неактивной, так как разница в продолжительности жизни с контрольной группой была недостоверной.

При увеличении дозы препарата до 10 мг/кг массы тела наблюдалось и увеличение его терапевтической эффективности. При одновременном введении моксифлоксацина и заражении птиц суммарная продолжительность жизни составила 57%, что даёт возможность отнести данную дозу к активной. Подобные результаты были получены при введении препарата цыплятам через шесть, восемь и десять часов (СПЖ = 44-53%). Слабоактивной данная доза являлась при ее введении через один, три и четыре часа (СПЖ = 36-38%). При инъекции моксифлоксацина в дозе 10 мг/кг массы тела через два часа и двенадцать часов не удалось достичь даже минимальной эффективности, а назначенная доза являлась неактивной (СПЖ = 22-25%).

При увеличении дозы препарата до 20 мг/кг массы тела также не удалось достичь результатов, которые позволили бы отнести её к высокоактивной. Значительный показатель суммарной продолжительности жизни (СПЖ = 72-75%) был получен только при введении цыплятам моксифлоксацина через два часа после заражения, а также одновременно с ним. Активной данная доза являлась при ее введении через десять часов после заражения (СПЖ = 65%). Введением лекарственного средства птице через один, три, шесть и восемь часов после заражения удалось достичь результатов, свидетельствующих также об активности дозы 20 мг/кг массы тела (СПЖ варьировалась от 41 до 49%). При введении птице моксифлоксацина в этой же дозе через четыре часа и двенадцать часов после заражения суммарная продолжительность жизни была равной 38 и 33%, что говорит о слабой активности данной дозы препарата.

К концу опыта в контрольной группе продолжительность жизни цыплят составила 30% от максимально возможной.

В интактной группе на протяжении опыта не отмечалось заболевших и павших цыплят (СПЖ = 100%).

Таблица 1 – Терапевтическая эффективность моксифлоксацина при экспериментальном колибактериозе цыплят

Время введения моксифлоксацина относительно заражения	Суммарная продолжительность жизни					
	Доза 5 мг/кг		Доза 10 мг/кг		Доза 20 мг/кг	
	Дней	%	Дней	%	Дней	%
Одновременно с заражением	39/100	39	57/100	57	75/100	75
Через 1 час	33/100	33	38/100	38	44/100	44
-//- 2 часа	25/100	25	25/100	25	72/100	72
-//- 3 часа	21/100	21	36/100	36	41/100	41
-//- 4 часа	13/100	13	38/100	38	38/100	38
-//- 6 часов	24/100	24	44/100	44	41/100	41
-//- 8 часов	21/100	21	53/100	53	49/100	49
-//- 10 часов	31/100	31	49/100	49	65/100	65
-//- 12 часов	22/100	22	22/100	22	33/100	33
Контрольная группа	30/100	30	30/100	30	30/100	30

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В ходе исследования нами установлено, что терапевтическая эффективность моксифлоксацина при экспериментальном колибактериозе у цыплят зависела от дозы препарата и времени его введения относительно заражения.

При использовании дозы 5 мг/кг массы тела наблюдалась низкая эффективность лечения. Суммарная продолжительность жизни цыплят составила от 13% (введение через 4 часа после заражения) до 39% (одновременное введение препарата и суспензии микроорганизмов).

При лечении экспериментального колибактериоза цыплят моксифлоксацином в дозе 10 мг/кг массы тела удалось достичь более выраженного терапевтического эффекта при использовании препарата одновременно с заражением (СПЖ = 57%). Хотя эта доза была эффективнее, чем 5 мг/кг, ее введение не показало желаемых результатов, особенно при увеличении времени до начала лечения. При назначении моксифлоксацина через 12 часов после заражения, суммарная продолжительность жизни цыплят достигала всего 22%.

Более высокую эффективность продемонстрировал препарат, назначенный в дозе 20 мг/кг массы тела, что обеспечивало суммарную продолжительность жизни до 75% (одновременное введение препарата и суспензии микроорганизма). Так, удалось достичь стабильных результатов и высокой эффективности, что делает ее предпочтительным вариантом для лечения колибактериоза у цыплят.

В контрольной группе продолжительность жизни птицы составила всего 30%. В интактной группе, где цыплята не подвергались экспериментальным воздействиям, суммарная продолжительность жизни составила 100%.

Анализ временных точек введения препарата показал, что одновременное введение моксифлоксацина с заражением обеспечивало наилучшие результаты для всех использованных доз, в то время как задержка в лечении (введение через 12 часов) приводила к снижению эффективности.

ASSESSMENT OF CHEMOTHERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF MOXIFLOXACIN IN EXPERIMENTAL COLIBACILLOSIS OF CHICKENS

Mazur A.D. – Junior Researcher (ORCID 0000-0003-1340-8024); **Skvortsov V.N.** – Dr. Vet. sci., Head of Belgorod Department of FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000 0002 9629 0000); **Yurin D.V.** – C. V. Sc., Leading Researcher (0000-0001-9380- 4136); **Gorbaneva A. S. –** Junior Researcher (ORCID 0000-0003-1128-0020); **Laishevtsev A.I.** – Ph.D. of Biological Sciences Director of Laboratory (ORSID 0000-0002-5050-2274).

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

*an4.mazur@yandex.ru

ABSTRACT

The goal of the present study was to assess the chemotherapeutic effectiveness of moxifloxacin, at various doses, in experimental colibacillosis of chickens. Day-old Hisex Brown chickens were experimentally infected via intraperitoneal injection with *Escherichia coli* in suspension at a dose of 1.5 x 10^8 CFUs / 0.5 mL per chicken. For the sake of the experiment, we divided the chickens into 3 groups (n=90, in each group). The dose of moxifloxacin for Group I was determined 5 mg/kg body weight, Group II – 10 mg/kg body weight and Group III – 20 mg/kg body weight. In each group the chickens were challenged intraperitoneally once (ten chickens at a time), at 1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h following the challenge and simultaneously with the challenge. The results of our research prove that the therapeutic effectiveness of moxifloxacin at a dose of 5 mg/kg body weight, in experimental colibacillosis, irrespective of the moment of administration of the drug in regard to the moment of the challenge, was insignificant. Moxifloxacin at the dose of 5 mg/kg body weight was just scarcely effective when it was administered to the chickens at 1h and 10h following the challenge and simultaneously with the challenge (total life span = 31 -39%). Otherwise, the specified dose of the drug proved ineffective. When the dose was increased to 10 mg/kg body weight the therapeutic effectiveness of the drug increased likewise. When moxifloxacin was administered to the chickens simultaneously with the challenge the total life span was 57%, thus the dose can be considered effective. Similar results were achieved when the drug was administered to the chickens at 6h, 8h and 10h following the challenge (the total life span was 44-53%). The drug at a dose of 20 mg/kg body weight allowed to achieve higher effectiveness. Moxifloxacin at such dose ensured the total life span from 33% (administration at 12h following the challenge) to 75% (administration simultaneous with the challenge).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Cynthia M. Kahn (Editor), Scott Line / The Merck Veterinary Manual 10th Edition Whitehouse Station: Merck & Co., Inc., 2010. 1285 p.

2. Забровская, А. В. Патогенные Escherichia coli: факторы вирулентности, распространение, проблемы диагностики / А. В. Забровская // Международный вестник ветеринарии. – 2023. – № 4. – С. 87-95. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.4.87.

3. Kathayat, D., D. Lokesh, S. Ranjit, and G. Rajashekara. 2021. Avian pathogenic *Escherichia coli* (Apec): an overview of virulence and pathogenesis factors, zoonotic potential, and control strategies. Pathogens 10.

4. Новикова, О. Б. Проблема колибактериоза в птицеводстве / О. Б. Новикова, А. А. Бартенев // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 8-4. – С. 35-37.

5. К вопросу об этиологии колибактериоза птиц / В. В. Виноходов, В. О. Виноходов, С. Н. Лысенко // Международный вестник ветеринарии. – 2009. – № 3. – С. 17-25.

6. Изучение бактериальных инфекций на птицефабриках / Н. Л. Андреева, М. Е. Дмитриева, А. А. Климов, Л. С. Фогель //

Ветеринария. – 2004. – № 5. – С. 14-16.
7. Isaac Monroy, Pablo Catalá-Gregori, Sandra Sevilla-Navarro. Assessment of antibiotic resistance and virulence in Escherichia coli strains isolated from poultry in Spain, Poultry Science, Volume 104, Issue 2, 2025, 104838, https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104838.
8. Bhattarai RK, Basnet HB, Dhakal IP, Devkota B. Antimicrobial resistance of avian pathogenic *Escherichia coli* isolated from broiler, layer, and breeder chickens. Vet World. 2024 Feb;17(2):480-499. doi: 10.14202/vetworld.2024.480-499.
9. Сухинин, А. А. Профилактика и лечение колибактериоза / А. А. Сухинин // Международный вестник ветеринарии. – 2009. – № 2. – С. 44-47.
10. Subedi M, Luitel H, Devkota B, Bhattarai RK, Phuyal S, Panthi P, Shrestha A, Chaudhary DK. Antibiotic resistance pattern and virulence genes content in avian pathogenic Escherichia coli (APEC) from broiler chickens in Chitwan, Nepal. BMC Vet Res. 2018 Mar 27;14(1):113. doi: 10.1186/s12917-018-1442-z.
11. Humma ZE, Patel P. Moxifloxacin. 2024 Jan 11. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan –. PMID: 38261682.
12. Оценка химиотерапевтического действия лекарственного средства на основе левофлоксацина при экспериментальном колибактериозе цыплят / А. Д. Мазур, В. Н. Скворцов, Д. В. Юрин, А. Р. Кравцова // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 42-48. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.2.42.
13. Маханев, В. В. Антимикробная активность, токсичность и эффективность норфлоксацина при экспериментальном колибактериозе лабораторных животных / В. В. Маханев, В. Н. Скворцов, А. А. Балбуцкая // Международный вестник ветеринарии. – 2016. – № 2. – С. 38-41.

REFERENCES

1. Cynthia M. Kahn (Editor), Scott Line / The Merck Veterinary Manual 10th Edition Whitehouse Station: Merck & Co., Inc., 2010. 1285 p.
2. Zabrovskaya, A.V. Pathogenic Escherichia coli: virulence factors, spread, diagnostic problems / A.V. Zabrovskaya // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2023. – No. 4. – pp. 87-95. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.4.87. (In Russ.)
3. Kathayat, D., D. Lokesh, S. Ranjit, and G. Rajashekara. 2021. Avian pathogenic *Escherichia coli* (Apec): an overview of virulence and pathogenesis factors, zoonotic potential, and control strategies. Pathogens 10.
4. Novikova, O. B. The problem of colibacteriosis in poultry farming / O. B. Novikova, A. A. Bartenev // Modern trends in the development of science and technology. 2015. No. 8-4. pp. 35-37. (In Russ.)
5. On the etiology of avian colibacteriosis / V. V. Vinokhodov, V. O. Vinokhodov, S. N. Lysenko // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2009. – No. 3. – pp. 17-25. (In Russ.)
6. The study of bacterial infections in poultry farms / N. L. Andreeva, M. E. Dmitrieva, A. A. Klimov, L. S. Vogel // Veterinary medicine. - 2004. – No. 5. – pp. 14-16. (In Russ.)
7. Isaac Monroy, Pablo Catalá-Gregori, Sandra Sevilla-Navarro. Assessment of antibiotic resistance and virulence in Escherichia coli strains isolated from poultry in Spain, Poultry Science, Volume 104, Issue 2, 2025, 104838, https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104838.
8. Bhattarai RK, Basnet HB, Dhakal IP, Devkota B. Antimicrobial resistance of avian pathogenic *Escherichia coli* isolated from broiler, layer, and breeder chickens. Vet World. 2024 Feb;17(2):480-499. doi: 10.14202/vetworld.2024.480-499.
9. Sukhinin, A. A. Prevention and treatment of colibacteriosis / A. A. Sukhinin // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2009. – No. 2. – pp. 44-47. (In Russ.)
10. Subedi M, Luitel H, Devkota B, Bhattarai RK, Phuyal S, Panthi P, Shrestha A, Chaudhary DK. Antibiotic resistance pattern and virulence genes content in avian pathogenic Escherichia coli (APEC) from broiler chickens in Chitwan, Nepal. BMC Vet Res. 2018 Mar 27;14(1):113. doi: 10.1186/s12917-018-1442-z.

11. Humma ZE, Patel P. Moxifloxacin. 2024 Jan 11. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 38261682.
12. Assessment of the chemotherapeutic effect of a drug based on levofloxacin in experimental colibacteriosis of chickens / A.D. Mazur, V. N. Skvortsov, D. V. Yurin, A. R. Kravtsova // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2024. – No. 2. – pp. 42-48. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.2.42. (In Russ.)
13. Makhanev, V. V. Antimicrobial activity, toxicity and efficacy of norfloxacin in experimental colibacteriosis of laboratory animals / V. V. Makhanev, V. N. Skvortsov, A. A. Balbutskaya // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2016. – No. 2. – pp. 38-41. (In Russ.)

УДК: 619:578/616.98:579.841.93
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.171

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО СРЕДСТВА «ТЕОТРОПИН Р+» В ОТНОШЕНИИ *BRUCELLA ABORTUS* 54М

Панкова Е.В.[1] – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-4446-4619); **Мингалеев Д.Н.**[1]– д-р ветеринар. наук, проф. (ORCID 0000-0001-7217-4083); **Месяцев В.Г.** [2] – директор; **Мустафина Э.Н.**[1] – канд. ветеринар. наук (ORCID 0000-0002-1997-5575); **Мельникова Л.А.**[1] – канд. ветеринар. наук (ORCID 0000-0002-0159-3843); **Назмеев М.М.**[3] – канд. тех. наук; **Равилов Р.Х.**[4] – д-р ветеринар. наук, проф.

[1] ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»
[2] ООО «БиоФарм»,
[3] Институт прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан
[4] ФГБОУ ВО Казанский ГАУ Институт «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана»

**katerinka_ja@bk.ru*

Ключевые слова: *бруцеллёз, штамм, «Теотропин Р+», дезинфекция, тест-объект.*

Key words: *brucellosis, strain, "Theotropin P+", disinfection, test object.*

Финансирование: *Материалы подготовлены за счет средств ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» и ООО «БиоФарм» в рамках технического задания по изучению бактерицидной активности дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» в отношении возбудителя бруцеллёза.*

Поступила: 06.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Успех проводимых дезинфекционных мероприятий в стране зависит от обеспеченности ветеринарной отрасли эффективными препаратами. Для этого проводятся изыскания и апробация новых препаратов, они, согласно международным правилам, должны быть безопасными, высокоэффективными и соответствовать общепринятым нормам. В статье, авторами, приведены данные исследований, цель которых - определить бактерицидную активность дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» в отношении возбудителя бруцеллеза суспензионным методом и методом обезвреживания контаминированных поверхностей тест - объектов (резина, дерево, оцинкованная сталь, бетон), имитирующих объекты животноводческих помещений. В работе был использован референтный штамм *B. abortus* 54М (тест-культура) который предварительно был изучен по основным свойствам (тинкториально-морфологическим и культурально-морфологическим), культивируемый на скошенном печеночно-мартеновском агаре с перевароом Хоттингера (ПМХА) и печеночно-мартеновском бульоне с перевароом Хоттингера (ПМХБ) и дезинфицирующее средство

«Теотропин Р+» в следующих концентрациях 0,5%; 1%; 2%; 5%; 10% и экспозициях на тест-объектах, в первом случае 10; 30; 60; 120; 180 минут, во втором – 1; 3; 24 часа. С положительными (тест-культура) и отрицательными (без тест-культуры) контролями. Исследованиями установлено, что средство «Теотропин Р+», являясь дезинфицирующим средством нового поколения обладает бактерицидной активностью в отношении референтного штамма *B. abortus* 54М основные свойства которого характерны для данного возбудителя, обеспечивая его полную инактивацию в зависимости от типа материала обеззараживаемых поверхностей. Полученные данные позволяют рекомендовать это средство в качестве дезинфектанта в ветеринарной практике при дезинфекции помещений для содержания животных, инфекционных очагов, транспортной инфраструктуры, складских помещений, предприятий мясной и молочной промышленности, в частной и государственной собственности и др.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Важнейшим звеном в системе ветеринарно-санитарных мероприятий, включающих в себя специфическую профилактику, диагностику и лечение, является и дезинфекция. Дезинфекция представляет собой комплекс мер борьбы с инфекционными болезнями, воздействующая на возбудителя, осуществляется физическими, химическими, биологическими и комбинированными методами. Сейчас на рынке существует множество дезинфицирующих средств [5], с различными составами и техническими свойствами, они эффективно справляются с разного рода микроорганизмами (бактериями, вирусами и грибами), вызывающими те или иные инфекции [3,6].

В ветеринарии чаще всего подвергают дезинфекции помещения для содержания животных, предприятия мясной и молочной промышленности, средства транспорта, предприятия, перерабатывающие сырье животного происхождения и т.д. Для этого разрабатываются и предлагаются новые препараты [2,4,7].

В России ежегодно регистрируются десятки новых дезинфицирующих средств, при этом лишь малая доля прошла испытания эффективности в отношении патогенных биологических агентов (ПБА) I – II групп патогенности. В связи с этим представлена возможность проведения испытаний по изучению бактерицидной активности средства «Теотропин Р+» выпускаемый производителем ООО «Пласт Пром», Россия [9] в отношении бруцеллеза, относящегося ко II группе патогенности (опасности), вызывающего заболевание как человека, так и животных, распространенного на всех континентах земного шара, принося обществу социальный и экономический ущерб. Возбудители бруцеллёза весьма чувствительны к различным дезинфицирующим средствам, таким как фенол, крезол, креол, хлорная известь, хлорамин и др [8, 1].

В отличие от вышеперечисленных средств «Теотропин Р+» является дезинфектантом нового поколения и обладает рядом преимуществ, а именно: короткой экспозицией; низкой токсичностью для животных и человека; отсутствием коррозийных свойств; безопасностью для внешней среды; совместимостью с обрабатываемыми материалами; активностью в широком диапазоне температур, дезодорирующими свойствами и др. [10,11,12].

Цель исследования - определить дезинфицирующую активность средства «Теотропин Р+» в отношении *B. abortus* 54М суспензионным методом и методом обезвреживания контаминированных поверхностей тест - объектов (резина, дерево, оцинкованная сталь, бетон), имитирующих объекты животноводческих помещений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Работу проводили в ФГБНУ «ФЦТРБ -ВНИВИ» г. Казань в отделе Государственной коллекции штаммов микроорганизмов особо опасных болезней, используемых в ветеринарии и животноводстве.

В опытах использовали референтный

штамм *B. abortus* 54М (тест-культура), обладающий типичными для соответствующего вида морфологическими, тинкториальными, культуральными, биохимическими и ферментативными свойствами; рабочие растворы дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» производства ООО «ПластПром».

«Теотропин Р+» дезинфицирующее средство, которое обладает вирулицидным и бактерицидным действием. Представляет собой порошок желтого света со слабым специфическим запахом или без запаха в зависимости от степени очистки; хорошо растворим в воде, спирте, ацетоне; обладает антикоррозионными свойствами, защищает металлы от ржавения; при применении не выделяет агрессивных газов, не портит и не обесцвечивает окрашенные поверхности, не повреждает лаки и полимерные материалы; в концентрации до 5% нетоксичен, у млекопитающих и птиц не раздражает кожные покровы и слизистые оболочки, при аэрозольном применении не вызывает раздражение дыхательных путей.

Дезинфицирующее средство " «Теотропин Р+», содержащее в качестве действующего вещества тетраметиллендиэтилентетрамин, является препаратом нового поколения и обладает рядом преимуществ перед другими дезинфицирующими средствами с аналогичным действием как отечественного, так и иностранного производства.

На данный момент у вирусов и бактерий нет адаптации к quot, «Теотропин Р+» применен впервые.

Исследования проводили в соответствии, с СанПиН 3.3686-21 и Инструкцией ООО «БИОФАРМ» по применению дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» для дезинфекции объектов государственного ветеринарного надзора [9].

Культивирование референтного штамма *B. abortus* 54 М (тест-культура), проводили на скошенном печеночно-мартеновском агаре с переваром Хоттингера (ПМХА) и печеночно-мартеновском бульоне с переваром Хоттингера (ПМХБ). Питательные среды приготовлены в лаборатории питательных сред и культур клеток в ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» г. Казань на основе пептона Мартена изготовитель ФБУН ГНЦ ПМБ «Оболенск» и агар-агара микробиологического, производство Германия.

Бактериальную взвесь тест-культуры готовили по оптическому стандарту мутности (ФГУП Государственный институт стандартизации и контроля биологических препаратов им. Л.А. Тарасевича Роспотребнадзора) до концетрации $1x10^9$ м.к. в 1 см ^{3}.

Дезинфицирующую активность испытуемого средства определяли суспезионным методом (Рис. 1) и методом обезвреживания тест-объектов (Рис. 2) с гладкой поверхностью – резина, оцинкованная сталь и с шероховатой – бетон, дерево, их размер 5х5 см^3, имитацией загрязнения служил белковый материал.

Рабочие растворы дезинфицирующего средства готовили для первого и второго опыта в следующих концентрациях 0,5%; 1%; 2%; 5%; 10%. Время экспозиции дезинфицирующего средства на тест-объекты, в первом случае 10; 30; 60; 120; 180 минут, во втором – 1; 3; 24 часа. В качестве инактиватора действующего вещества применяли стерильную дистиллированную воду.

Смывы с опытных образцов тест-объектов, в первом случае – суспензионный метод (суспензия культуры и дезинфицирующий раствор), во втором (смывная жидкость, с каждого тест-объекта), высевали в чашки Петри (ПМХА) и пробирки (ПМХБ).

Постановку положительного контроля проводили без дезинфицирующего средства, сравнением был контроль, которым являлась тест-культура без добавления дезинфицирующего раствора. Бактерицидную активность определяли по наименьшей концентрации дезинфицирующего средства, при которой отсутствовал рост тест-культуры (Рис 3).

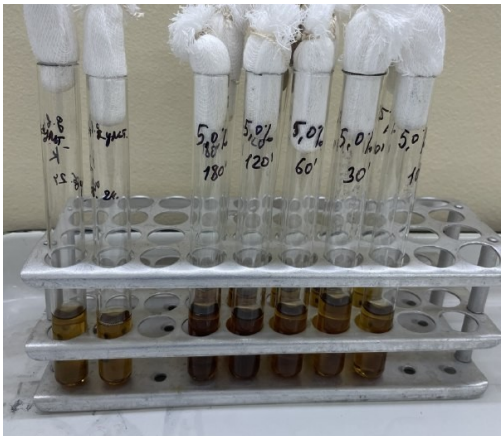


Рисунок 1 – Суспензионный метод (суспензия тест-штамма и рабочий раствор дезинфицирующего средства).

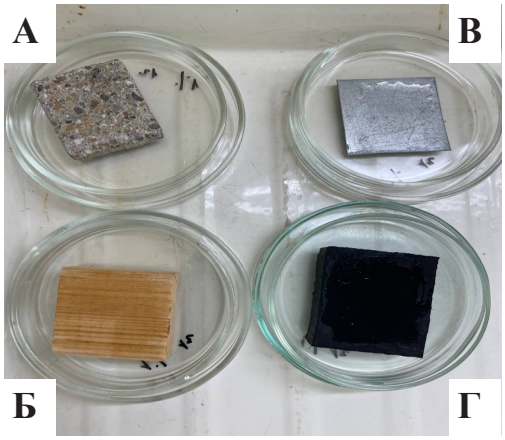


Рисунок 2 – Тест – объекты размером 5х5 см³
А, Б – шероховатая поверхность (бетон, дерево)
В, Г – гладкая поверхность (оцинкованная сталь, резина)

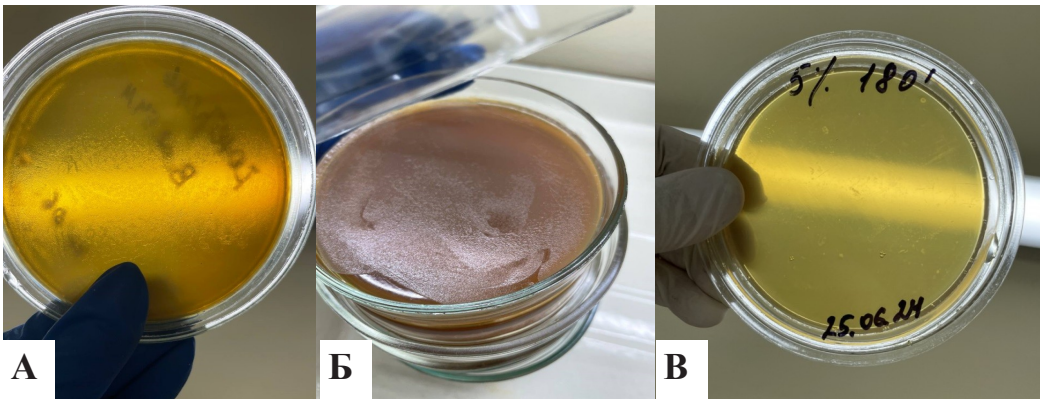


Рисунок 3 – Результаты микробиологического контроля эффективности дезинфицирующего средства на ПМХА.
А – Положительный контроль без дезинфицирующего средства - рост тест-культуры B. abortus 54 M.
Б – Рост тест-культуры на ПМХА при испытании дезинфицирующего средства в 1,0% концентрации при экспозиции 180 минут (не подавляет рост).
В – Отсутствие роста тест-культуры на ПМХА при испытании дезинфицирующего средства в 5,0% концентрации при экспозиции 180 минут (подавляет рост).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Проведенная работа по определению дезинфицирующей активности средства «Теотропин Р+» в жидких и на твердых питательных средах с применением вирулентного штамма *B. abortus* 54 М суспензионным методом показала, что оно обладает бактерицидной активностью в отношении тест-культуры в следующих концентрациях: 5 % при экспозициях 120 и 180 мин и 10 % при 10 - 180 минутах (Таблица 1).

Таблица 1 – Бактерицидная активность дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» в отношении тест-культуры суспензионным методом

Концентрация препарата (%)	Экспозиция препарата на взвесь тест - культуры (минут)				
	10	30	60	120	180
0,5	+	+	+	+	+
1	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+
5	+	+	+	-	-
10	-	-	-	-	-
Контроль	+	+	+	+	+

Примечание для таблиц №1,2,3: «+» - рост тест – культуры; «-» - отсутствие роста тест – культуры.

Таблица 2 – Бактерицидная активность дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» методом обезвреживания тест-объектов с шероховатой поверхностью, контаминированных тест-культурой

Тест-объект	Концентрация дезинфицирующего средства, %	Расход дезинфицирующего средства, л/м²	Экспозиция с дезинфицирующим средством, час		
			1	3	24
Дерево	0,5	0,5	+	+	+
	1	0,5	+	+	+
	3	0,5	+	+	-
	5	0,5	-	-	-
	10	0,5	-	-	-
Контроль	-	-	+	+	+
Бетон	0,5	0,5	+	+	+
	1	0,5	+	+	+
	3	0,5	+	+	-
	5	0,5	-	-	-
	10	0,5	-	-	-
Контроль	-	-	+	+	+

Таблица 3 – Бактерицидная активность дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» методом обезвреживания тест-объектов с гладкой поверхностью, контаминированных тест-культурой

Тест-объект	Концентрация дезинфицирующего средства, %	Расход дезинфицирующего средства, л/м²	Экспозиция с дезинфицирующим средством, час		
			1	3	24
Резина	0,5	0,25	+	+	+
	1	0,25	+	+	+
	3	0,25	+	-	-
	5	0,25	-	-	-
	10	0,25	-	-	-
Контроль	-	-	+	+	+
Оцинкованная сталь	0,5	0,25	+	+	+
	1	0,25	+	+	+
	3	0,25	+	-	-
	5	0,25	-	-	-
	10	0,25	-	-	-
Контроль			+	+	+

И в методе обезвреживания тест - объектов с белковой нагрузкой в виде нормальной инактивированной сыворотки в конечной 40 % концентрации: с шероховатой поверхностью (дерево, бетон) в следующих концентрациях: 3 % при экспозиции 24 часа и 5% и 10 % при экспозициях 1, 3 и 24 часа; с гладкой поверхностью (резина, оцинкованная сталь) в следующих концентрациях: 3 % при экспозициях 3 и 24 часа и 5% и 10 % при экспозициях 1, 3 и 24 часа (Таблица 2 и 3).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

По результатам проведенных исследований установлено, что данное средство обладает бактерицидной активностью в отношении возбудителей бруцеллеза, обеспечивая его инактивацию в суспензионном методе в следующих концентрациях: 5 % при экспозиции 2 часов и 10 % при 10 минутах.

При испытаниях тест – объектов, имитирующих животноводческие помещения методом обезвреживания определено, что обеззараживание шероховатых тест – поверхностей (бетон, дерево), было достигнуто, при однократной обработке 3%-ным раствором, при экспозиции 24 часа и 5% и 10 % при экспозициях 1 часа, при норме расхода 0,5 л/м². Обеззараживание тест – объектов с гладкой поверхностью (резина, оцинкованная сталь) происходило, при концентрациях: 3 % при экспозиции 3 часа и 5% и 10 % при экспозиции 1 час, при норме расхода 0,25 л/м².

Полученные данные по определению бактерицидной активности средства «Теотропин Р+» в отношении *B. abortus* 54 М суспензионным методом и методом обезвреживания тест-обьектов, позволяют рекомендовать его в ветеринарную практику как дезинфицирующее средство нового поколения, которое безопасно для окружающей среды.

DETERMINATION OF THE BACTERICIDAL ACTIVITY OF THE THEOTROPIN P+ DISINFECTANT AGAINST THE CAUSATIVE AGENT OF *BRUCELLA ABORTUS* 54M

Pankova E.V.[1] – Candidate of Biological Sciences., Leading Researcher (ORCID 0000-0003-4446-4619); **Mingaleev D.N.**[1]- Dr. of Veterinary Sciences., Professor (ORCID 0000-0001-7217-4083); **Months V.G.**[2] – Director; **Mustafina E.N.**[1] – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-1997-5575); **Melnikova L.A.**[1] – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000 -0003-4446-4619); **Nazmeev M.M.**[3] – Candidate of Technical Sciences, **Ravilov R.H.**[4] – Dr. of Veterinary Sciences., Professor.

[1] Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety»

[2] «BIOPHARM» Limited Liability Company

[3] Institute of Applied Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan

[4] Kazan State Agrarian University Institute "Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman"

**katerinka_ja@bk.ru*

Finansing: *The materials were prepared using the funds of the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety and LLC "Biopharm"as part of the terms of reference for the study of the bactericidal activity of the disinfectant "Theotropin R+" against the causative agent of brucellosis.*

ABSTRACT

The success of disinfection measures in the country depends on the availability of effective drugs to the veterinary industry. For this purpose, new drugs are being researched and tested. According to international regulations, they must be safe, highly effective and comply with generally accepted standards. In the article, the authors present research data aimed at determining the bactericidal activity of the Theotropin P+ disinfectant against the causative agent of brucellosis using the suspension method and the method of neutralizing contaminated surfaces of test objects (rubber, wood, galvanized steel, concrete) that mimic livestock facilities. The reference strain B was used in

the work. abortus 54M (test - culture), which was previously studied for its basic properties (tinctorial-morphological and cultural-morphological), cultivated on mowed liver-open-hearth agar with Hottinger's digest (PMHA) and liver-open-hearth broth with Hottinger's digest (PMHB) and the disinfectant "Theotropin P+" in the following concentrations 0.5%; 1%; 2%; 5%; 10% and exposures on test objects, in the first case 10; 30; 60; 120; 180 minutes, in the second – 1; 3; 24 hours. With positive (test culture) and negative (without test culture) controls. Studies have established that the Theotropin P+ product, being a new generation disinfectant, has bactericidal activity against the reference strain B. abortus 54M, the main properties of which are characteristic of this pathogen, ensuring its complete inactivation depending on the type of material of the surfaces to be disinfected. The data obtained allow us to recommend this product as a disinfectant in veterinary practice for disinfection of animal husbandry, infectious foci, transport infrastructure, warehouses, meat and dairy industries, privately and publicly owned, etc.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев Д.А., Хайруллин И.Н., Золотухин С.Н. и др. Изучение бактерицидного и бактериостатического действия Теотропина на микроорганизмы различной морфологической структуры // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии // 2011. С. 75 – 79.
2. Иванов Г.В., Журенко С.Г. Обеззараживание объектов ветеринарно санитарного надзора // РЖ Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии, 2009, № 2, с. 27.
3. Кабардиев, С.Ш., Карпущенко К.А., Амаев К.Г., Сайпуллаев М.С. Новые высокоэффективные дезинфицирующие препараты из отходов химической промышленности // Сборник научных трудов «Современные проблемы и перспективы развития аграрной науки // Махачкала, 2010. С. 399-402.
4. Кабардиев, С.Ш., Сайпуллаев М.С., Карпущенко К.А., Амаев К.Г. Дезинфекция объектов ветеринарного надзора отходами химической промышленности. // Материалы VII международной научно-практической конференции Prztmyse. 2011. С. 10-14.
5. Костюкова, Т.А. Практические аспекты выбора дезсредств / Т.А. Костюкова, М.Н. Ляпин, Т.А. Малюкова // Санитарная охрана территории государств СНГ: проблемы биологической безопасности и противодействия биотерроризму в современных условиях: материалы VI Межгосударственной науч. – практ. конф. государств – участников СНГ. – Волгоград. - 2005. – С. 249 – 250.
6. МУ 3.1.7.3402-16. Эпидемиологический надзор и лабораторная диагностика бруцеллеза: методические указания по методам контроля: официальное издание: утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 10 ноября 2016 г.: введены взамен МУ 3.1.7.1189-03 / разработаны Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральным казенным учреждением здравоохранения «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт» Роспотребнадзора. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2017. 60 с.
7. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59072-2020 «Средства дезинфицирующие. Суспензионный метод определения антимикробной активности» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 октября 2020 г. N 733-ст).
8. Руководство Р 4.2.3676-20 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 18 декабря 2020 г.).
9. Сайпуллаев, М.С. Производственное

испытание дезинфицирующего средства «Теотропин Р+» // Жур. Ветеринария сельскохозяйственных животных». 2013. №1. С.42-44.
10. Сайпуллаев, М.С., Кабардиев С.Ш., Карпущенко К.А. Койчуев А.У. Дезинфекционная эффективность препарата Теотропин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринаоной медицины им. Н.Э. Баумана. 2013. С. 1-4.
11. СанПиН 3.3686-21. Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: издание официальное: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ 28 января 2021 г. № 4: введены впервые: дата введения 2021-01-09 // Официальный электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573660140 (дата обращения: 15.11.2022).
12. Триленко, П.А. Бруцеллёз сельскохозяйственных животных. Л., «Колос». 1976. с. 279.

REFERENCES

1. Vasiliev D.A., Khairullin I.N., Zolotukhin S.N. and others. The study of the bactericidal and bacteriostatic effects of Theotropin on microorganisms of various morphological structures // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy // 2011. pp. 75-79.
2. Ivanov G.V., Zhurenko S.G. Disinfection of veterinary and sanitary surveillance facilities // Russian Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology, 2009, No. 2, p. 27.
3. Kabardiev, S.Sh., Karpushchenko K.A., Amaev K.G., Saipullaev M.S. New highly effective disinfectants from chemical industry waste // Collection of scientific papers "Modern problems and prospects of agricultural science development // Makhachkala, 2010. pp. 399-402.
4. Kabardiev, S.Sh., Saipullaev M.S., Karpushchenko K.A., Amaev K.G. Disinfection of veterinary inspection facilities with chemical industry waste. // Proceedings of the VII International Scientific and practical conference Prztmyse. 2011. pp. 10-14.
5. Kostyukova, T.A. Practical aspects of the choice of disinfectants / T.A. Kostyukova, M.N. Lyapin, T.A. Malyukova // Sanitary protection of the territory of the CIS states: problems of biological safety and countering bioterrorism in modern conditions: Materials of the VI Interstate Scientific and Practical Conference of the CIS member States. – Volgograd. -2005. – pp. 249-250.
6. MU 3.1.7.3402-16. Epidemiological surveillance and laboratory diagnostics of brucellosis: guidelines on control methods: official publication: approved by the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on November 10, 2016: introduced to replace MU 3.1.7.1189-03 / developed by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and human well-being, by the Federal Government Healthcare Institution Stavropol Scientific Research Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. 2017. 60 p.
7. National standard of the Russian Federation GOST R 59072-2020 "Disinfectants. Suspension method for determining antimicrobial activity" (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated October 1, 2020 No. 733-st).
8. Guideline R 4.2.3676-20 "Methods of laboratory research and testing of disinfectants to assess their effectiveness and safety" (approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare on December 18, 2020).
9. Saipullaev, M.S. Production testing of the disinfectant "Theotropin R+" // Journal. Veterinary medicine of farm animals". 2013. No. 1. pp.42-44.
10. Saipullaev, M.S., Kabardiev, S.S., Karpushchenko, K.A. Koichuev, A.U. Disinfection efficacy of the drug Theotropin // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bau-

man. 2013. pp. 1-4.
11. SanPiN 3.3686-21. Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases: sanitary and epidemiological rules and regulations: official publication: approved by Resolution No. 4 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on January 28, 2021: introduced for the first time: date of introduction 2021-01-09 // Official Electronic Fund of Legal and Regulatory Documents. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573660140 (date of reference: 11/15/2022).
12. Trilenko, P.A. Brucellosis of farm animals. L., "Kolos". 1976. p. 279.

УДК: 619:616.513:582.28
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.180

ИЗУЧЕНИЕ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО АНТИМИКОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА

Мусин Р.Р. * – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. лаборатории ветеринарной биотехнологии (ORCID 0009-0009-4538-2667); **Ганиев И.М.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории ветеринарной биотехнологии (ORCID 0000-0002-6171-5347); **Гайнуллин Р.Р.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией ветеринарной биотехнологии (ORCID 0000-0002-7411-0005); **Тремасова А.М.** – д-р. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории ветеринарной биотехнологии (ORCID 0000-0002-1706-134X); **Идиятов И.И.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории ветеринарной биотехнологии (ORCID 0000-0001-9279-4001); **Ерошин А.И.** – науч. сотр. лаборатории ветеринарной биотехнологии (ORCID 0000-0002-3108-410X); **Шакирова Э.Р.** – мл. науч. сотр. лаборатории ветеринарной биотехнологии (ORCID 0009-0005-8877-4741).

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

* musinrifkat@mail.ru

***Ключевые слова**: дерматофитозы, острая токсичность, животные, антимикотический препарат, белые крысы, мыши*

***Keywords**: dermatophytosis, acute toxicity, animals, antimycotic drug, white rats, mice*

Поступила: 15.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Проведение доклинических исследований является важным этапом для внедрения новых фармакологических препаратов в клиническую практику. Обязательным условием при этом остается проведение токсикологических исследований. В статье представлены результаты изучения параметров острой токсичности нового антимикотического препарата «Фунгикор». Опыты проведены на лабораторных нелинейных белых крысах и мышах. Исследовали острую токсичность препарата при внутрижелудочном, подкожном введениях и накожном нанесении. Установлено, что диапазон доз препарата от 4000 до 10000 мг/кг массы тела для мышей и от 4000 до 12000 мг/кг массы тела для крыс при внутрижелудочном введении не приводил к гибели лабораторных животных. Показатели жизнедеятельности находились в пределах физиологической нормы и не отличались от значений контрольных животных. Максимальная переносимая доза (МПД) «Фунгикора» для мышей и крыс составила 10000 мг/кг и 12000 мг/кг массы тела соответственно. Подкожное введение в дозах от 4000 до 8000 мг/кг массы тела для мышей и от 4000 до 10000 мг/кг массы тела для крыс также не выявило негативного влияния препарата на общее состояние экспериментальных животных. Максимальная пере-

носимая доза при этом составила 8000 мг/кг и 10000 мг/кг массы тела соответственно. При исследовании накожной токсичности препарата в дозах от 1500 до 15000 мг/кг массы тела гибели подопытных мышей и крыс не отмечали. В связи с вышеизложенным, можно заключить, что препарат «Фунгикор» согласно ГОСТ 12.1.007-76 относится к IV классу опасности (вещества малоопасные).

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Зооантропонозные грибковые инфекции кожных покровов (дерматофитозы) являются распространенными заболеваниями среди домашних и сельскохозяйственных животных во многих странах и характеризуются поражением кожи и её придатков, воспалительными явлениями, обламыванием и выпадением шерсти. Снижение иммунитета является одним из факторов, способствующих возникновению болезни. Дерматофиты продуцируют протеолитические и кератолитические ферменты, благодаря чему могут проникать в роговой слой эпидермиса и его производные, вызывая их разрушение [1-4].

Возбудители дерматофитозов распространены повсеместно. Основным местом их обитания является почва [5, 6]. С ростом численности бездомных животных, являющихся основным источником возбудителя инфекции, возрастает и количество заболевших домашних и сельскохозяйственных животных.

Для лечения поверхностных грибковых инфекций (дерматофитозов) у животных разработано новое комплексное антимикотическое средство «Фунгикор». Эфирные масла, которые входят в состав препарата обладают антимикробными и противогрибковыми свойствами. Вспомогательные компоненты препарата оказывают дерматопротекторное и противовоспалительное действие.

Важным этапом доклинических исследований является изучение токсических свойств новых лекарственных средств [7-11]. Данное исследование позволяет определить степень безопасности препарата и класс токсичности.

Цель исследования – изучение острой токсичности нового противогрибкового препарата «Фунгикор».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводили на нелинейных белых крысах (живой массой от 180 до 220 г) и мышах (живой массой от 18 до 20 г) обоего пола, которых разделили на опытные и контрольные группы. На первом этапе экспериментов препарат «Фунгикор» вводили однократно внутрижелудочно (при помощи внутрижелудочного зонда) в дозах от 4000 до 24000 мг/кг массы тела животного.

Во второй фазе исследований препарат вводили однократно подкожно в диапазоне доз от 4000 до 22000 мг/кг массы тела.

Параметры острой накожной токсичности изучали путем однократного нанесения «Фунгикора» на предварительно выстриженные участки боковой поверхности туловища животных в дозах от 1500 до 15000 мг/кг массы тела.

Для животных контрольных групп использовали дистиллированную воду.

За всеми группами опытных и контрольных животных наблюдали в течение 14 суток [12].

Класс опасности (токсичности) разработанного средства определяли с учетом классификации токсичности по И. В. Березовской и И. В. Саноцкого [13, 14] и в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 [15].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel. Достоверными считали различия сравниваемых показателей при 95 % доверительной вероятности ($p \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Случаев гибели при однократном внутрижелудочном введении препарата мышам в дозах от 4000 до 10000 мг/кг массы тела и крысам от 4000 до 12000 мг/кг массы тела отмечено не было. Физиологическое состояние данных групп животных было в пределах нормы. При патологоанатомическом вскрытии изменений во внутренних органах отмечено не

было.

Дальнейшее повышение дозы «Фунгикора» от 10000 до 20000 мг/кг массы тела для мышей и от 12000 до 24000 мг/кг массы тела для крыс приводило к общему угнетению, животные становились вялыми, аппетит снижался. Наблюдали гибель некоторых животных через 2-3 суток.

У павших животных отмечали характерные изменения: слизистая желудка была гиперемирована, в печени и почках обнаружено умеренное кровенаполнение и незначительное увеличение их размеров.

Максимальная переносимая доза (МПД) препарата для мышей составила 10000 мг/кг, $ЛД_{16}$ – 12107 мг/кг, $ЛД_{50}$ – 14826 мг/кг, $ЛД_{84}$ –18156 мг/кг, $ЛД_{100}$ – 20000 мг/кг (рисунок 1, таблица 1).

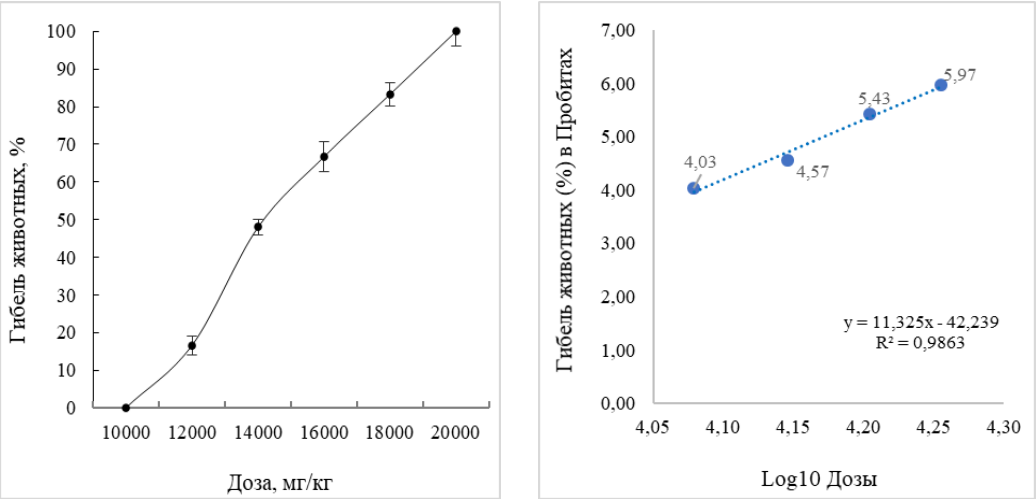


Рисунок 1 – Кривые острой токсичности препарата «Фунгикор» для мышей при внутрижелудочном введении.

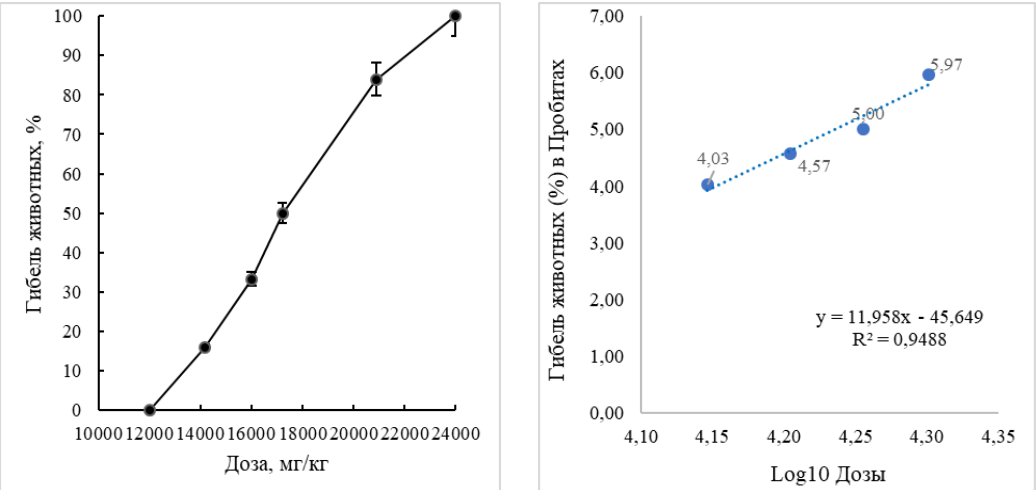


Рисунок 2 – Кривые острой токсичности препарата «Фунгикор» для крыс при внутрижелудочном введении.

Таблица 1 – Показатели острой токсичности препарата «Фунгикор» при внутрижелудочном введении лабораторным животным

Вид животных	Показатели токсичности, мг/кг				
	МПД	$ЛД_{16}$	$ЛД_{50}$	$ЛД_{84}$	$ЛД_{100}$
Мыши	10000±206,1	12107±194,2	14826±365,3	18156±374,3	20000±412,3
Крысы	12000±247,4	14189±292,5	17218±384,9	20893±430,7	24000±494,8

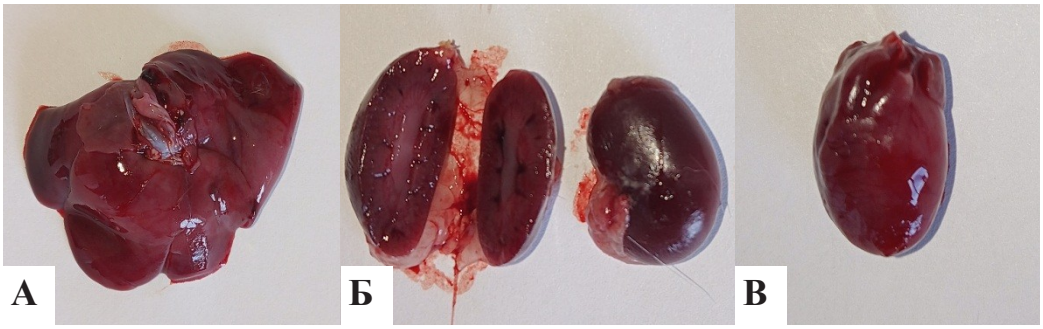


Рисунок 3 – Внутренние органы крысы при внутрижелудочном введении препарата «Фунгикор» в максимальной переносимой дозе 12000 мг/кг массы тела. а – печень; б – почки; в – сердце.

Определение значений токсических доз после однократного внутрижелудочного введения препарата крысам показало, что МПД составила 12000 мг/кг, $ЛД_{16}$ – 14189 мг/кг, $ЛД_{50}$ – 17218 мг/кг, $ЛД_{84}$ – 20893 мг/кг, $ЛД_{100}$ – 24000 мг/кг (рисунок 2, таблица 1). Далее было проведено изучение острой токсичности «Фунгикора» при подкожном введении. Препарат вводили мышам и крысам в диапазоне доз от 4000 до 22000 мг/кг массы тела животного (рисунки 4, 5).

При этом было установлено, что «Фунгикор» в дозах от 4000 до 8000 мг/кг массы тела (мышам) и от 4000 до 10000 мг/кг массы тела (крысам) не оказывал негативного воздействия. Состояние животных было удовлетворительным. При вскрытии патологоанатомических изменений во внутренних органах не отмечено (рисунок 6).

Однако при более высоких дозах препарата (от 8000 до 16000 мг/кг для мышей и от 10000 до 20000 мг/кг для крыс) характер интоксикации животных был идентичен картине отравления их при внутрижелудочном введении средства. Наблюдалась гибель животных.

Параметры токсичности «Фунгикора» при подкожном введении мышам составили: МПД – 8000 мг/кг; $ЛД_{16}$ – 9720 мг/кг; $ЛД_{50}$ – 12461 мг/кг; $ЛД_{84}$ – 15975 мг/кг; $ЛД_{100}$ – 18000 мг/кг.

При подкожном введении крысам показатели токсичности препарата составили: МПД – 10000 мг/кг; $ЛД_{16}$ – 10308 мг/кг; $ЛД_{50}$ – 13815 мг/кг; $ЛД_{84}$ – 18513 мг/кг; $ЛД_{100}$ – 22000 мг/кг (таблица 2).

При накожном нанесении испытуемого препарата в дозах от 1500 до 15000 мг/кг массы тела было выявлено, что основные показатели жизнедеятельности опытных животных находились в пределах физиологической нормы. Общее состояние было удовлетворительным, физиологические параметры организма не отличались от значений животных контрольной группы. Определить параметры токсичности препарата при накожном нанесении не представлялось возможным, так как в исследуемых дозах гибели лабораторных животных не отмечали.

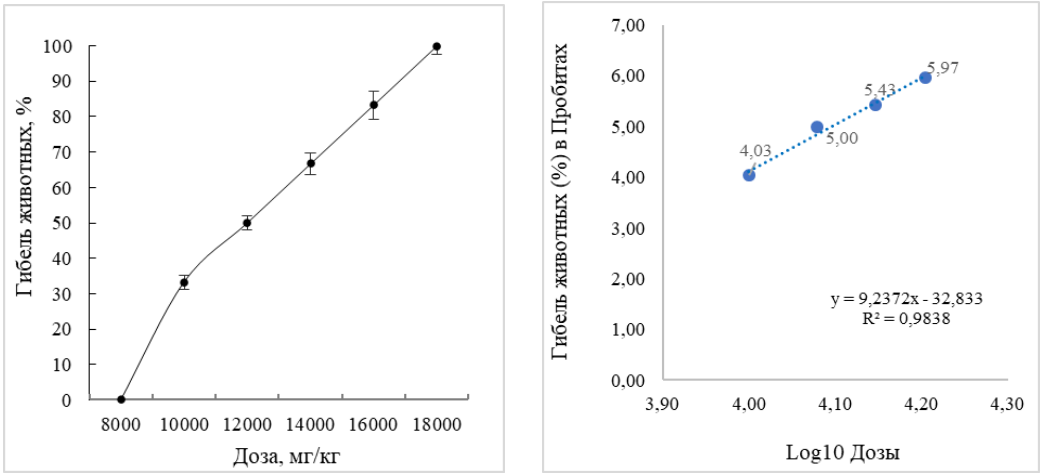


Рисунок 4 – Кривые острой токсичности препарата «Фунгикор» для мышей при подкожном введении.

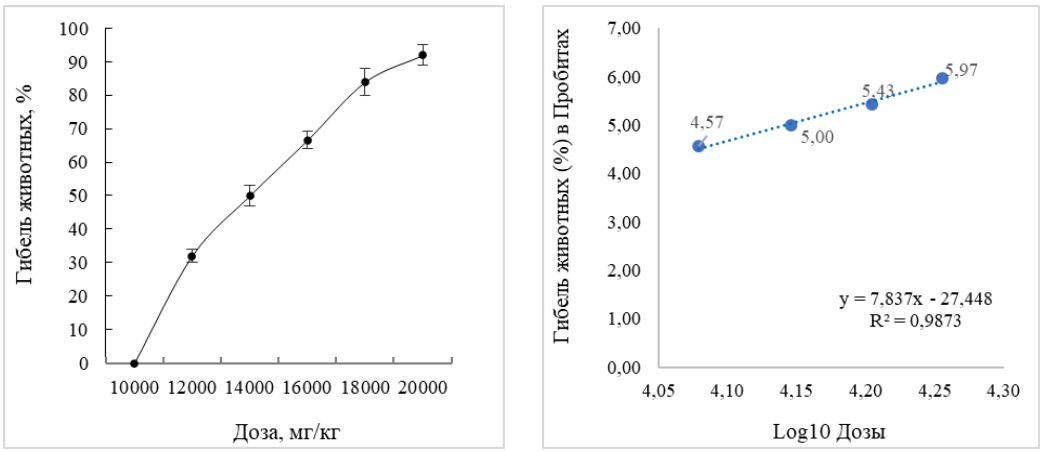


Рисунок 5 – Кривые острой токсичности препарата «Фунгикор» для крыс при подкожном введении.

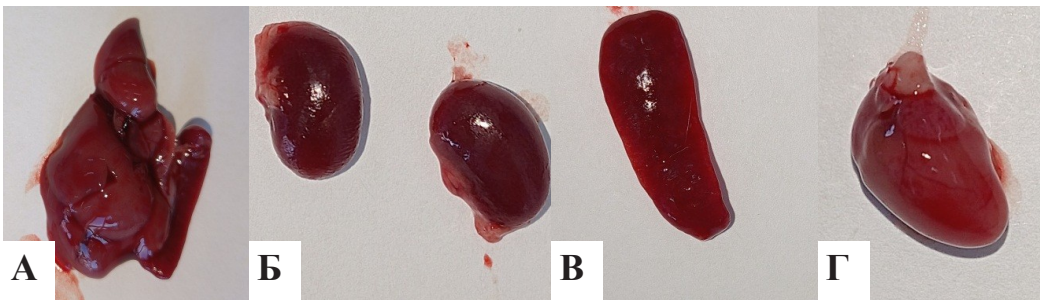


Рисунок 6 – Внутренние органы крысы при подкожном введении препарата «Фунгикор» в максимальной переносимой дозе 10000 мг/кг массы тела а – печень; б – почки; в – селезенка; г – сердце.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результаты изучения параметров острой токсичности показали, что разработанный препарат «Фунгикор» не обладает токсичностью и, согласно ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация и общие требования безопасности» по параметрам острой токсичности относится к 4-й категории опасности (вещества малоопасные).

STUDY OF ACUTE TOXICITY OF A COMPLEX ANTIMYCOTIC DRUG

Musin R.R. * – Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0009-0009-4538-2667); **Ganiev I.M.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0000-0002-6171-5347); **Gainullin R.R.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0000-0002-7411-0005); **Tremasova A.M.** – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0000-0002-1706-134X); **Idiyatov I.I.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0000-0001-9279-4001); **Eroshin A.I.** – Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0000-0002-3108-410X); **Shakirova E.R.** – Junior Researcher at the Laboratory of Veterinary Biotechnology (ORCID 0009-0005-8877-4741).

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

* musinrifkat@mail.ru

ABSTRACT

Conducting preclinical studies is an important stage for the introduction of new pharmacological drugs into clinical practice. A prerequisite for this is to conduct toxicological studies. The article presents the results of studying the parameters of acute toxicity of the new antimycotic drug "Fungicor". The experiments were conducted on laboratory nonlinear white rats and mice. The acute toxicity of the drug was studied with intragastric, subcutaneous and subcutaneous administration. It was found that the dose range of the drug from 4000 to 10000 mg / kg body weight for mice and from 4000 to 12000 mg / kg body weight for rats with intragastric administration did not lead to the death of laboratory animals. The vital signs were within the physiological norm and did not differ from the values of the control animals. The maximum tolerated dose (MTD) of "Fungicor" for mice and rats was 10,000 mg/kg and 12,000 mg/kg body weight, respectively. Subcutaneous administration in doses from 4000 to 8000 mg / kg body weight for mice and from 4000 to 10000 mg / kg body weight for rats also did not reveal a negative effect of the drug on the general condition of experimental animals. The maximum tolerated dose was 8000 mg/kg and 10000 mg/kg, respectively. When studying the cutaneous toxicity of the drug in doses from 1500 to 15000 mg / kg of body weight, the death of experimental mice and rats was not noted. In connection with the above, it can be concluded that the drug "Fungicor" according to GOST 12.1.007-76 belongs to hazard class IV (low-risk substances).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ханис, А. Ю. Трихофития крупного рогатого скота / А. Ю. Ханис, А. М. Гафурова // Успехи медицинской микологии. – 2019. – Т. 20 – С.699-705.

2. Мусин, Р. Р. Бессимптомное миконосительство как потенциальный риск дерматофитозов / Р. Р. Мусин, Рин. С. Мухаммадиев, В. Ю. Титова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 12 (218). – С. 104-109.

3. Мухаммадиев, Рин. С. Изучение антимикотической активности веществ в отношении дерматофитов рода Microsporum / Рин. С. Мухаммадиев, Р. Р. Мусин, Титова В. Ю. [и др.] // Ветеринарный врач. – 2023. – № 2. – С. 23–27. DOI: 10.33632/1998-698X_2023_2_23.

4. Segal, E. Human and zoonotic dermatophytoses: epidemiological aspects / E. Segal,

D. Elad // Frontiers in Microbiology. –2021. – Vol. 12. – P. 71–92.
5. Takatori, K. Isolation of Trichophyton verrucosum from lesional and non-lesional skin in calves / K. Takatori, A. Takahashi, S. Kawai // J. Vet. Med. Sci. – 1993. – Vol. 55 (2). – P. 343-344.
6. Иванова, Л. В. Резистентность грибов-патогенов к антимикотикам / Л. В. Иванова, Е. П. Баранцевич, Е. В. Шляхто // Проблемы медицинской микологии. – 2011. – Т. 13. – № 1. – С. 14-17.
7. Мусин, Р.Р. Оценка эмбриотоксического и тератогенного действия нового комплексного антимикотического препарата / Р.Р. Мусин, И.М. Ганиев, А.М. Тремасова, И.И. Идиятов, А.И. Ерошин, Э.Р. Шакирова / Международный вестник ветеринарии. 2024.- № 4.- С. 100-106.
8. Ерошин, А. И. Изучение эмбриотоксического действия препарата «Эндосептам» /А. И. Ерошин, А. М. Тремасова, В. В. Бирюля [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 88-94. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.2.88.
9. Мусин, Р. Р. Оценка острой накожной токсичности антимикотического средства / Р. Р. Мусин, Рин. С. Мухаммадиев, И. М. Ганиев [и др.] // Инновационные решения актуальных вопросов биологической и токсикологической безопасности: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Казань. – 2023. – С. 286-290.
10. Мишина, Н. Н. Исследование острой токсичности кормовой добавки «Комплисорбин» на белых крысах / Н. Н. Мишина, Э. И. Семенов, Д. В. Алеев [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (53). – С. 99-106.
11. Определение острой токсичности силосной кормовой добавки микробиологического происхождения / А.И. Ерошин, И.И. Идиятов, А.М. Тремасова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. − 2023. − Т. 253, № 1. − С. 93−97.
12. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая / под ред. А. Н. Миронова. М.: Гриф и К. 2012. – 944 с.
13. Березовская, И. В. Классификация химических веществ по параметрам острой токсичности при парентеральных способах введения // Хим. фарм. журн. – 2003. – Т. 37. – № 3. С. 32–34.
14. Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия) / под ред. И. В. Саноцкого. М.: Медицина. – 1970. – С. 343.
15. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Стандартинформ. – 1977. – 7 с.

REFERENCES

1. Khanis, A. Y. Trichophytosis of cattle / A. Y. Khanis, A.M. Gafurova // Successes of medical mycology. – 2019. – Vol. 20 – P. 699-705. (In Russ.)
2. Musin, R. R. Asymptomatic mycosis as a potential risk of dermatophytosis / R. R. Musin, R. S. Mukhammadiev, V. Y. Titova [et al.] // Bulletin of the Altai State Agrarian University. – 2022. – № 12 (218). – P. 104-109. (In Russ.)
3. The study of the antimycotic activity of substances against dermatophytes of the genus Microsporum / Rin. S. Mukhammadiev, R. R. Musin, V. Yu. Titova [et al.] // Veterinarian. – 2023. – No 2. – P. 23–27. DOI: 10.33632/1998-698X_2023_2_23. (In Russ.)
4. Segal, E. Human and zoonotic dermatophytoses: epidemiological aspects / E. Segal, D. Elad // Frontiers in Microbiology. –2021. – Vol. 12. – P. 71–92.
5. Takatori, K. Isolation of Trichophyton verrucosum from lesional and non-lesional skin in calves / K. Takatori, A. Takahashi, S. Kawai // J. Vet. Med. Sci. – 1993. – Vol. 55 (2). – P. 343-344.
6. Ivanova, L. V. The resistance of fungal pathogens to antibiotics / L. V. Ivanova, E. P. Barantsevich, E. V. Shlyakhto // Problems of medical mycology. – 2011. – Vol. 13. – No. 1. – P. 14-17. (In Russ.)

7. Musin, R.R. Evaluation of the embryotoxic and teratogenic effects of a new complex antimycotic drug / R.R. Musin, I.M. Ganiev, A.M. Tremasova, I.I. Idiatov, A.I. Eroshin, E.R. Shakirova / International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024.- No. 4. – P. 100-106. (In Russ.)
8. The study of the embryotoxic effect of the drug "Endoseptam" / A. I. Eroshin, A. M. Tremasova, V. V. Birulya [et al.] // International Journal of Veterinary Medicine. – 2024. – No. 2. – P. 88-94. – DOI: 10.52419/issn 2072-2419.2024.2.88. (In Russ.)
9. Musin, R. R. Assessment of acute cutaneous toxicity of an antimycotic agent / R. R. Musin, R. S. Mukhammadiev, I. M. Ganiev [et al.] // Innovative solutions to topical issues of biological and toxicological safety: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Kazan. – 2023. – P. 286-290. (In Russ.)
10. Mishina, N. N. Study of acute toxicity of the feed additive "Complisorbin" on white rats / N. N. Mishina, E. I. Semenov, D. V. Aleev [et al.] // Bulletin of Omsk State Agrarian University. – 2024. – № 1 (53). – P. 99-106. (In Russ.)
11. Determination of acute toxicity of a silage feed additive of microbiological origin / A. I. Eroshin, I. I. Idiyatov, A.M. Tremasova // Scientific notes of the Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine. − 2023. −Vol. 253, Iss. 1. − P. 93−97. (In Russ.)
12. Mironov, A. N. Guidelines for conducting preclinical studies of medicines. Part one. / A. N. Mironov – M. : Vulture and K, 2012. – 944 p. (In Russ.)
13. Berezovskaya, I. V. Classification of chemicals by parameters of acute toxicity with parenteral methods of administration // Chemical-pharm. Journal, 2003, Vol. 37, № 3. – P. 32-34. (In Russ.)
14. Methods for determining the toxicity and danger of chemicals (toxicometry) / Edited by I. V. Sanotsky, Moscow: Medicine, 1970, p. 343. (In Russ.)
15. GOST 12.1.007-76. A system of occupational safety standards. Harmful substances. Classification and general safety requirements. Moscow: Standartinform, 1977. – 7 p. (In Russ.)

УДК: 591.111.7:636.5.034:615.33
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.188

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭРИТРОЦИТОВ ЦЫПЛЯТ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭНРОФЛОКСАЦИНА В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*: ДОЗОЗАВИСИМЫЙ ЭФФЕКТ

Присный А.А.* – д-р биол. наук, гл. науч. сотр. Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0001-5229-4576); **Гребцова Е.А. –** канд. биол. наук, доц. каф. биологии НИУ «БелГУ» (ORCID 0009-0007-0768-0490); **Скворцов В.Н. –** д-р ветеринар. наук, руководитель Белгородского филиала ВИЭВ (ORCID 0000-0002-9629-0000); **Юрин Д.В.** – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-9380-4136)

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, эритроциты, энрофлоксацин, морфометрия*.

Key words: *chickens, blood, red blood cells, enrofloxacin, morphometry*.

Поступила: 31.07.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Фторхинолоновые препараты могут оказывать влияние на клетки организма млекопитающих и птиц. Одним из ключевых механизмов такого воздействия является способность фторхинолонов индуцировать окислительный стресс за счет генерации активных форм кислорода, что приводит к повреждению клеточных структур. В представленном исследовании изучено влияние различных концентраций энрофлоксацина на морфометрические параметры эритроцитов цыплят кросса «Хайсекс Браун» *in vitro*. Энрофлоксацин, представитель фторхинолонов, обладает не только антибактериальными свойствами, но и способен индуцировать окислительный стресс, приводя к повреждению клеточных структур. Отбор крови проводили методом внутрисердечной пункции. Отобранные пробы стабилизировали с использованием гепарина. Инкубацию эритроцитов в растворах осуществляли в течение 60 секунд, после чего изготавливали мазок на обезжиренном стекле. В мазках, окрашенных по Романовскому-Гимзе, оценены размеры длинной и короткой осей клеток и их ядер. Оценены изменения объема, площади поверхности эритроцитов, а также ядерно-цитоплазматического отношения под действием энрофлоксацина в концентрациях 0,05%, 50 мкл/л, 5 мкл/л, 0,5 мкл/л и 0,3 мкл/л. Контрольные группы включали эритроциты в аутологичной плазме и изотоническом растворе (0,93% NaCl) без добавления антимикробного препарата. Энрофлоксацин вызывает дозозависимые изменения морфологии

эритроцитов. Наибольшее увеличение объема (более 20%) и площади поверхности (14%) зафиксированы при концентрациях 5 мкл/л и 0,05%. При терапевтической дозе (0,3 мкл/л) изменения были менее выражены (увеличение объема на 11%, площади на 7%). Парадоксальное снижение эффекта при увеличении концентрации до 50 мкл/л обусловлено нелинейной зависимостью токсичности фторхинолонов от дозы. Уменьшение ядерно-цитоплазматического на 23% в группах с 0,1% и 10 мкл/л обусловлено преимущественно набуханием клетки.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Помимо антибактериального действия, фторхинолоновые препараты могут оказывать влияние и на клетки организма млекопитающих и птиц. Одним из ключевых механизмов такого воздействия является способность фторхинолонов индуцировать окислительный стресс за счет генерации активных форм кислорода, что приводит к повреждению клеточных структур, включая липиды и белки мембран, а также ДНК [1].

Способность антимикробных препаратов к взаимодействию с липидными бислоями ведет к изменению проницаемости и текучести мембран. Данный эффект сопровождается нарушением осмотического баланса. В большинстве клеток осмотический стресс вызывает выраженное повышение уровня ионов кальция в цитоплазме [2], что оказывает существенное влияние на работу ионных каналов, а обмен осмолятов во время регуляции объёма изменяет химическое окружение цитоскелета. Дестабилизация цитоскелета ведет к снижению устойчивости клеток к деформации.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных влиянию фторхинолонов на клетки млекопитающих, их воздействие на эритроциты птиц изучено недостаточно. В дополнение к примембранной сети из спектрина и актина, эритроциты птиц обладают цитоплазматическим цитоскелетом, который плотно соединяет их плазматическую мембрану с ядром, что делает данные клетки уникальной моделью для изучения механизмов действия антимикробных препаратов [3, 4, 5, 6, 7].

Целью данного исследования является изучение влияния различных концентраций энрофлоксацина на морфометрические параметры эритроцитов цыплят в условиях in vitro.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследованы морфометрические параметры эритроцитов цыплят кросса «Хайсекс Браун» под влиянием энрофлоксацина в дозировках 0,05%, 50 мкл/л, 5 мкл/л, 0,5 мкл/л, 0,3 мкл/л. Концентрация 0,3 мкл/л была выбрана как соответствующая уровню исследуемого антимикробного препарата в плазме крови при его применении в терапевтической дозе. Контрольными группами служили клетки аутологичной плазмы, и эритроциты, инкубированные в изотоническом растворе (0,93% NaCl) без добавления энрофлоксацина.

Отбор крови проводили методом внутрисердечной пункции. Отобранные пробы стабилизировали с использованием гепарина. Инкубацию эритроцитов в растворах осуществляли в течение 60 секунд, после чего изготавливали мазок на обезжиренном стекле.

В мазках, окрашенных по Романовскому-Гимзе, оценены размеры длинной и короткой осей клеток и их ядер. Определены площадь поверхности и объем эритроцитов с помощью следующих формул [8]:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - (\frac{b}{a})^2},$$

где ε – коэффициент эксцентричности эритроцита, a – величина длинной полуоси эритроцита, b – величина короткой полуоси эритроцита;

$$V = \frac{4}{3}\pi a b^2,$$

где V – объем эритроцита (μm^3);

$$S = 2\pi b(b + \frac{a}{\varepsilon}\arcsin\varepsilon),$$

где S – площадь поверхности эритро-

цита (μm^2).

Проведен сравнительный анализ ядерно-цитоплазматического отношения (ЯЦО) интактных эритроцитов и подвергшихся воздействию энрофлоксацина. ЯЦО определяли по формуле:

$$ЯЦО = \frac{S_я}{S_ц},$$

где $S_я$ – площадь ядра, $S_ц$ – площадь цитоплазмы.

Статистическая обработка числовых данных включала расчет среднего значения (*M*) и стандартной ошибки среднего (*m*) с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Статистическую значимость различий оценивали с применением непараметрического U-критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Объем и площадь поверхности эритроцитов в аутологичной плазме и изотоническом растворе не имели статистически значимых отличий (таблица 1). Инкубация клеток в растворах с концентрацией энрофлоксацина 0,3 мкл/л и 0,5 мкл/л характеризовалась идентичными эффектами – увеличением объема на 11%, а площади на 7%.

Примечательно, что в растворах энрофлоксацина 5 мкл/л и 0,05% зафиксирован максимальный рост показателей объема эритроцитов (более, чем на 20%) и площади поверхности эритроцитов (на 14%). Эффект раствора с промежуточной концентрацией энрофлоксацина 50 мкл/л, аналогичен терапевтической дозе. Фторхинолоны могут проявлять парадоксальное действие, при котором при увеличении концентрации препарата выше определенного порога его эффективность снижается [1, 9]. Это может быть причиной более мощного влияния на морфометрические показатели эритроцитов дозировки энрофлоксацина 5 мкл/л по сравнению с раствором 50 мкл/л.

Вероятно, что разные концентрации фторхинолонов имеют разные механизмы действия на эритроциты. Важно отметить, что быстрое повышение токсичности происходит после достижения заданной концентрации фторхинолонового препарата, которая лишь немного превышает терапевтическую [10]. Существует пороговая концентрация, при которой клетки начинают активно реагировать на воздействие антимикробного препарата. Так при концентрации, соответствующей терапевтической, фторхинолон может влиять на клетки через один механизм, – например, через умеренное нарушение осмотического баланса. Существенное повышение выработки активных форм кислорода, которое способно привести к серьёзным последствиям, начинается при концентрациях, примерно в 10 раз превышающих терапевтические [10]. При концентрации 5 мкл/л этот критический порог может быть достигнут, что приведет к активации другого механизма – окислительного стресса, ведущего к повреждению цитоскелета.

Исследованиями F. Sachs (2010) показано, что цитоскелет принимает на себя значительную часть осмотического давления и только лишь небольшая часть приходится на мембрану. В свою очередь, дестабилизация цитоскелета, отделение его от мембранного липидного бислоя приводит к формированию пузырьков между плазмалеммой и цитоскелетом, и, соответственно, к потере формы и увеличению объема клетки [11].

Объем ядра клеток в аутологичной плазме составил 17,7±0,43 μm^3, а площадь поверхности – 39,1±0,54 μm^2. Во всех остальных растворах, включая инкубацию в изотоническом растворе без добавления энрофлоксацина, отмечено уменьшение размеров ядра на 13%. Статистически значимые изменения, вызванные добавлением энрофлоксацина зафиксированы только в растворе 0,5 мкл/л. Поскольку ядро меньше по размерам, его площадь поверхности относительно объема будет больше, чем у всей клетки. Это связано с тем, что для малых объектов отношение площади к объему увеличивается.

Статистически значимое снижение ядерно-цитоплазматического отношения энрофлоксацин вызвал в двух концентрациях: 0,1% и 10 мкл/л (рис. 1).

Показатель снизился на 23%, при этом, основной вклад в данное изменение внесло именно увеличение размеров цитоплазмы, а не уменьшение размеров ядра. Терапевтическая доза энрофлоксацина производит эффект, аналогичный изотоническому раствору.

Таблица 1 – Морфометрические параметры эритроцитов цыплят в растворах энрофлоксацина различной концентрации

Раствор	Объём эритроцита, μm^3	Площадь поверхности эритроцита, μm^2	Объём ядра эритроцита, μm^3	Площадь поверхности ядра эритроцита, μm^2
Аутологичная плазма	247,8±3,43	229,6±2,06	17,7±0,43	39,1±0,54
Изотонический раствор	248,6±3,57	228,9±2,15	15,3±0,31	35,6±0,46
0,05 % раствор энрофлоксацина	306,1±2,83*	262,8±1,58*	15,9±0,29	36,6±0,43
50 мкл/л	275,7±3,31*	245,7±1,92*	15,7±0,26	36,2±0,39
5 мкл/л	300,1±3,32*	260,0±1,88*	15,7±0,26	36,3±0,39
0,5 мкл/л	273,9±2,83*	245,1±1,62*	14,8±0,24	34,8±0,36
0,3 мкл/л	272,8±2,83*	244,7±1,65*	16,9±0,27	38,3±0,39

*Примечание: * – статистически достоверные различия между значениями параметров клеток в изотоническом растворе и растворах энрофлоксацина по U-критерию Манна-Уитни при p<0,05.*

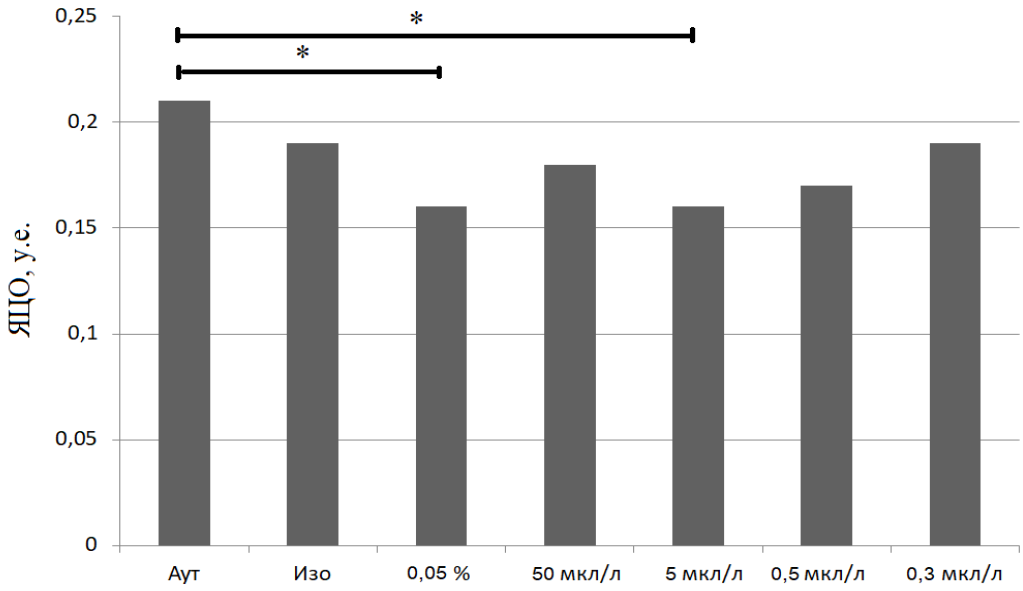


Рисунок 1 – Влияние различных концентраций энрофлоксацина на ядерно-цитплазматическое отношение (ЯЦО) эритроцитов цыплят.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результаты исследования демонстрируют, что энрофлоксацин оказывает значительное влияние на морфометрические параметры эритроцитов цыплят в условиях *in vitro*. Увеличение объема и площади поверхности клеток в группе с 0,05 % энрофлоксацином может быть связано с повреждением плазмалеммы под действием препарата, нарушением осмотического баланса и дестабилизацией цитоскелета. Это согласуется с данными о том, что антимикробные препараты, могут индуцировать окислительный стресс и повреждать липидный бислой мембран [12].

Фторхинолоны могут проявлять парадоксальное действие, при котором при увеличении концентрации препарата выше определенного порога его эффективность снижается. Это объясняет причину более мощного воздействия раствора с концентрацией 5 мкл/л по сравнению с 50 мкл/л. Наибольший вклад в снижение показателя ядерно-цитоплазматического отношения вносило, в первую очередь, набухание клетки.

MORPHOMETRIC PARAMETERS OF CHICKEN ERYTHROCYTES UNDER THE INFLUENCE OF ENROFLOXACIN *IN VITRO* CONDITIONS: DOSE-DEPENDENT EFFECT

Prisnyi A.A.* – Dr. Biol. Sci., Principal Researcher FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000-0001-9380-4136); **Grebtsova E.A.** – Kand. Biol. Sci., associate professor "Belgorod State National Research University" (ORCID 0009-0007-0768-0490); **Skvortsov V.N. –** Dr. Vet. sci., Head of Belgorod Department of FGBNU "Federal Scientific Centre VIEV" (ORCID 0000-0002-9629-0000); **Yurin D.V.** – Leading Researcher (ORCID 0000-0001-9380-4136)

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»

*andreyprisny@gmail.com

ABSTRACT

Fluoroquinolone drugs can affect the cells of the mammalian and avian body. One of the key mechanisms of this effect is the ability of fluoroquinolones to induce oxidative stress by generating reactive oxygen species, which can lead to damage to cellular structures. The study investigated the effects of various concentrations of enrofloxacin on morphometric parameters of erythrocytes from «Hisex Brown» chickens in vitro. Enrofloxacin, a fluoroquinolone antibiotic, exhibits not only antibacterial properties but can also induce oxidative stress leading to cellular structural damage. Blood samples were collected via cardiac puncture and stabilized with heparin. Erythrocytes were incubated in test solutions for 60 seconds, followed by preparation of blood smears on degreased slides. Romanowsky-Giemsa stained smears were used to measure major and minor axes of cells and their nuclei. Changes in erythrocyte volume, surface area, and nuclear-cytoplasmic ratio were evaluated following exposure to enrofloxacin at concentrations of 0.05%, 50 µl/l, 5 µl/l, 0.5 µl/l, and 0.3 µl/l. Control groups included erythrocytes in autologous plasma and isotonic saline (0.93% NaCl) without enrofloxacin. Enrofloxacin induced dose-dependent alterations in erythrocyte morphology. The most significant increases in cell volume (>20%) and surface area (14%) were observed at concentrations of 5 µl/l and 0.05%. The therapeutic dose (0.3 µl/l) produced less pronounced changes (11% increase in volume, 7% in surface area). The paradoxical reduction of effect at higher concentration (50 µl/l) may be attributed to the nonlinear dose-response toxicity characteristic of fluoroquinolones. The 23% decrease in nuclear-cytoplasmic ratio observed at 0.1% and 10 µl/l concentrations was primarily due to cellular swelling.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dönmez, F. Investigation of the Effects of Three Different Generations of Fluoroquino-

lone Derivatives on Erythrocyte Fragility and Hematological Parameters in Rats / F. Dönmez, A. Doğan // Van Sağlık Bilimleri Dergisi. – 2023. – V. 16(3). – P. 237-243. doi: 10.52976/vansaglik.1330882.
2. Niggel, J. Mechanically induced calcium movements in astrocytes, bovine aortic endothelial cells and C6 glioma cells / J. Niggel, W. Sigurdson, F. Sachs // The Journal of Membrane Biology. – 2000 – V. 174. – P. 121-134. doi: 10.1007/s002320001037.
3. Кильдеева, А.Г. Белковый состав цитоскелета эритроцитов голубя / А. Г. Кильдеева // XLVII Огарёвские чтения: Материалы научной конференции: в 3 частях, Саранск, 06–13 декабря 2018 года. Том Часть 2. – Саранск: Научно-исследовательский институт регионологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва", 2019. – С. 119-124.
4. Li, J. Cytoskeletal dynamics of human erythrocyte / J. Li, G. Lykotrafitis, M. Dao, S. Suresh // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2007 – V. 104 (12). – P. 4937-4942. doi: 10.1073/pnas.0700257104.
5. Paarvanova, B. Thermal dielectroscopy study of submembrane spectrin network in animal erythrocytes / B. Paarvanova, T. Slavov, V. Ivanov, I. Ivanov // Bulgarian Journal of Veterinary Medicine. – 2014. – V. 17 (3). – P. 165–172.
6. Sloboda, R.D. Structure and composition of the cytoskeleton of nucleated erythrocytes I. The presence of microtubule-associated protein 2 in the margin-al band / R.D. Sloboda, K. Dickersin // The Journal of cell biology. – 1980. – V. 87 (1). – P. 170–179.
7. Watts, C. Protein and lipid components of the pigeon erythrocyte membrane / C. Watts, K.P. Wheeler // Biochemical Journal. – 1978. – V. 173 (3). – P. 899–907.
8. Патент C1 2350952 Российская федерация, МПК G01N 33/48. Способ определения реактивности эритроцитов крови / Липунова Е.А., Никитин В.М., Скоркина М.Ю. Заявитель и патентообладатель Белгородский гос. ун-т. – №2007124991/15, заявл. 03.09.2007. Опубликовано: 27.03.2009 – С. 1-12.
9. Drlica, K. Fluoroquinolones: Action and Resistance / K. Drlica, M. Malik // Current topics in medicinal chemistry. – 2003 – V. 3 – P.249-282. doi: 10.2174/1568026033452537.
10. Michalak, K. Treatment of the Fluoroquinolone-Associated Disability: The Pathobiochemical Implications / K. Michalak, A. Sobolewska-Włodarczyk, M. Włodarczyk, J. Sobolewska, P. Woźniak, B. Sobolewski // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. – 2017 – 8023935. doi: 10.1155/2017/8023935.
11. Sachs, F. Stretch-activated ion channels: what are they? / F. Sachs // Physiology (Bethesda). – 2010. – V. 25. – № 1. – P. 50-56. doi: 10.1152/physiol.00042.2009.
12. Kashif, S. Triggering of erythrocyte membrane blebbing by ciprofloxacin / S. Kashif, J. Kashif , Z. Mohanad, A. Al-Farga, R. Muhammad, M.A. Shaikh, B. Ismat, I. Muhammad, A. Asma, A. Muhammad // Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research. – 2019. – Vol. 76. – № 5. – P. 110772.

REFERENCES

1. Dönmez, F. Investigation of the Effects of Three Different Generations of Fluoroquinolone Derivatives on Erythrocyte Fragility and Hematological Parameters in Rats / F. Dönmez, A. Doğan // Van Sağlık Bilimleri Dergisi. – 2023. – V. 16(3). – P. 237-243. doi: 10.52976/vansaglik.1330882.
2. Niggel, J. Mechanically induced calcium movements in astrocytes, bovine aortic endothelial cells and C6 glioma cells / J. Niggel, W. Sigurdson, F. Sachs // The Journal of Membrane Biology. – 2000 – V. 174. – P. 121-134. doi: 10.1007/s002320001037.
3. Kildeyeva, A.G. Protein Composition of the Cytoskeleton of Pigeon Red Blood Cells / A. G. Kildeyeva // XLVII Ogarev Readings: Materials of the Scientific Conference: in 3 parts, Saransk, December 06–13, 2018. Volume Part 2. – Saransk: Research Institute of Regional Studies of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Mordovian State University named after N.P. Ogarev,

2019. – P. 119-124. (In Russ.)
4. Li, J. Cytoskeletal dynamics of human erythrocyte / J. Li, G. Lykotrafitis, M. Dao, S. Suresh // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2007 – V. 104 (12). – P. 4937-4942. doi: 10.1073/pnas.0700257104.
5. Paarvanova, B. Thermal dielectroscopy study of submembrane spectrin network in animal erythrocytes / B. Paarvanova, T. Slavov, V. Ivanov, I. Ivanov // Bulgarian Journal of Veterinary Medicine. – 2014. – V. 17 (3). – P. 165–172.
6. Sloboda, R.D. Structure and composition of the cytoskeleton of nucleated erythrocytes I. The presence of microtubule-associated protein 2 in the margin-al band / R.D. Sloboda, K. Dickersin // The Journal of cell biology. – 1980. – V. 87 (1). – P. 170–179.
7. Watts, C. Protein and lipid components of the pigeon erythrocyte membrane / C. Watts, K.P. Wheeler // Biochemical Journal. – 1978. – V. 173 (3). – P. 899–907.
8. Patent C1 2350952 Russian Federation, IPC G01N 33/48. Method for determining the reactivity of red blood cells / Lipunova E.A., Nikitin V.M., Skorkina M.Yu. Applicant and patent holder Belgorod State University – № 2007124991/15, application 03.09.2007. Published: 03/27/2009 – P. 1-12. (In Russ.)
9. Drlica, K. Fluoroquinolones: Action and Resistance / K. Drlica, M. Malik // Current topics in medicinal chemistry. – 2003 – V. 3 – P.249-282. doi: 10.2174/1568026033452537.
10. Michalak, K. Treatment of the Fluoroquinolone-Associated Disability: The Pathobiochemical Implications / K. Michalak, A. Sobolewska-Włodarczyk, M. Włodarczyk, J. Sobolewska, P. Woźniak, B. Sobolewski // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. – 2017 – 8023935. doi: 10.1155/2017/8023935.
11. Sachs, F. Stretch-activated ion channels: what are they? / F. Sachs // Physiology (Bethesda). – 2010. – V. 25. – № 1. – P. 50-56. doi: 10.1152/physiol.00042.2009.
12. Kashif, S. Triggering of erythrocyte membrane blebbing by ciprofloxacin / S. Kashif, J. Kashif , Z. Mohanad, A. Al-Farga, R. Muhammad, M.A. Shaikh, B. Ismat, I. Muhammad, A. Asma, A. Muhammad // Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research. – 2019. – Vol. 76. – № 5. – P. 110772.

УДК: 579:615:636.5:636.085
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.195

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОКОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ BACILLUS SUBTILIS В КАЧЕСТВЕ БЕЗОПАСНОЙ ДОБАВКИ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА - НЕЙТРАЛИЗАТОРА ЗЕАРАЛЕНОНА В ПТИЦЕВОДСТВЕ

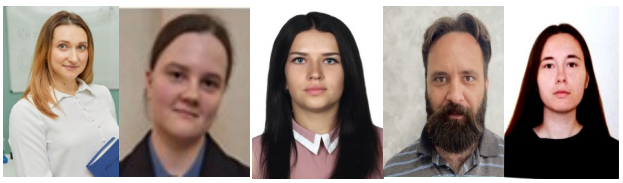
Круть У.А. [1*] – канд. биол. наук, доц. каф. биотехнологии и микробиологии (ORCID 0009-0009-6341-9750); **Иванова С.М.** [1] – лаборант-исследователь (ORCID 0009-0007-6755-6686); **Шайдорова Г.М.** [1] – асс. каф. биохимии (ORCID 0000-0002-9467-027X); **Кощаев И.А.** [2] – канд. с.-х. наук, доц. каф. технологии и переработки сельскохозяйственной продукции (ORCID 0000-0002-0377-6088); **Перепелица М.М.** [1] – лаборант-исследователь (ORCID 0009-0004-7356-4728)

[1] ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
[2] ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет»

[*] krut@bsuedu.ru

Ключевые слова: *сельскохозяйственные птицы, микотоксины, монтмориллонит, симбиотики для кур, Bacillus subtilis.*
Key words: *Agricultural poultry, mycotoxins, montmorillonite, symbiotics for chickens, Bacillus subtilis.*
Финансирование: *Материалы подготовлены в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0007 по теме: «Адаптивные реакции микроорганизмов: теоретические и прикладные аспекты».*

Поступила: 27.01.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ
В рамках настоящего исследования были проведены два эксперимента: оценка in vitro способности биокомпозиции на основе монтмориллонитовых глин и бактерий *Bacillus subtilis* ВКМ B3701D нейтрализовать микотоксин зеараленон, а также *in vivo* оценка безопасного влияния данной биокомпозиции на рост цыплят. Целью работы являлось изучение возможности применения биокомпозиции, содержащей монтмориллонитовые глины и штамма микроорганизма *Bacillus* subtilis ВКМ B3701D, в птицеводстве как безопасного нейтрализатора микотоксина зеараленона, а также как профилактического и пробиотического средства. Зеараленон представляет собой вторичный метаболит, продуцируемый токсигенными видами плесневых грибов, и часто встречается в загрязнённых кормах для животных, включая зерновые культуры. Умеренное или низкое потребление данного микотоксина приводит

к снижению продуктивности животных, замедлению темпов роста, уменьшению объёмов производства и ухудшению качества продукции на рынке. Эти эффекты часто возникают без проявления явного первичного синдрома микотоксикоза. Согласно результатам исследований, проведённых с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), биокомпозиция в соотношении биомассы и монтмориллонита 5:1 соответственно, способствовала снижению концентрации микотоксина зеараленона в 21 раз в опытах in vitro. Внесение в рацион цыплят мясного кросса экспериментальной кормовой добавки в дозировке 2,0 кг на тонну сухого корма оказало положительное влияние на среднесуточный прирост живой массы птиц. Так, по сравнению с контрольной группой данный показатель увеличился на 5,8 %. На 42 сутки эксперимента средняя масса одного цыплёнка опытной группы составила 3016,9 г, что на 5,7 % выше аналогичного показателя контрольной группы. Все биохимические показатели контрольной и опытных групп животных находились в пределах физиологической нормы. Полученные результаты являются важным этапом в разработке современной синбиотической кормовой добавки.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Введение в рацион кормов низкого качества, загрязнённых микотоксинами, способствует частому возникновению заболеваний, нарушению иммунного статуса, а также усугубляет негативное влияние неблагоприятных условий содержания и стрессовых факторов [1]. Экономический ущерб от микотоксикозов обусловлен снижением продуктивности животных и их воспроизводительной способности, повышением восприимчивости животных к заболеваниям, увеличением материальных затрат на лечение и профилактические мероприятия, ухудшением качества получаемой продукции, а в случае превышения допустимых концентраций микотоксинов – полной непригодностью сельскохозяйственной продукции к употреблению человеком [2]. Для обезвреживания микотоксинов на практике применяют следующие методы: физические (очистка, вымачивание, промывание, нагревание, растворение), химические (окисление, обработка бисульфатом, аммиаком, формальдегидом), связывание (адсорбция алюмосиликатами, бентонитами, цеолитами и т.п.), биологические (действие ферментов, в том числе микробных). Недостатком обработки зерна деконтаминирующими факторами является необходимость удаления остатков химических агентов, наличие которых в кормах нежелательно, а также продуктов трансформации микотоксинов во избежание обратных реакций и реакций активации. Ранее коллективом авторов были доказаны высокие показатели сорбционной активности биокомпозиций на основе монтмориллонитовых глин по отношению к микотоксинам, на примере афлатоксина, в подсолнечном и соевом шротах в лабораторных условиях [3].

Целью настоящей работы является изучение свойств биокомпозиции на основе монтмориллонитосодержащих глин и бактерий *Bacillus subtilis* по отношению к зеараленону, а также выявление перспектив её использования в качестве безопасной кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы. Используемый штамм *Bacillus subtilis BKM B3701D* продуцирует значительное количество биологически активных метаболитов, проявляющих биологическую активность по отношению к фитопатогенным грибам, таким как *Fusarium sp.* и обладает антагонистической активностью по отношению к *Escherichia coli* [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHOD S

Биокомпозиция была приготовлена на основе минералов монтмориллонита и микроорганизмов *Bacillus subtilis BKM B3701D* с титром 10^9 КОЕ/г в количестве 75–80 мас.% [5]. Способность нейтрализовать микотоксины проверяли на заражённом пшене с использованием аборигенного штамма плесневого гриба *Fusarium sp.* Определение содержания микотоксина зеараленона проводили методом высокоэффективной жидкостной хрома-

тографии (ВЭЖХ) с модификацией стандартной методики, описанной в ГОСТ 31691-2012 «Зерно и продукты его переработки, комбикорма», с учётом специфики используемых реактивов.

Реакционные смеси для анализа были приготовлены по методике, адаптированной из рекомендаций по определению микотоксинов, с использованием оптимального соотношения буфера и воды, подобранного на основе предварительных опытов [6]. Смеси готовили в трёх вариантах:

К 10 г заражённого корма добавляли навеску 0,1 г биокомпозиции, 10 мл буфера и 100 мл воды.

К 10 г заражённого корма добавляли навеску 0,25 г биокомпозиции, 10 мл буфера и 100 мл воды.

К 10 г заражённого корма добавляли навеску 0,5 г биокомпозиции, 10 мл буфера и 100 мл воды.

Колбы с пшеном после первых суток культивирования с аборигенным штаммом плесневого гриба *Fusarium sp.* и биокомпозицией помещали в шейкер-инкубатор на 24 часа при температуре 35 –40 °С. По истечении этого времени пшено измельчали, после чего из каждого измельчённого образца брали навеску 1,00 г для экстракции. Образцы встряхивали в течение 10 минут на шейкере, затем центрифугировали 5 минут при скорости 2700 об/мин. Отбирали 3 мл экстракта в центрифужную пробирку вместимостью 15 мл, добавляли 1 мл гексана, насыщенного ацетонитрилом, и встряхивали 3 минуты. Гексан использовали для удаления липидов из корма, которые могут мешать определению микотоксинов на хроматограммах. После расслаивания фаз отбирали 2 мл нижней фазы, добавляли 2 мл деионизированной воды, перемешивали и фильтровали через мембранный фильтр (0,45 мкм). Из полученного фильтрата выпаривали растворитель с помощью вакуумной центрифуги. Полученный сухой остаток растворяли в 1 мл смеси ацетонитрил:вода (50:50) для дальнейшего анализа методом ВЭЖХ на хроматографе WATERS ACQUITY H с использованием стандартов микотоксинов.

Для изучения безопасного влияния биокомпозиции на сельскохозяйственных животных проводили кормление экспериментальной кормовой добавкой цыплят-бройлеров кросса Росс-308 в условиях, приближенных к реальным фермерским хозяйствам на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина». Были сформированы три группы: две опытные и контрольная, по 40 цыплят в каждой (20 курочек и 20 петушков). Первой опытной группе в сухой корм с суточного возраста до 42-го дня жизни, кроме дней вакцинации, добавляли биокомпозицию из расчёта 1,0 кг/т корма. Во второй опытной группе - в дозировке 2,0 кг/т корма. Контрольной группе препарат в корм не включали; в остальном условия содержания были идентичны опытным группам. В ходе эксперимента ежедневно проводили мониторинг микроклиматических показателей (температура, влажность, вентиляция, освещённость) в птичнике, учёт расхода корма, случаев заболеваний, отхода и падежа птицы. Биохимические показатели (общий белок, глюкоза, триглицериды) определяли в крови цыплят на 42-й день по стандартным методикам (результаты этих измерений в данной статье не приведены). Статистический анализ результатов эксперимента проводили методом дисперсионного анализа с вычислением средней и факториальной дисперсий (Dфакт.) и отклонения от средней линии (m).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Была проведена оценка способности биокомпозиции нейтрализовать микотоксин зеараленон в заражённом зерне методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Контрольным образцом являлось зерно с искусственным заражением грибом рода *Fusarium sp*., Выбор зеараленона в качестве маркерного микотоксина обусловлен его частым присутствием в кормах и значимым негативным влиянием на продуктивность животных.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение изменений концентраций зеараленона в зараженном корме при действии биокомпозицией в различных дозировках

Дозировка биокомпозиции на 10 г реакционной смеси	Средняя площадь пика хроматограмм образцов, inj	RSD	Стандартное отклонение	Концентрация зеараленона, мкг/мл
Контроль (зараженное пшено – 1 сутки культивации с *Fusarium sp.*)	25975,67	605,1978	2,33	0,78
Контроль (зараженное пшено – 10 сутки после заражения *Fusarium sp.*)	19488,57	20717,02	1,06	173,84
Навеска 0,1 г	33763,67	1098,816	3,25	1,48
Навеска 0,25 г	25988	777,9672	2,99	0,78
Навеска 0,5 г	15986,33	327,5581	2,05	0,12

Таблица 2 – Динамика массы птицы за опытный период, (M± m), n=40

Сутки	Опытная группа 1	Опытная группа 2	Контрольная группа
1-е сутки	40,1±0,4	40,4±0,4	40,63±0,5
14-е сутки	430,1±4,9	453,93±5,3*** p=0,0008	427,8±4,6
28-е сутки	1480,1±2l,8** p=0,0023	1510,2±2l,1*** p=0,0004	1454,4±19,3
42-е сутки	2947,2±36, l*** p=0,0002	3016,9±36,5** p=0,0029	2854,1±35,9

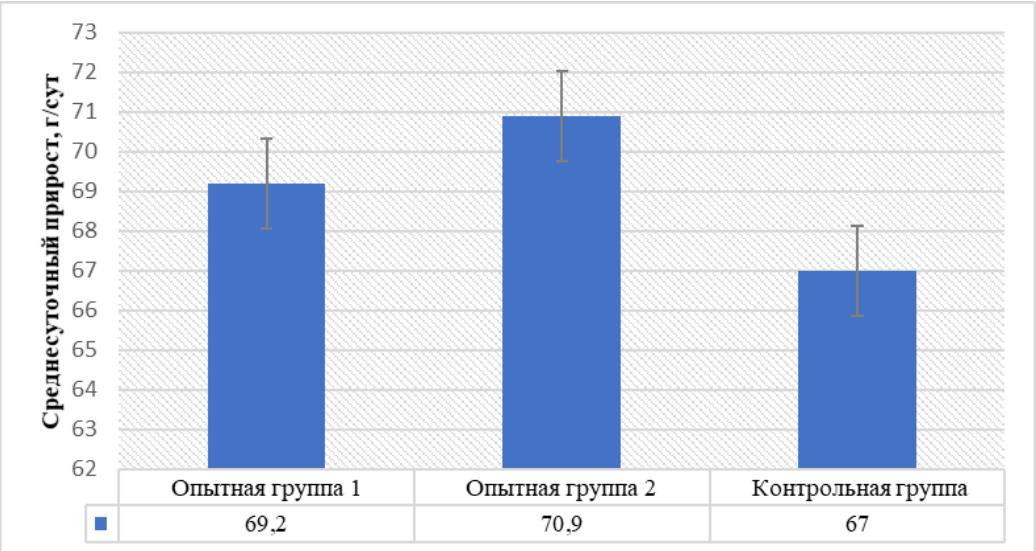


Рисунок 1 – Среднесуточный прирост живой массы птиц.

По полученным данным можно сделать вывод, что содержание зеараленона в контрольном образце (заражённое пшено) значительно возрастает со временем, что связано с накоплением метаболитов плесневых грибов в корме. При использовании биокомпозиции в дозировке 0,5 г концентрация зеараленона после первых суток культивирования снижается до 0,12 мкг/мл, что примерно в 6,5 раз ниже по сравнению с контролем (0,78 мкг/мл). В контрольной группе пшено хранилось в условиях, приближенных к фермерским, в течение 10 дней, что привело к значительному увеличению концентрации микотоксина зеараленона (с 0,78 до 173,84 мкг/мл).

Изучение безопасности кормовой добавки на основе биокомпозиции было проведено в эксперименте в условиях, приближенных к реальным фермерским хозяйствам, получены данные о физиолого-биохимическом статусе птиц.

В рисунке 1, отражены показатели среднесуточного прироста живой массы птиц опытных и контрольных групп: наилучший результат показывает опытная группы № 2 и составляет 70,9 г/сут, что на 3,9 г/сут. выше контрольной группы.

В таблице 3 указаны средние показатели набранной массы за период выращивания: 1-я опытная группа за 42 дня в пересчёте на одну голову набрала 2947,2 г., что выше показателей контрольной группы на 93,1 г. (3,2%, p=0,0002). Лучшие результаты зафиксированы во 2-й опытной группе – 3016,9 г., что превышает контроль на 162,8 г (5,7 %, p=0,0029).

Сбалансированность, полноценность кормления и влияние негативных факторов на птиц оценивали по биохимическим показателям крови: общий белок, глюкоза и триглицериды [7–9]. Белок в крови животных выполняет питательную и транспортную функции, его баланс важен для оценки общего физиологического статуса (рис. 1).

В первой опытной группе концентрация общего белка была ниже контрольной на 12 %. Во второй группе концентрация общего белка находилась в пределах нижней границы физиологической нормы (p=0,0037, ***) [7]. Следует отметить, что организмам кроссов мясных пород свойственен высокий уровень белкового обмена [8]. Также стоит отметить, что на 42-е сутки масса первой опытной группы была выше, чем во второй и контрольной, вероятно, ресурсы организма были направлены на анаболические пути метаболизма. Для более полной оценки белкового гомеостаза у птицы целесообразно дополнительно определить содержание мочевой кислоты, мочевины и креатинина. В настоящем исследовании данные показатели не изучались, что является направлением для будущих исследований [8].

Ключевую роль в энергообмене организма птиц играет углеводный метаболизм, так как большинство клеток, тканей и органов эволюционно приспособлены покрывать свои энергозатраты за счёт окислительного распада экзогенных или эндогенных углеводов. Например, такие ткани, как головной мозг, эритроциты, хрусталик глаза, паренхима почки и работающая мышца полностью зависят от поступления глюкозы непосредственно в клетки [10]. Результаты исследования уровня глюкозы у птиц представлены на рисунке 3.

Анализ уровня глюкозы в крови кур указывает на низкий энергетический запас. Однако стоит отметить, что во второй группе животных уровень глюкозы в крови был выше, чем в первой группе и контрольной на 13,3 % и 17,3 % (p=0,0007 ***) соответственно.

Печень является основным органом-мишенью при отравлениях. При микотоксикозах наблюдаются изменения в обмене липидов, аминокислот, витаминов, нуклеиновых кислот и активности печёночных ферментов [12]. Уровень триглицеридов (ТГ) отражает состояние липидного обмена между печенью и другими тканями у птиц. Данный показатель значительно зависит от питания животных и их возраста.

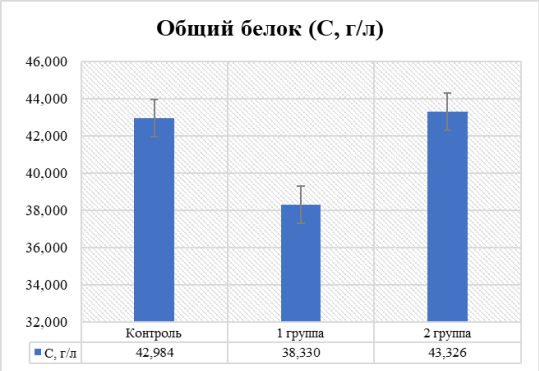


Рисунок 2 – Концентрация общего белка, г/л. (Норма биохимических показателей крови для кур (по Кудрявцеву А.А., Кудрявцевой Л.А., 1974) общий белок - 43–59 г/л).

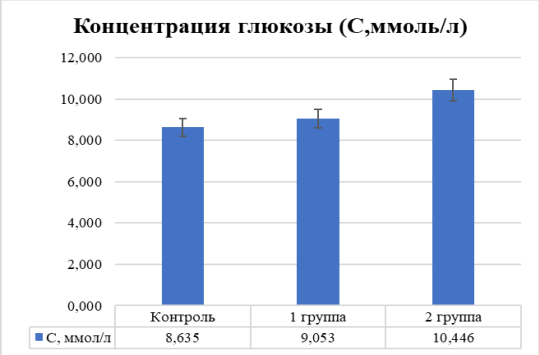


Рисунок 3 – Концентрация глюкозы ммоль/л. (Норма биохимических показателей крови для кур (по Кудрявцеву А.А., Кудрявцевой Л.А., 1974) глюкоза – 4,44–7,77 ммоль/л.).

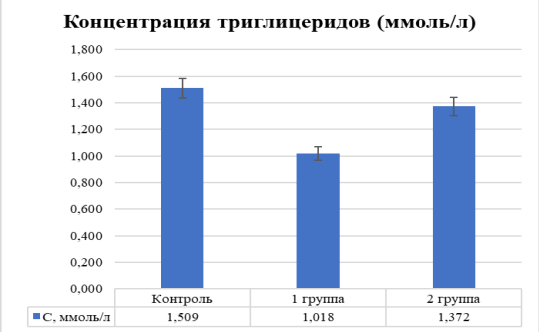


Рисунок 4 – Концентрация триглицеридов, ммоль/л (Норма биохимических показателей крови для кур (по Кудрявцеву А.А., Кудрявцевой Л.А., 1974) триглицериды – 1,04 –3,9 ммоль/л.).

По результатам исследования уровень триглицеридов находятся в пределах физиологической нормы (рис.4). Однако, в первой опытной группе, наблюдается тенденция к заниженным показателям триглицеридов, вероятно, как и в случае с общим белком (рис.1) ресурс организма был запущен на анаболические процессы набора массы.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование демонстрирует, что биокомпозиция, основанная на монтмориллонитовой глине и штамме *Bacillus subtilis BKM B3701D*, является безопасной и обладает значительным потенциалом для нейтрализации зеараленона. Данные экспериментов *in vitro* подтверждают это, продемонстрировав снижение содержания микотоксина в 6,5 раз, а также улучшение показателей роста птицы, выраженное в увеличении среднесуточного привеса на 5,8%. Тем не менее,

ряд методологических аспектов, включая выбор модели заражения, детализированную методику приготовления реакционных смесей и обоснование сроков исследований для мясного кросса, требует дальнейшего уточнения. Учитывая полученные положительные результаты, планируется продолжение исследований с целью решения указанных вопросов и оптимизации применения биокомпозиции в области животноводства.

PROSPECTS OF USING A BIOCOMPOSITION BASED ON BACILLUS SUBTILIS BACTERIA AS A SAFE ADDITIVE AND PREVENTIVE AGENT NEUTRALIZER OF ZEARALENONE IN POULTRY FARMING

Krut U.A.[1]* – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biotechnology and Microbiology (ORCID 0009-0009-6341-9750); **Ivanova S.M.[1]** – Research Assistant (ORCID 0009-0007-6755-6686); **Shaidorova G.M[.1]** – Assistant, Department of Biochemistry (ORCID 0000-0002-9467-027X); **Koshchaev I.A.[2]** – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Technology and Processing of Agricultural Products (ORCID 0000-0002-0377-6088); **Perepelitsa M.M.[1]** – Research Assistant (ORCID 0009-0004-7356-4728).

[1] Belgorod State National Research University

[2] Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin

*krut@bsuedu.ru

Financing: *The materials were prepared as part of the State Assignment No. FZWG-2023-0007 on the topic: "Adaptive Responses of Microorganisms: Theoretical and Applied Aspects."*

ABSTRACT

This document emphasizes the development of feed additives for animals, veterinary drugs, and mineral supplements, supported by the implementation of competitive domestic technologies based on the latest scientific achievements. The goal of this study was to explore the potential use of a biocomposite made from montmorillonite clays and the bacterial strain Bacillus subtilis VKM B-3701D in poultry farming. This biocomposite was tested as a zearalenone mycotoxin neutralizer, as well as a prophylactic and probiotic agent. Zearalenone is a secondary metabolite produced by toxigenic mold fungi, commonly found in contaminated animal feeds, including grains. Even moderate or low levels of zearalenone consumption often led to reduced productivity, such as slower growth rates, decreased production, and lower market quality. These effects frequently occur without clear symptoms of primary mycotoxicosis. The study showed that the biocomposite, when prepared in a 5:1 ratio of bacterial biomass to montmorillonite, reduced the concentration of zearalenone mycotoxin by 6,5 times in *vitro* experiments, as determined by high-performance liquid chromatography (HPLC). Adding the experimental feed additive to the diet of laying hens at a dosage of 2.0 kg per ton of dry feed increased the average daily weight gain by 5.8% compared to the control group. The average weight per chick reached 3016.9 grams, which is 5.7% higher than the control group. No significant changes in biochemical parameters were observed in either the control or experimental groups. These findings represent an important step toward the development of modern symbiotic feed additives for animals, contributing to the biosafety of domestic poultry farming.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коростелева А.П. Смешанные микотоксикозы и безопасные уровни микотоксинов в кормах и сельскохозяйственной продукции / В.П. Коростелева // Ветеринарный врач. 2016;(1):3–5. Доступно по ссылке: https://elibrary.ru/vstyph

2. Попов В.С., Самбуров Н.В., Воробьева Н.В. Проблемы микотоксикозов в современных условиях и принципы профилактических решений [Текст]: монография. Курск: Планета+; 2018. 158 с.

3. Oleynikova II, Krut UA, Shaidorova GM, Kuzubova EV, Radchenko AI. Determination of mycotoxins in the seeds of sunflower,

soybean and corn by enzyme immunoassay. EurAsian J BioSci. 2019;13(2):987–991.
4. Kuzubova E, Radchenko A, Shaidorova G, Lyakhovchenko N, Sychev A. Determination of taxonomic affiliation and assessment of biotechnological potential of an indigenous strain of gram-positive spore-forming bacteria. BIO Web Conf. 2023;(06001).
5. Шайдорова Г.М., Круть У.А., Олейникова И.И., Радченко А.И., Кузубова Е.В., Потапова М.С., Апухтин К.В., Шикер А.С. Способ получения сорбционной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы. Патент RU 2782383 C1. 26 октября 2022. Заявка №2022107161 от 18 марта 2022.
6. Симбиотическая кормовая добавка: заявка на изобретение № 2025104954 от 04.03.2025 / Шайдорова Г.М., Круть У.А., Иванова С.М., Селезнев А.О., Ляховченко Н.С., Потапова М.С. // ФИПС
7. Загарин А.Ю. Характеристика корреляционных связей между биохимическими показателями крови и морфологическими особенностями цыплят-бройлеров. Известия ТСХА. 2024;(4).
8. Околелова Т.М., Енгашев С.В., Егоров И.А., Егорова Т.А. Роль биохимических показателей крови в оценке физиологического состояния птицы. Птицеводство. 2023;(2).
9. Красноперов А.С., Опарина О.Ю., Малков С.В., Белоусов А.И., Верещак Н.А. Изменение морфологических, биохимических показателей крови и продуктивности кур-несушек при применении композиции гепатопротективного действия. Ветеринария Кубани. 2024;(3). Доступно по ссылке: https://vetkuban.com/num3_202411.html
10. Повозников Н.Г., Пустовая Н.В. Продуктивность и биохимический состав крови кур. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2013;16 (2). Доступно по ссылке: https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-i-biohimicheskiy-sostav-krovi-kur (дата обращения: 04.01.2025).
11. Шацких Е.В., Латыпова Е.Н. Показатели крови и продуктивность кур при использовании в рационе фитобиотических препаратов. Аграрный вестник Урала. 2023;08(237):78–88. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-78-88.
12. Тарасова Е.Ю., Матросова Л.Е. Изучение биохимических показателей сыворотки крови кур-несушек при сочетанном микотоксикозе на фоне применения многокомпонентного средства «ГАЛЛУАСОРБ». Вестник КрасГАУ. 2024;(10). Доступно по ссылке: https://kgau.editorum.ru/ru/nauka/article/90932/view
13. Кудрявцев А.А., Кудрявцева Л.А. Клиническая гематология животных. Москва: Колос; 1974. 309 с

REFERENCES

1.Korosteleva AP. Mixed mycotoxicoses and safe levels of mycotoxins in feed and agricultural products. Veterinarnyy Vrach. 2016;(1):3–5. Available from: https://elibrary.ru/vstyph
2. Popov VS, Samburov NV, Vorobyeva NV. Problems of mycotoxicoses under modern conditions and principles of preventive solutions [Text]: monograph. Kursk: Planeta+; 2018. 158 p.
3.Oleynikova II, Krut UA, Shaidorova GM, Kuzubova EV, Radchenko AI. Determination of mycotoxins in the seeds of sunflower, soybean and corn by enzyme immunoassay. EurAsian J BioSci. 2019;13(2):987–991.
4.Kuzubova E, Radchenko A, Shaidorova G, Lyakhovchenko N, Sychev A. Determination of taxonomic affiliation and assessment of biotechnological potential of an indigenous strain of gram-positive spore-forming bacteria. BIO Web Conf. 2023;(06001). International Scientific and Practical Conference “Innovations, Technological Solutions and Management in Modern Biotechnology and Biomedicine” (ITSM-2022), Pushchino, Russia.
5.Shaidorova GM, Krut UA, Oleynikova II, Radchenko AI, Kuzubova EV, Potapova MS, et al. Method for obtaining sorption feed additives for agricultural animals and poultry. Patent RU 2782383 C1. 26 Oct 2022. Application No. 2022107161, filed 18 Mar 2022.
6.Symbiotic feed additive: patent application

No. 2025104954 of 04.03.2025 / Shaidorova G.M., Krut U.A., Ivanova S.M., Seleznev A.O., Lyakhovchenko N.S., Potapova M.S. // FIPS (Federal Institute of Industrial Property).
7.Zagarin AY. Characteristics of correlations between blood biochemical parameters and morphological features of broiler chickens. Izvestiya TSHA. 2024;(4).
8.Okolelova TM, Engashev SV, Egorov IA, Egorova TA. The role of blood biochemical parameters in assessing the physiological state of poultry. Ptitsevodstvo. 2023;(2).
9.Krasnoperov AS, Oparina OYu, Malkov SV, Belousov AI, Vereshchak NA. Changes in morphological and biochemical blood parameters and productivity of laying hens when using a hepatoprotective composition. Veterinary Kuban. 2024;(3). Available from: https://vetkuban.com/num3_202411.htm
10.Povoznikov NG, Pustovaya NV. Productivity and biochemical composition of chicken blood. Actual Problems of Intensive Livestock Development. 2013;16(2). Available from: https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-i-biohimicheskiy-sostav-krovi-kur [Accessed 4 Jan 2025].
11.Shatskikh EV, Latypova EN. Blood parameters and productivity of chickens when using phytobiotic preparations in their diet. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;08 (237):78–88. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-78-88.
12.Tarasova EY, Matrosova LE. Study of biochemical parameters of blood serum in laying hens under combined mycotoxicosis when using the multicomponent product "GALLUASORB." Bulletin of KrasGAU. 2024;(10). Available from: https://kgau.editorum.ru/ru/nauka/article/90932/view
13. Kudryavtsev AA, Kudryavtseva LA. Clinical hematology of animals. Moscow: Kolos; 1974. 309 p.

УДК:615.284.036.8:636.8
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.204

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТА ДИРОНЕТ ПЛЮС ПРИ ЭКТОПАРАЗИТОЗАХ КОШЕК

Новиков Д.Д.[1] **–** канд. ветеринар. наук, зам. директора департамента науки (ORCID 0009-0002-5299-7933); **Токарев А.Н.**[2]* – д-р ветеринар. наук, доц., зав. каф. ветеринарно-санитарной экспертизы (ORCID 0000-0002-7117-306X); **Токарева О.А.**[2] – канд. ветеринар. наук, доц. каф. фармакологии и токсикологии (ORCID 0000-0002-5941-9506); **Енгашева Е.С.**[3] – д-р биол. наук, (ORCID 0000-0002-4808-8799)

[1] ООО «НВЦ Агроветзащита»
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»
[3] Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН

*tokarev.an@yahoo.com

Ключевые слова: *эктопаразиты, кошки, препарат, Диронет плюс.*
Key words: ectoparasites, cats, drug, Dironet plus.

Поступила: 25.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Целью наших исследований было изучить инсектицидную эффективность лекарственного препарата для ветеринарного применения Диронет плюс при эктопаразитозах кошек. Для проведения эксперимента были привлечены кошки. На основании осмотра и исследований были поставлены диагнозы: афаниптероз и феликолез. В опыте участвовали кошки обоих полов, различных пород в возрасте от 14 недель до 10 лет с массой тела более 1 кг. Всего в эксперименте было задействовано 40 особей мужского и женского пола, для этого их разделили на 4 группы по 10 животных в каждой согласно поставленному диагнозу. На основании технического задания животные первых двух групп получали препарат Диронет плюс 140 и Диронет плюс 280 в рекомендуемой дозе в зависимости от веса животного. Третья и четвёртая группа получали препарат Inspector QUADRO TABS (Инспектор Квадро Табс) из расчёта г на кг массы тела животного. Данные лекарственные средства вводили животным принудительно на корень языка сразу после кормления. На 2, 7, 14, 21, 28 сутки проводили обязательный осмотр испытуемых животных и далее, если животное продолжало оставаться в стационаре, то осмотр проводился один раз в неделю. В результате исследований при применении препарата при афаниптерозе Диронет плюс показал 100% эффективность. При клиническом осмотре у животных опытной группы на второй день после обработки мы обнаружили только мёртвых блох на теле и подстилке в клетке. Повторное заражение с 35 по 45 день от начала испытания. У животных опытной группы, которые были заражены триходектесами после обработки Диронет плюс, на второй день также наблюдалась 100% гибель эктопаразитов. Данное заключение было сделано на основании клинического осмотра, при котором на теле животных не были найдены живые паразиты.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В связи с тем, что из года в год растёт популяция кошек, есть огромный риск передачи распространённых возбудителей болезней между ними. Кошки являются потенциальными хозяевами эктопаразитов таких, как клещи, блохи, волосовики и вши. Во многих регионах мира эти эктопаразиты считаются наиболее распространёнными среди кошек. [1,6,7]. Изучение видов эктопаразитов у кошек важно по нескольким причинам. Заражение данными возбудителями может вызвать значительный дискомфорт и кожные реакции, поскольку они воздействуют на своих хозяев напрямую, питаясь кровью, вызывают дерматит и аллергические реакции [2,8].

Фармацевтические фирмы всего мира заинтересованы в решении этой проблемы. На сегодняшний день разрабатываются и внедряются современные препараты против эктопаразитов [3,4,5]. Целью наших исследований было изучить инсектицидную эффективность лекарственного препарата для ветеринарного применения Диронет плюс при эктопаразитозах кошек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Научно-внедренческим центром «Агроветзащита» был разработан новый противопаразитарный препарат Диронет плюс, в состав которого входят производное хинолина, производное тетрагидропиримидина и смесь химических соединений групп спинозинов. Опыт был проведён на базе стационара ветеринарной клиники ООО «АФФ-ВЕТ».

Для проведения эксперимента были привлечены кошки. На базе стационара всех животных взвешивали, подвергали клиническому и паразитологическому осмотру с целью обнаружения эктопаразитов. Проводили тщательный осмотр кожных покровов с дальнейшим проведением экспресс-теста с влажной бумагой. Для исследования на предмет эктопаразитозов использовали предметные и покровные стекла, лезвия хирургические стерильные №24, скотч. Соскобы с кожи и шерсти исследовали с использованием микроскопа OLYMPUS CX23. Для фиксации и просветления материала, полученного для микроскопии соскобов, использовали глицерин.

На основании осмотра и исследований были поставлены диагнозы: афаниптероз и феликолез. После обнаружения эктопаразитов животных разделили по группам. В опыте участвовали кошки обоих полов, различных пород в возрасте от 14 недель до 10 лет с массой тела более 1 кг. Всего в эксперименте было задействовано 40 особей мужского и женского пола, для этого их разделили на 4 группы по 10 животных в каждой согласно поставленному диагнозу. На основании технического задания животные первых двух групп получали препарат Диронет плюс 140 и Диронет плюс 280 в рекомендуемой дозе в зависимости от веса животного. Третья и четвёртая группа получали препарат Inspector QUADRO TABS (Инспектор Квадро Табс) из расчёта г на кг массы тела животного. Данные лекарственные средства вводили животным принудительно на корень языка сразу после кормления. Данные по распределению опытных и контрольных животных по группам приведены в таблице 1.

На 2, 7, 14, 21, 28 сутки проводили обязательный осмотр испытуемых животных и далее, если животное продолжало оставаться в стационаре, то осмотр проводился один раз в неделю.

На время опыта все животные были помещены в специальные клетки, которые находились в изолированных боксах. Единственным исключением было 3 особи, которых с 32 дня эксперимента пребывали в домашних условиях. Животных доставляли на осмотр в соответствии со схемой контроля в назначенные дни. Всех животных кормили согласно возрасту и физиологического состояния кормом Роял Канин.

Таблица 1 – Распределение опытных и контрольных животных по группам

Болезнь / возбудитель	Опытные группы, препарат Диронет плюс, (количество кошек)	Контрольные группы, препарат Inspector QUADRO TABS (количество кошек)
Афаниптероз (ктеноцефалидоз)/ *Ctenocephalides felis*	1 группа (10)	3 группа (10)
Феликолез/ *Felicola subrostratus*	2 группа (10)	4 группа (10)

Примечание: Режим дозирования препаратов в эксперименте представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Режим дозирования препаратов

Вес животного, кг	Модификация препарата (количество таблеток, шт.)			
	Диронет плюс 140	Диронет плюс 280	Inspector QUADRO TABS (Инспектор Квадро Табс) для кошек и собак 0,5 – 2 кг	Inspector QUADRO TABS (Инспектор Квадро Табс) для кошек и собак 2-8 кг
>1-2	1	1/2	1*	-
>2-4	2	1	-	1**
>4-8	-	2	-	2***
>8	Комбинация таблеток с учётом массы животного			

*Примечание: * люфенурон - 20 мг, моксидектин - 0,6 мг, нразиквантела - 10 мг;*
*** люфенурон - 40 мг, моксидектин - 1,2 мг, празиквантел - 20 мг;*
**** люфенурон - 80 мг, моксидектин - 2,4 мг, празиквантел - 40 мг.*

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате исследований при применении препарата при афаниптерозе Диронет плюс показал 100% эффективность. При клиническом осмотре у животных первой опытной группы на второй день после обработки мы обнаружили только мёртвых блох на теле и подстилке в клетке. Повторное заражение с 35 по 45 день от начала испытания (первичной обработки) наблюдалось лишь у трёх кошек, которые содержались в домашних условиях. Также надо отметить, что у животных из третьей контрольной группы, получавших препарат Inspector QUADRO TABS (препарат сравнения) на вторые сутки осмотра после обработки, также были обнаружены только мёртвые блохи. При последующих осмотрах в течение месяца живых особей не обнаружено, данные представлены в таблице 3.

У животных второй опытной группы, которые были заражены триходектесами после обработки Диронет плюс, на второй день также наблюдалась 100% гибель эктопаразитов. Данное заключение было сделано на основании клинического осмотра, при котором на теле животных не были найдены живые волосовики. Гибель паразитов была подтверждена микроскопическим исследованием методом взятия соскоба с кожи и шерсти, скотч-тестом.

При применении препарата сравнения Inspector QUADRO TABS животным четвертой контрольной группы, которые также были заражены триходектесами, на вторые сутки после обработки также наблюдалась 100% гибель насекомых.

Инсектицидное действие препарата Диронет плюс и Inspector QUADRO TABS при феликолезе представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Инсектицидное действие препарата Диронет плюс и Inspector QUADRO TABS при афаниптерозе

Время учёта (сутки)	Опытная группа (n=10)		Контрольная группа (n=10)	
	ЭИ (%)	ИО (экз./гол)	ЭИ (%)	ИО (экз./гол)
До обработки	100	13,6±1,22	100	15,7±1,29
Через 1	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 7	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 14	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 21	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 28	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 35	10	1,0±0,00	10	2,0±0,00
Через 42	20	2,1±0,14	30	2,6±0,13
Через 45	30	3,2±0,15	30	3,8±0,16

Примечание: ЭИ – экстенсивность инвазии; ИО – индекс обилия.

Таблица 4 – Инсектицидное действие препарата Диронет плюс и Inspector QUADRO TABS при феликолезе

Время учёта (сутки)	Опытная группа (n=10)		Контрольная группа (n=10)	
	ЭИ (%)	ИО (экз./гол)	ЭИ (%)	ИО (экз./гол)
До обработки	100	10,3±1,03	100	11,6±1,21
Через 1	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 7	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 14	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 21	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 28	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 35	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 42	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00
Через 45	0	0,0±0,00	0	0,0±0,00

Примечание: ЭИ – экстенсивность инвазии; ИО – индекс обилия.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

На основании эксперимента была установлена 100% эффективность противопаразитарного лекарственного препарата Диронет плюс 280 и Препарат Диронет плюс 140 при афаниптерозе и феликолезе кошек. Терапевтический эффект при поражении насекомыми наступает в первые же дни после приёма лекарственного средства и сохраняется в среднем до 45 дней.

THE EFFECTIVENESS OF DIRONET PLUS IN CAT ECTOPARASITOSIS

Novikov D.D.[1] – PhD in Veterinary Science, Deputy Director of the Science Department (ORCID: 0009-0002-5299-7933); **Tokarev A.N.**[2]* – Dr. of Veterinary Science, Assoc. Professor, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise (ORCID 0000-0002-7117-306X); **Tokareva O.A.**[2] – PhD in Veterinary Science, Assoc. Professor of the Department of Pharmacology and Toxicology (ORCID 0000-0002-5941-9506); **Engasheva E.S.**[3] – Dr. of Biol. sciences, orcid.org/0000-0002-4808-8799

[1] OOO NVC Agrovetzashita

[2] FGBOU VO St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

[3] All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – branch of FGBNU FNC VIEV RAS

*tokarev.an@yahoo.com

ABSTRACT

The aim of our research was to study the insecticidal efficacy of the veterinary drug Dironet Plus against ectoparasitosis in cats. Cats were involved in the experiment. Based on the examination and research, the following diagnoses were made: afanipterosis and trichodectosis. After the detection of ectoparasites, the animals were divided into groups. The experiment involved cats of both sexes, different breeds, aged from 14 weeks to 10 years, weighing more than 1 kg. A total of 40 male and female animals were involved in the experiment, for this they were divided into 4 groups of 10 heads each according to the diagnosis. Based on the technical specifications, the animals of the first two groups received the drug Dironet Plus 140 and Dironet Plus 280 in the recommended dose depending on the weight of the animal. The third and fourth groups received the drug Inspector QUADRO TABS (Inspector Quadro Tabs) at the rate of g per kg of body weight of the animal. These drugs were administered to the animals forcibly on the root of the tongue immediately after feeding. On the 2nd, 7th, 14th, 21st, 28th day, a mandatory examination of the test animals was carried out, and then, if the animal continued to remain in the hospital, the examination was carried out once a week. As a result of studies, when using the drug for afanipterosis, Dironet Plus showed 100% effectiveness. During a clinical examination of the animals of the experimental group on the second day after treatment, we found only dead fleas on the body and bedding in the cage. Reinfestation from the 35th to the 45th day from the beginning of the test. In the animals of the experimental group, which were infected with trichodectes after treatment with Dironet Plus, on the second day, 100% death of ectoparasites was also observed. This conclusion was made on the basis of a clinical examination, during which no live parasites were found on the animals' bodies.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Арисов, М. В. Эффективность препарата Неотерика Протекто 4 при энтомозах собак и кошек / М. В. Арисов, И. А. Степанова, Н. В.Семенова, Г. Б Арисова // Ветеринария. - 2018. - № 12. - С. 29-32.
2. Глазунов Ю.В. Распространение отодектоза среди кошек и эффективность Инсакар Тотал К Плюс при различных степенях поражения отодектозом / Ю.В. Глазунов, А.Д. Осинцева, М.В. Арисов // АПК: инновационные технологии. – 2023. – № 3 (62). – С. 32-40.
3. Никонов, А. А. Распространение отодектоза и афаниптероза кошек и собак в условиях города Тюмени / А. А. Никонов, Е. В. Турченко // Научная жизнь. - 2018. - № 11. - С. 111-116.
4. Храмченкова, М. В. Паразитозы собак и кошек в летний период в г. Санкт-Петербург. / М. В. Храмченкова, Л. М. Белова // В сборнике: Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны. Материалы X юбилейной международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвящённой году науки и технологий. - СПб: СПбГУВМ. - 2021. - С. 381-382.
5. Храмченкова М.В. Паразитофауна кошек в приютах Санкт-Петербурга / М.В. Храмченкова, Л.М. Белова, Н.А. Гаврилова // В сборнике: Современные проблемы общей и частной паразитологии. Материалы IV Международного паразитологического симпозиума. - СПб: СПбГУВМ. - 2022. - С. 254-255.
6. Щепотьева, О. Д. Эктопаразиты мелких домаш них животных / О. Д. Щепотьева, Л. Ю. Перфильева, О. А. Панова, И. Г. Гламаздин // «Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями»: материалы до кладов Международной научной конференции. - 2018. - Вып. 19. - С. 533-535.
7. Jacobs, D. E. World Association for the Advacement of Veterinary Parasit ology (W.A.A.V.P.) guidelines for evaluating the efficacy of anthelmintics for dogs and cats / D. E. Jacobs, A. Arakawa, C. H. Courtney, M. A. Gemmell, J. W. McCall, C. H. Myers,

O. Vanparijs // Vet. Parasitol. – 1994. – V. 52. – P. 179–202.
8. Mueller, R. S. Update on the diagnosis and treatment of fleas and mites. Proc. of the WSAVA Congress. Sydney, 2007; pp. 22–24.

REFERENCES

1. Arisov, M. V. Efficiency of the drug Neoterica Protecto 4 for entomoses in dogs and cats / M. V. Arisov, I. A. Stepanova, N. V. Semenova, G. B. Arisova // Veterinary science. - 2018. - No. 12. - P. 29-32.
2. Glazunov Yu. V. Spread of otodectosis among cats and the effectiveness of Insacar Total K Plus at various degrees of otodectosis / Yu. V. Glazunov, A. D. Osintseva, M. V. Arisov // APK: innovative technologies. - 2023. - No. 3 (62). - P. 32-40.
3. Nikonov, A. A. Spread of otodectosis and aphanipterosis in cats and dogs in the city of Tyumen / A. A. Nikonov, E. V. Turchenko // Scientific life. - 2018. - No. 11. - P. 111-116.
4. Khramchenkova, M. V. Parasitoses of dogs and cats in the summer in St. Petersburg. / M. V. Khramchenkova, L. M. Belova // In the collection: Knowledge of young people for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country. Proceedings of the X anniversary international conference of students, graduate students and young scientists dedicated to the year of science and technology. - SPb: SPbGUVM. - 2021. - P. 381-382.
5. Khramchenkova M.V. Parasite fauna of cats in shelters of St. Petersburg / M.V. Khramchenkova, L.M. Belova, N.A. Gavrilova // In the collection: Modern problems of general and special parasitology. Proceedings of the IV International parasitological symposium. - SPb: SPbGUVM. - 2022. - P. 254-255.
6. Shchepotyeva, O. D. Ectoparasites of small domestic animals / O. D. Shchepotyeva, L. Yu. Perfil'eva, O. A. Panova, I. G. Glamazdin // “Theory and practice of combating parasitic diseases”: materials before the International scientific conference. - 2018. - Issue. 19. - P. 533-535.
7. Jacobs, D. E. World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) guidelines for evaluating the efficacy of anthelmintics for dogs and cats / D. E. Jacobs, A. Arakawa, C. H. Courtney, M. A. Gemmell, J. W. McCall, C. H. Myers, O. Vanparijs // Vet. Parasitol. – 1994. – V. 52. – P. 179–202.
8. Mueller, R. S. Update on the diagnosis and treatment of fleas and mites. Proc. of the WSAVA Congress. Sydney, 2007; pp. 22–24.

УДК: 636.2.09:616.36-008.8-07
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.210

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ СОРБИТОЛА И «КЛАССИЧЕСКИМИ» БИОХИМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИМИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕЧЕНИ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Понамарёв В.С.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. фармакологии и токсикологии (ORCID 0000-0002-6852-3110)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* psevdopyos@mail.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, печень, диагностика, сорбитол, клиренс-тест, корреляционный анализ, АСТ, АЛТ, ЩФ, билирубин

Key words: cattle, liver, diagnostics, sorbitol, clearance test, correlation analysis, AST, ALT, ALP, bilirubin

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 24-26-00005 (https://rscf.ru/project/ 24-26-00005/)

Поступила: 25.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты исследования корреляционных взаимосвязей между клиренсом экзогенного сорбитола и активностью традиционных печеночных ферментов (АЛТ, АСТ, ЩФ) и уровнем общего билирубина у клинически здорового крупного рогатого скота. Установлены статистически значимые положительные корреляции между концентрацией сорбитола в плазме крови и уровнем АСТ и ЩФ, что свидетельствует о перспективности использования сорбитолового клиренс-теста в качестве раннего маркера функциональных нарушений печени. Полученные данные обосновывают необходимость дальнейших исследований для разработки новых средств доклинической диагностики гепатопатий у продуктивных животных. По результатам исследования не выявлено статистически достоверной корреляции между уровнем сорбитола и активностью АЛТ, а также концентрацией общего билирубина. Это может быть связано с большей органной специфичностью АСТ для печени КРС по сравнению с АЛТ, а также с тем, что уровень билирубина повышается при более серьезных и выраженных патологиях. Проведенное исследование установило наличие статистически значимых сильных положительных корреляционных взаимозависимостей между концентрацией экзогенного сорбитола после его нагрузочного введения и активностью ключевых «классических» печеночных ферментов – АСТ и ЩФ у клинически здорового крупного рогатого скота. Это свидетельствует о том, что сниже-

ние метаболического клиренса сорбитола тесно ассоциировано с начальными патобиохимическими сдвигами, характерными для повреждения гепатоцитов и холестаза. Полученные результаты данного исследования подтверждают перспективность использования клиренс-теста с сорбитолом в качестве высокочувствительного функционального теста для доклинической диагностики нарушений печени у КРС.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Актуальность поиска высокочувствительных и специфичных методов ранней диагностики патологий печени у крупного рогатого скота (КРС) обусловлена высокой экономической значимостью заболеваний гепатобилиарной системы в современном животноводстве. Гепатопатии, часто протекающие субклинически, приводят к значительному снижению продуктивности, репродуктивных качеств животных и повышению их выбраковки [1-4]. Существующие «классические» биохимические показатели крови (активность аланинаминотрансферазы – АЛТ, аспартатаминотрансферазы – АСТ, щелочной фосфатазы – ЩФ, концентрация общего билирубина) являются надежными маркерами, однако они часто реагируют уже на развившиеся цитолитические или холестатические процессы, то есть на стадии манифестации заболевания [5-8].

В связи с этим особую актуальность приобретают так называемые клиренс-тесты, позволяющие оценить именно функциональную сохранность органа, а не целостность его клеточных мембран. Одним из таких перспективных методов является оценка клиренса (скорости очищения крови) экзогенного сорбитола. Сорбитол является сахароспиртом, который метаболизируется преимущественно в печени под действием фермента сорбитолдегидрогеназы (КФ 1.1.1.14). Снижение скорости его элиминации из кровотока прямо коррелирует со снижением метаболической активности гепатоцитов и может служить ранним признаком их функциональной недостаточности, даже при отсутствии изменений стандартных биохимических параметров [9]. Целью данного исследования явился анализ корреляционных взаимозависимостей между содержанием экзогенного сорбитола и классическими биохимическими показателями крови у клинически здорового КРС для оценки информативности сорбитолового теста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проведено в одном из животноводческих хозяйств Псковской области на 30 голштинских коровах в возрасте 2-4 лет, клинически здоровых, подобранных по принципу пар аналогов (с учетом возраста, живой массы, физиологического состояния и продуктивности). Все животные содержались в идентичных условиях и получали стандартный рацион.

Забор крови для определения фоновых значений биохимических показателей осуществляли из яремной вены утром до кормления. В сыворотке крови определяли:

- Активность АЛТ и АСТ кинетическим методом по рекомендации IFCC [10];
- Активность ЩФ кинетическим методом [10];
- Концентрацию общего билирубина методом Йендрашека и Грофа [11].

После забора фоновых проб всем животным внутривенно струйно вводили раствор сорбитола из расчета 0.15 г/кг живой массы [12]. Повторный забор крови для определения концентрации сорбитола проводили через 40 минут после введения. Количественное определение концентрации сорбитола в плазме крови проводили ферментативным методом с использованием сорбитолдегидрогеназы [13 -15].

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ «Statistica 10.0». Для изучения силы и направленности связей между показателями применяли корреляционно-регрессионный анализ. Поскольку распределение большинства показателей отличалось от нормального (критерий

Шапиро-Уилка), для расчета тесноты связи использовали непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена (rs)[16]. Коэффициент Спирмена оценивает монотонную связь между двумя переменными, ранжированными по степени выраженности признака. Значение rs варьируется от -1 до +1, где +1 означает полную прямую корреляцию, -1 – полную обратную, а 0 – отсутствие связи. Статистически значимыми считали различия при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты корреляционного анализа между концентрацией сорбитола в плазме крови через 40 минут после введения и активностью классических печеночных ферментов представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, выявлены статистически значимые сильные положительные корреляционные связи между концентрацией экзогенного сорбитола и активностью АСТ ($rs=+0,72$; $p<0,01$) и ЩФ ($rs=+0,65$; $p<0,01$). Положительная корреляция означает, что с увеличением концентрации сорбитола в крови (то есть с уменьшением скорости его клиренса, что указывает на снижение метаболической функции печени) наблюдается рост активности данных ферментов.

АСТ является внутриклеточным ферментом, высвобождающимся при повреждении гепатоцитов. Высокая положительная корреляция с сорбитолом позволяет предположить, что начальные стадии функциональной недостаточности печени, фиксируемые замедлением метаболизма сорбитола, тесно связаны с процессами, ведущими к нарушению целостности мембран гепатоцитов и выходу АСТ в кровь.

ЩФ является маркером холестаза. Полученная корреляция может указывать на то, что снижение детоксикационной функции печени (замедленный клиренс сорбитола) ассоциировано с нарушениями в билиарном тракте, что отражается в повышении активности ЩФ.

Не выявлено статистически достоверной корреляции между уровнем сорбитола и активностью АЛТ, а также концентрацией общего билирубина. Это может быть связано с большей органной специфичностью АСТ для печени КРС по сравнению с АЛТ, а также с тем, что уровень билирубина повышается при более серьезных и выраженных патологиях.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции Спирмена (rs) между уровнем сорбитола и биохимическими показателями «печеночной панели»

Биохимический показатель	Коэффициент корреляции Спирмена (rs)	P-value (уровень значимости)
Аспартатаминотрансфераза (АСТ)	+0.72	< 0.01
Щелочная фосфатаза (ЩФ)	+0.65	< 0.01
Аланинаминотрансфераза (АЛТ)	+0.31	> 0.05
Общий билирубин	+0.28	> 0.05

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование установило наличие статистически значимых сильных положительных корреляционных взаимозависимостей между концентрацией экзогенного сорбитола после его нагрузочного введения и активностью ключевых «классических» печеночных ферментов – АСТ и ЩФ у клинически здорового крупного рогатого скота. Это свидетельствует о том, что снижение метаболического клиренса сорбитола тесно ассоциировано с начальными патобиохимическими сдвигами, характерными для повреждения гепатоцитов и холестаза.

Полученные результаты подтвержда-

ют перспективность использования клиренс-теста с сорбитолом в качестве высокочувствительного функционального теста для доклинической диагностики нарушений печени у КРС.

Перспективы дальнейших исследований включают: проведение аналогичных исследований на группах животных с экспериментально смоделированными и спонтанно возникшими гепатопатиями; сопоставление динамики клиренса сорбитола с данными гистологических исследований биоптатов печени; разработку стандартизированных протоколов и референсных значений сорбитолового нагрузочного теста для различных половозрастных групп КРС.

CORRELATION BETWEEN THE CONTENT OF SORBITOL AND "CLASSICAL" BIOCHEMICAL INDICATORS OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE LIVER IN CATTLE

Ponamarev V.S.* – PhD in Veterinary Medicine, Associate Professor at the Department of Pharmacology and Toxicology (ORCID 0000-0002-6852-3110)

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine

* psevdopyos@mail.ru

Acknowledgments: *The study was funded by the Russian Science Foundation under the research project No. 24-26-00005 (https://rscf.ru/project/ 24-26-00005/).*

ABSTRACT

The article presents the results of a study of correlations between the clearance of exogenous sorbitol and the activity of traditional liver enzymes (ALT, AST, ALP) and the level of total bilirubin in clinically healthy cattle. Statistically significant positive correlations have been established between the concentration of sorbitol in blood plasma and the level of AST and alkaline phosphatase, which indicates the promising use of the sorbitol clearance test as an early marker of liver functional disorders. The data obtained substantiate the need for further research to develop new means of preclinical diagnosis of hepatopathy in productive animals. According to the results of the study, there was no statistically significant correlation between the level of sorbitol and the activity of ALT, as well as the concentration of total bilirubin. This may be due to the greater organ specificity of AST for the liver of cattle compared to ALT, as well as the fact that bilirubin levels increase with more serious and pronounced pathologies. The conducted study established the presence of statistically significant strong positive correlations between the concentration of exogenous sorbitol after its loading administration and the activity of key "classical" liver enzymes – AST and ALP in clinically healthy cattle. This indicates that a decrease in the metabolic clearance of sorbitol is closely associated with the initial pathobiochemical shifts characteristic of hepatocyte damage and cholestasis. The results of this study confirm the prospects of using the sorbitol clearance test as a highly sensitive functional test for preclinical diagnosis of liver disorders in cattle.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баймишев Х.Б., Идрисов Р.Р. Болезни печени у высокопродуктивных коров: диагностика и профилактика // Ветеринария. – 2020. – № 5. – С. 3-8.
2. Анализ причин выбытия крупного рогатого скота мясных пород / В. А. Мищенко, А. В. Мищенко, В. В. Думова, О. Ю. Черных // Ветеринария Кубани. – 2014. – № 3. – С. 19-22.
3. Тумилович, Г. А. Методика прижизненной диагностики патологии печени крупного рогатого скота при заболеваниях обмена веществ / Г. А. Тумилович, Д. Н. Харитоник // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции в 2 кн., Барнаул, 09–10 февраля 2021 года. Том Книга 2. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2021. – С. 199-201.
4. Абрамов, А. А. Исследование профилактического действия филоквертина при гепатопатиях молочного скота в условиях молочно-товарной фермы / А. А. Абра-

мов, Е. В. Рогалева, М. П. Семененко // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 253-256. – DOI 10.48612/sbornik-2022-1-62.
5. Маркеры эндогенной интоксикации при гепатопатиях молочного скота / Е. В. Кузьминова, А. А. Абрамов, М. П. Семененко [и др.]. – Краснодар: Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, 2022. – 45 с. – ISBN 978-5-906643-46-9. – DOI 10.48612/monograph-2023-7.
6. Серова, Е. А. Диагностика заболеваний печени у коров / Е. А. Серова, А. А. Логинова // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам, Вологда, 03 апреля 2025 года. – Вологда-Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2025. – С. 128-133.
7. Голодяева, М. С. Ранняя диагностика биохимического статуса у коров-первотелок при гепатозе / М. С. Голодяева, А. Я. Батраков // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2018. – № 4. – С. 126-128.
8. Экспертные системы в повышении эффективности диагностики заболеваний печени у животных / М. П. Семененко, Е. В. Кузьминова, С. И. Кононенко [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2018. – № 11. – С. 62-68.
9. Parrah J.D., Moulvi B.A., Gani T.A., et al. Significance of Load Tests in Diagnosis of Liver Disorders in Bovines: A Review // Veterinary Research. – 2013. – Vol. 6(2). – P. 30-35.
10. Wimberley, P D et al. “International Federation of Clinical Chemistry (IFCC): Scientific Division, Committee on pH, Blood Gases and Electrolytes: Guidelines for Transcutaneouspo(2)andpco(2) Measurement.” The Journal of automatic chemistry vol. 11,5 (1989): 235-9. doi:10.1155/S1463924689000465
11. Капелькин, А. М. Гематологический и биохимический статус коров черно-пестрой породы в период лактации / А. М. Капелькин, Н. А. Дудченко, А. А. Томилов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2015. – Т. 1, № 8. – С. 424-427.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025681323 Российская Федерация. Программа для расчёта фармакокинетических параметров экзогенного сорбитола у крупного рогатого скота: заявл. 01.07.2025: опубл. 13.08.2025 / В. С. Понамарев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины".
13. Gerlachet M., Sendid B., Poulain D., Malaisse W.J. Sensitive and specific determination of sorbitol and fructose in biological samples // Clinical Biochemistry. – 1996. – Vol. 29(3). – P. 295–298.
14. West C. D., Rapoport S. Modification of Colorimetric Method for determination of Mannitol and Sorbitol in Plasma and Urine. Experimental Biology and Medicine. 1949;70(1):141-142.
15. Corcoran A. C., Page I. H. A method for the determination of mannitol in plasma and urine. Journal of Biological Chemistry. 1947;5(1):130.
16. Хоконова Тамара Муратовна, Хоконова Мадина Зуровна Роль непараметрических методов статистики в медико-биологических исследованиях // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2014. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-neparametricheskih-metodov-statistiki-v-mediko-biologicheskih-issledovaniyah (дата обращения: 10.06.2025).

REFERENCES

1. Baymishev H.B., Idrisov R.R. Liver diseases in highly productive cows: diagnosis and prevention // Veterinary medicine. 2020. No. 5. pp. 3-8.
2. Analysis of the causes of the disposal of beef cattle / V. A. Mishchenko, A.V. Mishchenko, V. V. Dumova, O. Yu. Chernykh // Veterinary medicine of Kuban. - 2014. – No. 3. – pp. 19-22.
3. Tumilovich, G. A. Methods of lifetime diagnosis of liver pathology in cattle with

metabolic diseases / G. A. Tumilovich, D. N. Kharitonik // Agrarian science for agriculture: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference in 2 volumes, Barnaul, February 09-10, 2021. Volume 2. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2021. pp. 199-201.
4. Abramov A. A., Rogaleva E. V., Semenenko M. P. Investigation of the preventive effect of philokvertin in hepatopathy of dairy cattle in dairy farm conditions // Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine. – 2022. – Vol. 11, No. 1. – pp. 253-256. – DOI 10.48612/sbornik-2022-1-62 .
5. Markers of endogenous intoxication in dairy cattle hepatopathies / E. V. Kuzminova, A. A. Abramov, M. P. Semenenko [et al.]. – Krasnodar: Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine, 2022. – 45 p. – ISBN 978-5-906643-46-9. – DOI 10.48612/monograph-2023-7.
6. Serova, E. A. Diagnostics of liver diseases in cows / E. A. Serova, A. A. Loginova // Young researchers of agro–industrial and forestry complexes - by region, Vologda, April 03, 2025. Vologda-Molochnoye: Vologda State Agricultural Academy, 2025, pp. 128-133.
7. Golodyaeva, M. S. Early diagnosis of the biochemical status in first-calf cows with hepatosis / M. S. Golodyaeva, A. Ya. Batrakov // Issues of regulatory regulation in veterinary medicine. - 2018. – No. 4. – pp. 126-128.
8. Expert systems in improving the effectiveness of liver disease diagnosis in animals / M. P. Semenenko, E. V. Kuzminova, S. I. Kononenko [et al.] // Veterinary medicine, animal science and biotechnology. - 2018. – No. 11. – pp. 62-68.
9. Parrah J.D., Moulvi B.A., Gani T.A., et al. Significance of Load Tests in Diagnosis of Liver Disorders in Bovines: A Review // Veterinary Research. – 2013. – Vol. 6(2). – P. 30-35.
10. Wimberley, P D et al. “International Federation of Clinical Chemistry (IFCC): Scientific Division, Committee on pH, Blood Gases and Electrolytes: Guidelines for Transcutaneouspo(2)andpco(2) Measurement.” The Journal of automatic chemistry vol. 11,5 (1989): 235-9. doi:10.1155/S1463924689000465
11. Kapelkin, A.M. Hematological and biochemical status of black-and-white cows during lactation / A.M. Kapelkin, N. A. Dudchenko, A. A. Tomilov // Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Breeding. - 2015. – Vol. 1, No. 8. – pp. 424-427.
12. Certificate of state registration of the computer program No. 2025681323 Russian Federation. A program for calculating the pharmacokinetic parameters of exogenous sorbitol in cattle : application 07/01/2025 : published 08/13/2025 / V. S. Ponamarev ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine".
13. Gerlachet M., Sendid B., Poulain D., Malaisse W.J. Sensitive and specific determination of sorbitol and fructose in biological samples // Clinical Biochemistry. – 1996. – Vol. 29(3). – P. 295–298.
14. West C. D., Rapoport S. Modification of Colorimetric Method for determination of Mannitol and Sorbitol in Plasma and Urine. Experimental Biology and Medicine. 1949;70(1):141-142.
15. Corcoran A. C., Page I. H. A method for the determination of mannitol in plasma and urine. Journal of Biological Chemistry. 1947;5(1):130.
16. Hokonova T.M., Hokonova M. Z.The role of nonparametric statistical methods in biomedical research // APRIORI. Series: Natural and Technical Sciences. 2014. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rol-neparametricheskih-metodov-statistiki-v-mediko-biologicheskih-issledovaniyah (date of request: 09/06/2025).

УДК: 616.36-002.7
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.216

КОНЦЕНТРАЦИИ УРОВНЯ CYPOR ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАТОЛОГИЯХ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

Ефимов В.Я. – асп. каф. фармакологии и токсикологии; **Кострова А.В.** – асп. каф. фармакологии и токсикологии

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*alef_z@mail.ru

Ключевые слова: *CYP450, заболевания желудочно-кишечного тракта, фермент метаболизма ксенобиотиков.*

Key words: *CYP450, gastrointestinal diseases, xenobiotic metabolism enzyme.*

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 24-76-10011 (https://rscf.ru/project/24-76-10011/)

Поступила: 02.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2026**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Лекарственные препараты составляют большую часть ксенобиотиков, и понимание процессов фармако- и токсикокинетики является превалирующем. Так же в литературе остается открытым вопрос о влиянии на биотрансформацию лекарственных средств - эндогенной среды, которая меняется в зависимости от стадии и формы развития всех заболеваний как заразной, так и незаразной этиологии. Основная цель данного исследования- изучить влияние введения экзогенного цитохрома на уровни CYPOR при различных патологиях ЖКТ. Для исследования было сформировано пять групп лабораторных крыс (исследования одобрены ЛЭК при ФГБОУ ВО СПбГУВМ, протокол №2, от 20.04.2025 г.), весом 180-195 г., обоего пола по 10 голов в группе (самцы и самки находились раздельно). В результате проведенных исследований, мы сделали вывод, что достоверных различий между самцами и самками установлено не было. Все значения находились в пределах референсных интервалов. При индуцированных патологиях печени у подопытных животных наблюдалось повышение уровня CYPOR, что связано с нарастанием эндогенной интоксикацией и повышенной экспрессией цитохрома в ответ на эту интоксикацию, что в рамках компенсаторных механизмов вызывает и усиленную индукцию CYPOR. При индуцировании патологий ЖКТ наблюдалось незначительное увеличение CYPOR, так как данные патологии, несмотря на точку экспрессии цитохрома, проходят без его участия. Введение же экзогенного цитохрома при патологиях значительно увеличивало уровни CYPOR. Таким образом, результаты исследования подтверждают, что введение экзогенного цитохрома может стимулировать биосинтез CYPOR, особенно при патологиях печени, что открывает перспективы для дальнейших исследований в области фармакотерапии заболеваний печени с использованием цитохромов и регуляции CYPOR

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Окислительный метаболизм является одной из основных реакций биотрансформации, которая регулирует экспозицию ксенобиотиков и их метаболитов в системе кровообращения и местных тканях и органах, а также влияет на их эффективность и токсичность. Несмотря на то, что цитохромы (CY)P450 играют важнейшую роль в окислительной реакции, обширный CYP450-независимый окислительный метаболизм также происходит в некоторых ксенобиотиках, таких как альдегидоксидаза, ксантиноксидоредуктаза, флавинсодержащая монооксигеназа, моноаминоксидаза, алкогольдегидрогеназа, или альдегиддегидрогеназа-зависимый окислительный метаболизм. Лекарственные препараты составляют большую часть ксенобиотиков, и понимание процессов фармако- и токсикокинетики является превалирующем. Так же в литературе остается открытым вопрос о влиянии на биотрансформацию лекарственных средств - эндогенной среды, которая меняется в зависимости от стадии и формы развития всех заболеваний как заразной, так и незаразной этиологии.

Так же остается вопрос о факторах, влияющих на синтез цитохрома. Спорным остается и вопрос о влиянии на их экспрессию, поэтому для получения ответов требуются поисковые исследования и их структуризация. Особенно при влияние эндогенной среды на уровень фермента, а также его значения при различных патологиях ЖКТ [1,2].

Несмотря на то, что NADPH-цитохром P450 редуктаза (CYPOR) является хорошо изученным ферментом, ее регуляторная функция долгое время рассматривалась как статичная. Данное исследование смещает парадигму, предлагая рассматривать CYPOR как динамичный и регулируемый элемент монооксигеназной системы. Выдвинутая гипотеза о существовании прямой положительной обратной связи между уровнем цитохромов и экспрессией их редокс-партнера открывает новое направление для изучения координированной регуляции метаболических путей [3-5].

Понимание механизмов регуляции CYPOR имеет непосредственное значение для фармакологии [6,7]. Поскольку данный фермент опосредует метаболизм огромного количества лекарственных препаратов, искусственная модуляция его активности может стать новой стратегией для:

1) Управления биодоступностью лекарств: целенаправленное усиление или подавление метаболизма фармакологических агентов.
2) Повышения эффективности терапии: защита действующих веществ от преждевременной инактивации в печени.
3) Снижения лекарственной токсичности: ускорение выведения токсичных метаболитов.
4) Преодоления лекарственной устойчивости.

Основная цель данного исследования-изучить влияние введения экзогенного цитохрома на уровни CYPOR при различных патологиях ЖКТ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для исследования было сформировано пять групп лабораторных крыс (исследования одобрены ЛЭК при ФГБОУ ВО СПбГУВМ, протокол №2, от 20.04.2025 г.), весом 180-195 г., обоего пола по 10 голов в группе (самцы и самки находились раздельно). Первая группа была интактной, вторая с индуцированным токсическим гепатитом (с использованием метилтрихлорида, патент RU2821264C1), третья с индуцированным язвенным поражением желудка и кишечника, так как сам CYPOR в небольших количествах продуцируется в этих органах (с использованием индометацина, патент RU2269161C2), дозировки использовали на основании таблиц перерасчетов по Хабриеву Р.У. (2012), четвертая группа - с индуцированным токсическим гепатитом, которым вводили в течение 7 дней препарат цитохром С (САМСОН-МЕД, ООО (Россия), дозировки использовали с помощью таблицы пересчёта по Хабриеву Р.У. (2012) [8]. Последняя группа была с

индуцированным язвенным поражением желудка и кишечника и введением в течение 7 дней препарата цитохром С (САМСОН-МЕД, ООО (Россия)), дозировки использовали с помощью таблицы пересчёта по Хабриеву Р.У.

По окончании карантинирования лабораторные крысы были эвтаназированы гуманным способом с целью получения печёночного гомогената. Для этого отобранная печень помещалась в специальную среду суспендирования для гомогенизации тканей (pH=7,4; основа среды-трис-HCl буфер с добавлением 0,25М сахарозы и небольшого количества этилендиаминтетрауксусной кислоты и натриевой соли с целью связывания двухвалентных ионы металлов и глутатиона для препятствования переокислению липидных компонентов. Далее с помощью гомогенизатора (Stegler S10, Китай) получали 10 гомогенатов (1 г ткани на 9 мл вышеуказанной среды), который анализировали методом иммуноферментного анализа (набор лежит в холодильнике, списать название).

Полученные результаты подвергали статистической обработке с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica v 10. Рассчитывали среднюю арифметическую и ошибку средней. Достоверность различия между выборками оценивали с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. При проверке статистических гипотез использовали 5% уровень значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате проведенных исследований, мы сделали вывод, что достоверных различий между самцами и самками установлено не было. Все значения находились в пределах референсных интервалов. Так в группе с индуцированным токсическим гепатитом уровень CYPOR у самцов и самок составил 4,97±0,53 и 4,71 ± 0,39, соответственно, что превышает аналогичный показатель в интактной группе в 2,7 и 2,1 раз, соответственно. В группе с индуцированным язвенным поражением желудка и кишечника уровень CYPOR составил у самцов и самок 2,68±0,24 и 2,83 ± 0,3, соответственно, и выше показателя интактной группы в 1,45 и 1,24 раза. Основные результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни CYPOR у подопытных животных (в нг/мл, n=5)

Группа/Пол	Самцы	Самки
1 группа	1,84±0,18	2,16±0,32
2 группа	4,97±0,53*	4,71 ± 0,39*
3 группа	2,68±0,24*	2,83 ± 0,37*
4 группа	9,16 ± 1,62*	9,45 ± 1,19*
5 группа	6,57 ± 0, 91*	7,14 ± 1,06*

* - достоверное отличие с интактной группой

Полученные данные выявляют фундаментальную значимость NADPH-цитохром P450 редуктазы (CYPOR) как центрального метаболического хаба, опосредующего адаптивный клеточный ответ на патологические воздействия. Наиболее рельефно эта роль проявляется в условиях острого повреждения печени, где индукция экспрессии CYPOR, вероятно, представляет собой компенсаторный механизм, направленный на усиление детоксикационного потенциала гепатоцитов. Это позволяет более эффективно утилизировать ксенобиотики и эндогенные токсины, предотвращая их накопление и минимизируя клеточный стресс.

Напротив, в патологиях желудочно-кишечного тракта (например, язвенной болезни), где метаболизм с участием цитохромов P450 не является доминирующим патогенетическим звеном, динамика уровня CYPOR оказывается статистически менее значимой. Этот контраст подчеркивает тканеспецифичный характер

регуляции данного фермента.

Ключевым наблюдением, подтверждающим гипотезу о прямом регуляторном влиянии, является значительная индукция CYPOR в ответ на введение экзогенных цитохромов. Это позволяет предположить существование положительной обратной связи, в которой субстраты (цитохромы P450) выступают в роли сигнальных молекул, потенциально стимулируя биосинтез своего редокс-партнера – CYPOR. Однако для установления точного молекулярного механизма (транскрипционный контроль, стабилизация мРНК или белка) требуются дальнейшие целенаправленные исследования.

При интерпретации результатов важно учитывать методологические ограничения исследования. В настоящей работе оценка уровня CYPOR проводилась путем измерения концентрации белка в плазме крови. Хотя этот подход демонстрирует системный отклик организма, он не отражает напрямую изменения ферментативной активности и уровня экспрессии CYPOR в конкретных тканях-мишенях, таких как печень или слизистая оболочка ЖКТ. Для более детального картирования роли CYPOR при различных патологиях необходимы последующие исследования с использованием методов иммуногистохимии и вестерн-блоттинга на биоптатах тканей.

Полученные нами данные открывают перспективы для прикладного применения мониторинга уровня CYPOR. Выявленная значительная индукция фермента в условиях гепатотоксичности позволяет рассматривать его в качестве потенциального прогностического биомаркера для оценки тяжести повреждения печени и эффективности проводимой детоксикационной терапии. Кроме того, подтверждение гипотезы о положительной обратной связи между цитохромами P450 и CYPOR может лечь в основу новых фармакологических стратегий, направленных на модуляцию активности этой системы для усиления детоксикации или, напротив, для снижения метаболизма пролекарств в целевых тканях.

Таким образом, CYPOR функционирует не просто как пассивный фермент, а как динамичный регуляторный узел, критически важный для поддержания метаболического гомеостаза в условиях патологии. Его экспрессия в печени является показателем, отражающим степень токсической нагрузки и активность цитохром P450-зависимых путей. В то же время, в тканях с иным метаболическим профилем, таких как ЖКТ, его регуляторная роль при специфических нозологиях оказывается существенно менее выраженной.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенный анализ позволяет рассматривать NADPH-цитохром P450 редуктазу (CYPOR) не только как ключевой фермент метаболизма ксенобиотиков, но и как важнейший регуляторный элемент в адаптационном ответе организма на патологическое воздействие. Полученные данные убедительно демонстрируют тканеспецифичный характер этого ответа: в печени индукция CYPOR является маркером активации мощных защитных механизмов, направленных на детоксикацию, в то время как в тканях ЖКТ, не столь зависимых от системы цитохромов, динамика фермента выражена слабо.

Важным следствием нашего исследования является пересмотр CYPOR с исполнительного на интегрирующий уровень. Обнаруженная положительная обратная связь между пулом цитохромов P450 и экспрессией их редокс-партнера указывает на существование ранее не описанного механизма саморегуляции монооксигеназной системы. Это позволяет рассматривать комплекс CYP450/CYPOR не как статичный набор ферментов, а как динамичную, способную к адаптации метаболом-подобную структуру, которая модулирует свою мощность в соответствии с метаболическим запросом. Данное положение принципиально важно для фармакокинетики, так как объясняет вариабельность скорости метаболизма лекарственных средств при различных патологических состояниях.

Клиническая значимость полученных результатов заключается в идентифика-

ции нового потенциального биомаркера. Мониторинг уровня CYPOR в плазме крови может стать ценным инструментом для неинвазивной оценки функционального резерва печеночной детоксикации и прогнозирования исхода при острых интоксикациях, гепатитах и других патологиях, связанных с токсической нагрузкой. Кроме того, понимание регуляторных взаимоотношений внутри системы открывает перспективы для разработки новых терапевтических стратегий, направленных на целевое усиление или подавление метаболизма ксенобиотиков через воздействие на ключевой регуляторный узел – CYPOR.

Ключевым открытием представляется выявленная прямая корреляция между уровнем цитохромов и экспрессией CYPOR. Обнаруженный эффект от введения экзогенных цитохромов свидетельствует в пользу гипотезы о наличии положительной обратной связи, в рамках которой субстраты способны стимулировать биосинтез своего редокс-партнера. Это открывает новые перспективы для понимания механизмов координации работы монооксигеназной системы.

Таким образом, уровень CYPOR может служить ценным диагностическим и прогностическим индикатором тяжести течения и компенсаторных возможностей организма при острых печеночных патологиях. Для полного раскрытия терапевтического потенциала управления данной системой необходимы дальнейшие исследования, направленные на расшифровку точных молекулярных механизмов регуляции гена CPR и изучение сигнальных путей, вовлеченных в этот процесс.

CYPOR CONCENTRATION LEVELS IN VARIOUS PATHOLOGIES OF THE GASTROINTESTINAL TRACT

Efimov V. – graduate student of the Department of Pharmacology and Toxicology; **Kostrova A.V.** – graduate student of the Department of Pharmacology and Toxicology

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*alef_z@mail.ru

Acknowledgments: *The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 24-76-10011 (https://rscf.ru/project/24-76-10011/)*

ABSTRACT

Medicines make up the majority of xenobiotics, and understanding the processes of pharmaco- and toxicokinetics is prevailing. Also, the question of the influence of the endogenous environment on the biotransformation of drugs, which changes depending on the stage and form of development of all diseases of both infectious and non-infectious etiology, remains open in the literature. The main objective of this study is to study the effect of exogenous cytochrome administration on CYPOR levels in various gastrointestinal pathologies. Five groups of laboratory rats were formed for the study (the studies were approved by the LEC at the FSBEI HE SPbGUVM, protocol No. 2, dated 04/20/2025), weighing 180-195 g, of both sexes, 10 heads per group (males and females were separately). As a result of the studies, we concluded that no reliable differences were found between males and females. All values were within the reference intervals. In induced liver pathologies in experimental animals, an increase in CYPOR levels was observed, which is associated with an increase in endogenous intoxication and increased expression of cytochrome in response to this intoxication, which, within the framework of compensatory mechanisms, also causes increased induction of CYPOR. When induced gastrointestinal pathologies, an insignificant increase in CYPOR was observed, since these pathologies, despite the point of expression of cytochrome, occur without its participation. The introduction of exogenous cytochrome in pathologies significantly increased CYPOR levels. Thus, the results of the study confirm that the introduction of exogenous cytochrome can stimulate CYPOR biosynthesis, especially in liver pathologies, which opens up prospects for further research in

the field of pharmacotherapy of liver diseases using cytochromes and CYPOR regulation.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Наполов, А. А. Анализ причин возникновения, способов лечения и профилактики жировой дистрофии печени у коров / А. А. Наполов, Ю. Г. Крысенко // Современные тенденции технологического развития АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Десятилетию науки и технологий и 300-летию Российской академии наук, Ижевск, 24–26 февраля 2025 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2025. – С. 259-263. – EDN VQSKLE;

2. Шкуратова И.А., Дроздова Л.И., Белоусов А.И., Красноперов А.С. Взаимосвязь морфо-биохимических показателей как инструмент повышения эффективности диагностики заболеваний печени у высокопродуктивных коров // Известия Международной академии аграрного образования. - Вып. № 68. – 2023. – С. 6-13.

3. Ponamarev, V. Methods for determining Cytochrome P450 reductase in biological fluids of animals / V. Ponamarev // BIO Web of Conferences. – 2025. – Vol. 160. – P. 01030. – DOI 10.1051/bioconf/202516001030.

4. Gardner, P. R. Nitric oxide metabolism in mammalian cells: Substrate and inhibitor profiles of a NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase-coupled microsomal nitric oxide dioxygenase / P. R. Gardner, C. K. Hallstrom, A. M. Gardner // Free Radical Biology & Medicine. – 2004. – Vol. 37, No. 2. – P. 216-228. – DOI 10.1016/j.freeradbiomed.2004.04.031.

5. Masters, B. S. Cytochromes P450 - A family of proteins and scientists-understanding their relationships / B. S. Masters, C. C. Marohnic // Drug Metabolism Reviews. – 2006. – Vol. 38, No. 1-2. – P. 209-225. – DOI 10.1080/03602530600570065.

6. Structure and function of an NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase in an open conformation capable of reducing cytochrome P450 / D. Hamdane, S. C. Im, H. Zhang [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2009. – Vol. 284, No. 17. – P. 11374-11384. – DOI 10.1074/jbc.M807868200.

7. Structural and kinetic investigations of the carboxy terminus of NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase / P. A. Hubbard, Ch. Xia, A. L. Shen, Ju. Ja. P. Kim // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2021. – Vol. 701. – P. 108792. – DOI 10.1016/j.abb.2021.108792.

8. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. Под общей редакцией Р.У. Хабриева - Издание 2-е, переработанное и дополненное. - Москва: Издательство "Медицина", 2005. - 832 с.

REFERENCES

1.Napolov, A. A. Analysis of the causes, methods of treatment and prevention of fatty liver in cows / A. A. Napolov, Yu.G. Krysenko // Modern trends in the technological development of agriculture: Materials of the International Scientific and practical Conference dedicated to the Decade of Science and Technology and the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, February 24-26, 2025 of the year. Izhevsk: Udmurt State Agrarian University, 2025. pp. 259-263. - EDN VQSKLE;

2. Shkuratova I.A., Drozdova L.I., Belousov A.I., Krasnoperov A.S. Interrelation of morpho-biochemical parameters as a tool for improving the effectiveness of liver disease diagnosis in highly productive cows // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. - Issue No. 68. – 2023. – pp. 6-13.

3. Ponamarev, V. Methods for determining Cytochrome P450 reductase in biological fluids of animals / V. Ponamarev // BIO Web of Conferences. – 2025. – Vol. 160. – P. 01030. – DOI 10.1051/bioconf/202516001030.

4. Gardner, P. R. Nitric oxide metabolism in mammalian cells: Substrate and inhibitor profiles of a NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase-coupled microsomal nitric oxide dioxygenase / P. R. Gardner, C. K. Hallstrom, A. M. Gardner // Free Radical Biolo-

gy & Medicine. – 2004. – Vol. 37, No. 2. – P. 216-228. – DOI 10.1016/j.freeradbiomed.2004.04.031.
5. Masters, B. S. Cytochromes P450 - A family of proteins and scientists-understanding their relationships / B. S. Masters, C. C. Marohnic // Drug Metabolism Reviews. – 2006. – Vol. 38, No. 1-2. – P. 209-225. – DOI 10.1080/03602530600570065.
6. Structure and function of an NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase in an open conformation capable of reducing cytochrome P450 / D. Hamdane, S. C. Im, H. Zhang [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2009. – Vol. 284, No. 17. – P. 11374-11384. – DOI 10.1074/jbc.M807868200.
7. Structural and kinetic investigations of the carboxy terminus of NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase / P. A. Hubbard, Ch. Xia, A. L. Shen, Ju. Ja. P. Kim // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2021. – Vol. 701. – P. 108792. – DOI 10.1016/j.abb.2021.108792.
8. Guidelines for the experimental (preclinical) study of new pharmacological substances. Under the general editorship of R.U. Khabriev - 2nd Edition, revised and expanded. - Moscow: Publishing house "Medicine", 2005. - 832 p.

УДК: 616.36-002.7
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.223

ВАРИАТИВНОСТЬ УРОВНЯ CYPOR В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА ОБРАЗЦОВ ТКАНЕЙ

Попова О.С.* – канд. ветеринар. наук, доц., доц. каф. фармакологии и токсикологии (ORCID 0000-0002- 0650-0837); **Былинская Д.С.** – канд. ветеринар. наук., доц., доц. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0001-9997-5630)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* alef_z@mail.ru

Ключевые слова: *CYP450, печень, метаболизм ксенобиотиков.*
Key words: *CYP450, liver, xenobiotic metabolism.*
Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 24-76-10011 (https://rscf.ru/project/24-76-10011/)

Поступила: 25.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Значительное количество ферментов CYP450 организма млекопитающих локализуется в гепатоцитах, что обуславливает высокую метаболическую способность печени по отношению к большинству чужеродных веществ. В связи с тем, что в научной литературе нет данных о концентрации CYP450 в организме лабораторных крыс в зависимости от характера образцов тканей, основная цель нашего исследования включала изучение вариабельности уровня концентрации CYPOR в различном биоматериале (сыворотка крови, гомогенаты печени). Для исследования было сформировано несколько групп лабораторных крыс, весом 180-195 г., обоего пола (n=100). По окончанию карантинирования лабораторные крысы были эвтаназированы гуманным способом (ЛЭК при ФГБОУ ВО СПбГУВМ, протокол №2, от 20.04.2025 г.) с целью получения печёночного гомогената. Для этого пробы помещали в специальную среду суспендирования для гомогенизации тканей (pH=7,4; основа среды- трис-HCl буфер с добавлением 0,25М сахарозы и небольшого количества этилендиаминтетрауксусной кислоты и натриевой соли с целью связывания двухвалентных ионы металлов и глутатиона для препятствования переокислению липидных компонентов. Далее с помощью гомогенизатора (Stegler S10, Китай) получали 20 образцов гомогената (1 г ткани на 9 мл вышеуказанной среды), который анализировали методом иммуноферментного анализа. В результате исследования, полученные результаты в сыворотке крови были статистически не достоверны, и составили цифры интервалом от 0 до 470 нг/мл, и часто выходили за пределы чувствительности метода определения. В гомогенатах же печени была противоположная картина, где интервал был от 0,650 до 11,8 нг/мл, данные были репрезентативные, достоверные.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Значительное количество ферментов CYP450 организма млекопитающих локализуется в гепатоцитах, что обуславливает высокую метаболическую способность печени по отношению к большинству чужеродных веществ [1].

Поступившие внутрь ксенобиотики первоначально всасываются желудочно-кишечным трактом и транспортируются через циркуляцию воротных вен в печень, где они подвергаются первому прохождению метаболизма, прежде чем попасть в системный кровоток [2-5]. С другой стороны, ксенобиотики, поступающие в организм через ингаляцию или кожную абсорбцию, обходят первый этап печеночного метаболизма и достигают системного кровообращения.

Фермент CYPOR (цитохром P450 оксиредуктаза) играет ключевую роль в метаболизме ксенобиотиков, обеспечивая электронный перенос к цитохромам P450, что необходимо для их каталитической активности. Цитохромы P450 представляют собой группу гемсодержащих ферментов, которые участвуют в биотрансформации широкого спектра эндогенных и экзогенных соединений, включая лекарственные препараты [6-8]. Понимание механизмов, регулирующих активность CYPOR, имеет важное значение для прогнозирования фармако- и токсикодинамики ксенобиотиков.

В последние годы значительное внимание уделяется изучению роли CYPOR в различных биологических процессах. Исследования показали, что изменения в экспрессии и активности CYPOR могут существенно влиять на метаболизм лекарственных средств, что, в свою очередь, может приводить к изменениям в их эффективности и безопасности [9-11]. Например, некоторые научные работы [12 -14] продемонстрировали, что полиморфизмы в гене CYPOR могут быть связаны с изменениями в метаболизме антикоагулянтов, таких как варфарин, что подчеркивает клиническую значимость этого фермента.

Кроме того, CYPOR играет важную роль в реализации детоксикационного потенциала организма. Исследования показали [15,16], что ингибирование CYPOR может приводить к накоплению токсичных метаболитов, что усиливает токсическое воздействие на организм. Это указывает на необходимость дальнейшего изучения механизмов регуляции CYPOR для разработки стратегий минимизации токсического воздействия ксенобиотиков.

В связи с тем, что в научной литературе нет данных о концентрации CYP450 в организме лабораторных крыс в зависимости от характера образцов тканей, основная цель нашего исследования включала изучение вариабельности уровня концентрации CYPOR в различном биоматериале (сыворотка крови, гомогенаты печени).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для исследования было сформировано две группы лабораторных крыс, весом 180-195 г., обоего пола (n=100). По окончанию карантинирования лабораторные крысы первой группы были эвтаназированы гуманным способом (ЛЭК при ФГБОУ ВО СПбГУВМ, протокол №1, от 20.01.2025 г.) с целью получения печёночного гомогената. Для этого пробы помещали в специальную среду суспендирования для гомогенизации тканей (pH=7,4; основа среды- трис-HCl буфер с добавлением 0,25M сахарозы и небольшого количества этилендиаминтетрауксусной кислоты и натриевой соли с целью связывания двухвалентных ионы металлов и глутатиона для препятствования переокислению липидных компонентов. Далее с помощью гомогенизатора (Stegler S10, Китай) получали 20 образцов гомогената (1 г ткани на 9 мл вышеуказанной среды), который анализировали методом иммуноферментного анализа на анализаторе StatFax 4200 (США).

У лабораторных крыс второй группы кровь получали пункцией хвостовой вены [17,18]. Исследования проводили с помощью набора ELISA Kit for Cytochrome P450 Reductase (CPR) (SED312Ra) (Cloud-

Clone Corp.). Для этого по инструкции добавляли 100 мкл образца в каждую лунку, инкубировали 1 час при 37°С, аспирировали и далее добавляли 100 мкл готового реагента для обнаружения реагента А. Инкубировали 1 час при 37°С.

После нескольких промывок, добавляли 100 мкл готового реагента для обнаружения В, по той же схеме инкубации 30 мин, и после нескольких промывок добавляли 90 мкл раствора субстрата, с инкубацией 10 при 37°С. Добавили 50 мкл стоп-раствора и делали расчет на длине волны на 450 нм.

Перед началом эксперимента, с целью определения клинического статуса животных, проводили исследования крови, в том числе определяли показатели: гемоглобин, эритроциты, лейкоциты, тромбоциты, гематокрит, АСТ, АЛТ, ЩФ, общий белок, билирубин общий, креатинин, мочевина, глюкоза, холестерин, кальций, фосфор. Биохимические и гематологические исследования проводились до начала эксперимента. Кровь получали пункцией хвостовой вены.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Основным и обязательным критерием для включения подопытных крыс в дальнейший эксперимент по изучению уровней цитохром Р450 редуктазы (CYPOR) являлось их полное клиническое здоровье, которое оценивалось по комплексу параметров, включая данные визуального осмотра, отсутствие признаков инфекционных или системных заболеваний, нормальные показатели массы тела и поведения, что было необходимо для обеспечения валидности получаемых биохимических данных и исключения влияния на активность фермента побочных патологических состояний. Данные отражены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Клинические исследования крови крыс в эксперименте (n=100)

Показатель, ед.измер.	Группы лабораторных крыс		
	Референсные интервалы	Группа 1	Группа 2
Лейкоциты, 10^9/л	8-23	15,42±2,6	13,9±3,4
Эритроциты, 10^{12}/л	5,5-11	7,17±1,4	7,42±1,2
Гемоглобин, г/л	130-190	108,67±4,2	123,5±1,5
Тромбоциты, 10^9/л	200-600	293,0±3,7	236,83±2,7
Базофилы, %	0-1	0	0
Эозинофилы, %	1-5	1	1
Нейтрофилы, %: Миелоциты Юные Палочкоядерные Сегментоядерные, %	 0 0 1-4 20-35	 0 0 1 27,43±2,0	 0 0 2 26±1,0
Лимфоциты, %	55-75	65,17±2,0	67,28±1,0
Моноциты, %	1-5	5,4±1,0	3,72±1,0
СОЭ, мм/ч	1,0	1,0±0,0	1,0±0,0
Гематокрит, %	44-52	44,8±1,8	47,4±2,1

Данные клинического исследования крови свидетельствуют об отсутствии патологий у исследуемых животных. Кроме клинического анализа крови, для более точной оценки общего состояния животных, мы проведи биохимический анализ крови (таб. 2).

Таблица 2 – Биохимические исследования крови крыс в эксперименте (n=100)

Показатель, ед.измер.	Группа крыс №1	Группа крыс №2
Альбумин, г/л	25,8 ± 2,4	27,9 ± 2,9
Глобулины, г/л	44,7 ± 3,9	46,2 ± 2,1
Альбумины, %	38,5 ± 3,1	39,8 ± 5,5
Глобулины, %	61,5 ± 5,2	60,2 ± 5,0
Мочевина, ммоль/л	4,5 ± 1,8	3,8 ± 1,4
Азот мочевины, ммоль/л	2,2 ± 0,06	1,8 ± 0,08
Креатинин, мкмоль/л	58,5 ± 5,8	62,3 ± 3,1
Билирубин, мкмоль/л	1,7 ± 0,06	2,0 ± 0,08
АЛТ, МЕ/л	55,2 ± 4,1	63,8 ± 4,8
АСТ, МЕ/л	195,0 ± 22,4	170,5 ± 15,2
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	180,4 ± 12,6	195,3 ± 14,5
Амилаза, МЕ/л	2350,0 ± 22,0	2432,0 ± 22,5
Глюкоза, ммоль/л	6,1 ± 0,3	5,5 ± 0,25
Холестерин, ммоль/л	1,68 ± 0,07	1,79 ± 0,05
Кальций, ммоль/л	2,18 ± 0,02	2,15 ± 0,08
Фосфор, ммоль/л	1,65 ± 0,	1,75 ± 0,03

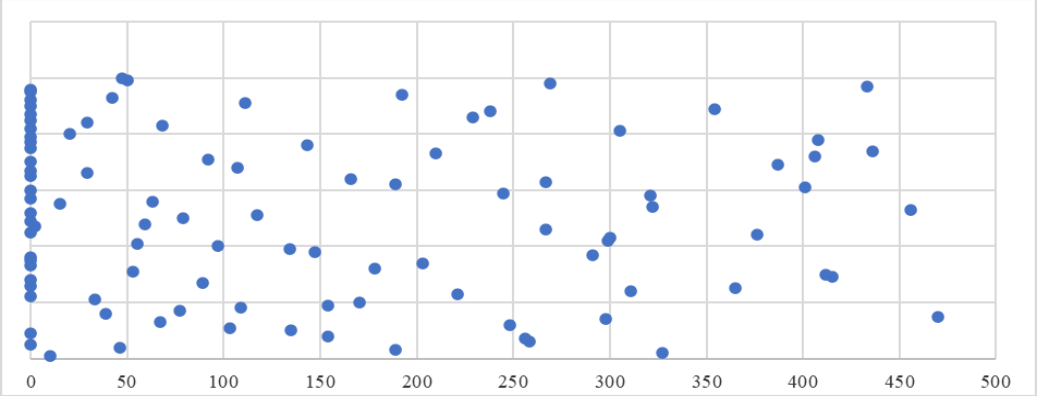


Рисунок 1 –Концентрация CYPOR в сыворотке крови подопытных крыс, нг/мл.

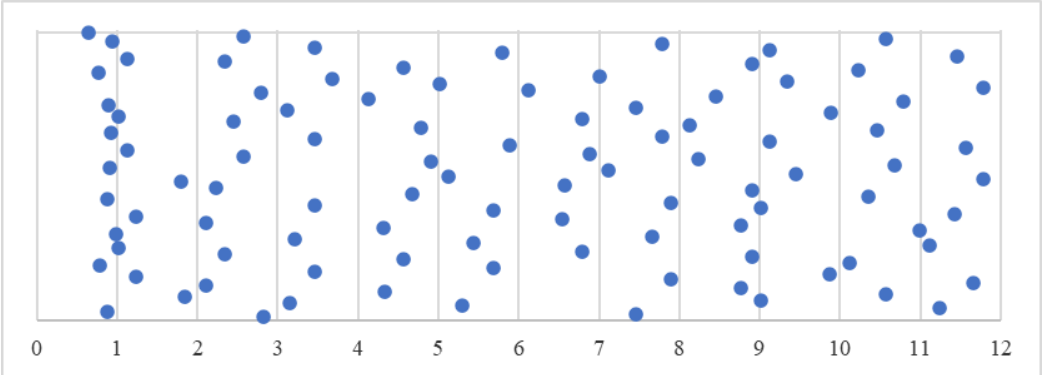


Рисунок 2 – Концентрация CYPOR в гомогенатах печени подопытных крыс, в нг/мл.

По данным проведенного биохимического и общего клинического анализа крови, все подопытные животные на момент начала эксперимента были клинически здоровы, что подтверждается отсутствием статистически значимых отклонений от референсных значений по основным показателям.

Данные CYPOR в разных тканях представлены на рисунках 1,2.

По итогу полученные результаты в сыворотке крови были статистически не достоверны, и составили цифры интервалом от 0 до 470 нг/мл, и часто выходили за пределы чувствительности метода определения. В гомогенатах же печени была противоположная картина, где интервал был от 0,650 до 11,8 нг/мл, данные были репрезентативные, достоверные.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В ходе исследования было выявлено, что уровни активности CYPOR в сыворотке крови оказались нестабильными, что может затруднять интерпретацию результатов и требует дальнейшего изучения.

В то же время, наши данные показали стабильные результаты в гомогенатах печени, что свидетельствует о более надежном отражении активности CYPOR в этом биоматериале. Это подчеркивает необходимость использования более чувствительных методов для оценки активности CYPOR, таких как высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). ВЭЖХ позволяет более точно измерять уровни метаболитов и может помочь в выявлении тонких изменений в активности фермента, которые могут быть упущены при использовании менее чувствительных методов.

Таким образом, наше исследование подчеркивает важность CYPOR в метаболизме ксенобиотиков и указывает на необходимость дальнейших исследований для улучшения методов его оценки. Использование более чувствительных методов, таких как ВЭЖХ, может способствовать более точному пониманию роли CYPOR в фармако- и токсикодинамике, что, в свою очередь, может привести к разработке более эффективных и безопасных терапевтических стратегий.

VARIABILITY IN CYPOR LEVELS DEPENDING ON THE NATURE OF TISSUE SAMPLES

Popova O.S.[*] – Ph.D. of Veterinary Science, Associate Professor Pharmacology and Toxicology (ORCID 0000-0002-0650-0837); **Bylinskaya D.S.** – PhD of veterinary science, Associate Professor Animal Anatomy (ORCID 0000-0001-9997-5630 St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*alef_z@mail.ru

Acknowledgments: *The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 24-76-10011 (https://rscf.ru/project/24-76-10011/)*

ABSTRACT

A significant number of CYP450 enzymes of the mammalian body are localized in hepatocytes, which determines the high metabolic capacity of the liver in relation to most foreign substances. Due to the fact that there are no data in the scientific literature on the concentration of CYP450 in the body of laboratory rats depending on the nature of tissue samples, the main goal of our study included studying the variability of the CYPOR concentration level in various biomaterials (blood serum, liver homogenates). Several groups of laboratory rats weighing 180-195 g, of both sexes (n = 20) were formed for the study. At the end of the quarantine, the laboratory rats were humanely euthanized (LEC at the FSBEI HE SPbSUVM, protocol No. 2, dated 04/20/2025) in order to obtain liver homogenate. For this purpose, the samples were placed in a special suspension medium for tissue homogenization (pH=7.4; the basis of the medium is Tris-HCl buffer with the addition of 0.25 M sucrose and a small amount of ethylenediaminetetraacetic acid and sodium salt in order to bind divalent metal ions and glutathione to prevent peroxidation of lipid components. Then, using a homogenizer

(Stegler S10, China), 20 homogenate samples were obtained (1 g of tissue per 9 ml of the above medium), which were analyzed by enzyme immunoassay. As a result of the study, the results obtained in the blood serum were statistically unreliable, and amounted to figures in the range from 0 to 470 ng / ml, and often went beyond the sensitivity of the determination method. In the liver homogenates, there was an opposite picture, where the range was from 0.650 to 11.8 ng / ml, the data were representative, reliable.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sosnova, E. V. Proskurnina // Biomedicines. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 1052. – DOI 10.3390/biomedicines12051052.
2. Понамарев, В. С. Нелинейное элиминирование фармацевтических субстанций в мультикомпартментных и некомпартментных фармакокинетических моделях / В. С. Понамарев // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 3. – С. 70-73. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.3.70.
3. Понамарев, В. С. Возможности прогностической токсикологии в оценке потенциальной гепатотоксичности лекарственных веществ / В. С. Понамарев, А. М. Лунегов // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 1. – С. 64-67. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.1.64.
4. Понамарев, В. С. Перспективность метаболомических подходов в токсикологических исследованиях / В. С. Понамарев // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 3. – С. 78-81. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.3.78.
5. Понамарев, В. С. Нелинейное элиминирование фармацевтических субстанций в однокомпартментных фармакокинетических моделях / В. С. Понамарев // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 2. – С. 90-92. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.2.90.
6. Биосенсорная селекция низкомолекулярных соединений, модулирующих взаимодействия в системе микросомальных цитохромов Р450 и NADPH-зависимой Р450 оксидоредуктазы / П. В. Ершов, Е. О. Яблоков, Ю. В. Мезенцев [и др.] // Biomedical Chemistry: Research and Methods. – 2020. – Т. 3, № 3. – С. e00134. – DOI 10.18097/BMCRM00134.
7. Влияние изменения активности цитохрома Р450 2e1 в печени на токсические свойства и канцерогенность диэтилнитрозамина у мышей / В. И. Каледин, С. И. Ильницкая, Е. А. Васюнина [и др.] // Биофизика. – 2015. – Т. 60, № 6. – С. 1166-1173.
8. Черняк, Ю. И. Цитохром Р450: основные представления, методы исследования, значение для практической медицины / Ю. И. Черняк, С. И. Колесников, Е. В. Черняк. – 2-е издание., исправленное. – Иркутск : Иркутский государственный университет, 2014. – 47 с. – ISBN 978-5-9624-0996-2.
9. Masters, B. S. Cytochromes P450 - A family of proteins and scientists-understanding their relationships / B. S. Masters, C. C. Marohnic // Drug Metabolism Reviews. – 2006. – Vol. 38, No. 1-2. – P. 209-225. – DOI 10.1080/03602530600570065.
10. Structure and function of an NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase in an open conformation capable of reducing cytochrome P450 / D. Hamdane, S. C. Im, H. Zhang [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2009. – Vol. 284, No. 17. – P. 11374-11384. – DOI 10.1074/jbc.M807868200.
11. Human cytochrome P450 oxidoreductase deficiency caused by the Y181D mutation: Molecular consequences and rescue of defect / C. C. Marohnic, S. P. Panda, K. Mccammon [et al.] // Drug Metabolism and Disposition. – 2010. – Vol. 38, No. 2. – P. 332-340. – DOI 10.1124/dmd.109.030445.
12. Федорова, М. В. Активность микросомальных редуктаз в клетках рака яичников, интактных и дефицитных по каспазе-2 / М. В. Федорова, М. А. Шестакова, Е. В. Проскурнина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2022. – № 6. – С. 58-62. – DOI 10.17513/mjpfi.13398.
13. Identification and Functional As-

sessment of EightCYP3A4Allelic Variants*39–*46Detected in the Chinese Han Population / Yu. Qi, H. Yang, Sh. Wang [et al.] // Drug Metabolism and Disposition. – 2024. – Vol. 52, No. 3. – P. 218-227. – DOI 10.1124/dmd.123.001542.
14. Stimulation of de novo glutathione synthesis by nitrofurantoin for enhanced resilience of hepatocytes / L. S. Wijaya, C. Rau, T. S. Braun [et al.] // Cell Biology and Toxicology. – 2022. – Vol. 38, No. 5. – P. 847-864. – DOI 10.1007/s10565-021-09610-3.
15. Oesch, F. Xenobiotica-metabolizing enzymes in the lung of experimental animals, man and in human lung models / F. Oesch, E. Fabian, R. Landsiedel // Archives of Toxicology. – 2019. – Vol. 93, No. 12. – P. 3419-3489. – DOI 10.1007/s00204-019-02602-7.
16. Co-expression of active human cytochrome P450 1A2 and cytochrome P450 reductase on the cell surface of Escherichia coli / P. Quehl, J. Hollender, J. Schüürmann [et al.] // Microbial Cell Factories. – 2016. – Vol. 15, No. 1. – P. 26. – DOI 10.1186/s12934-016-0427-5.
17. Васильева С.В., Карпенко Л.Ю., Душенина О.А. Поиск оптимальных способов забора крови у лабораторных крыс в условиях хронического опыта. Генетика и разведение животных. 2022;(4):56-60. DOI: 10.31043/2410-2733-2022-4-56-60
18. Душенина, О. А. Анализ методов взятия крови у экспериментальных крыс Ю. А. Душенина, Л. Ю. Карпенко, С. В. Васильева // Ветеринария Кубани. - 2022. - № 6. - С. 21-24. 10.33861/2071-8020 -20226-21-24. DOI: 10.33861/2071-8020-20226-21-24

REFERENCES

1. Activity of NAD(P)H-Oxidoreductases in Ovarian Cancer / M. V. Fedorova, V. I. Voznesensky, E. A. Sosnova, E. V. Proskurnina // Biomedicines. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 1052. – DOI 10.3390/biomedicines12051052.
2. Ponomarev, V. S. Nonlinear elimination of pharmaceutical substances in multicompartment and non-compartment pharmacokinetic models / V. S. Ponomarev // Normative and legal regulation in veterinary medicine. – 2022. – No. 3. – P. 70-73. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.3.70.
3. Ponomarev, V. S. Possibilities of prognostic toxicology in assessing the potential hepatotoxicity of drugs / V. S. Ponomarev, A. M. Lunegov // Normative and legal regulation in veterinary medicine. – 2022. – No. 1. – P. 64-67. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.1.64.
4. Ponomarev, V. S. Prospects of metabolomic approaches in toxicological studies / V. S. Ponomarev // Normative and legal regulation in veterinary medicine. – 2022. – No. 3. – P. 78-81. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.3.78.
5. Ponomarev, V. S. Nonlinear elimination of pharmaceutical substances in single-compartment pharmacokinetic models / V. S. Ponomarev // Normative-legal regulation in veterinary medicine. - 2022. - No. 2. - P. 90-92. - DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.2.90.
6. Biosensor selection of low-molecular compounds that modulate interactions in the system of microsomal cytochromes P450 and NADPH-dependent P450 oxidoreductase / P. V. Ershov, E. O. Yablokov, Yu. V. Mezentsev [et al.] // Biomedical Chemistry: Research and Methods. - 2020. - Vol. 3, No. 3. - P. e00134. - DOI 10.18097/BMCRM00134.
7. The effect of changes in the activity of cytochrome P450 2e1 in the liver on the toxic properties and carcinogenicity of diethylnitrosamine in mice / V. I. Kaledin, S. I. Ilnitskaya, E. A. Vasunina [et al.] // Biophysics. – 2015. – Vol. 60, No. 6. – P. 1166-1173.
8. Chernyak, Yu. I. Cytochrome P450: Basic Concepts, Research Methods, and Significance for Practical Medicine / Yu. I. Chernyak, S. I. Kolesnikov, E. V. Chernyak. – 2nd edition, revised. – Irkutsk: Irkutsk State University, 2014. – 47 p. – ISBN 978-5-9624-0996-2.
9. Masters, B. S. Cytochromes P450 - A family of proteins and scientists-understanding their relationships / B. S. Mas-

ters, C. C. Marohnic // Drug Metabolism Reviews. – 2006. – Vol. 38, No. 1-2. – P. 209-225. – DOI 10.1080/03602530600570065.
10. Structure and function of an NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase in an open conformation capable of reducing cytochrome P450 / D. Hamdane, S. C. Im, H. Zhang [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2009. – Vol. 284, No. 17. – P. 11374-11384. – DOI 10.1074/jbc.M807868200.
11. Human cytochrome P450 oxidoreductase deficiency caused by the Y181D mutation: Molecular consequences and rescue of defect / C. C. Marohnic, S. P. Panda, K. McCammon [et al.] // Drug Metabolism and Disposition. – 2010. – Vol. 38, No. 2. – P. 332-340. – DOI 10.1124/dmd.109.030445.
12. Fedorova, M. V. Activity of microsomal reductases in ovarian cancer cells, intact and deficient in caspase-2 / M. V. Fedorova, M. A. Shestakova, E. V. Proskurnina // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2022. – No. 6. – P. 58-62. – DOI 10.17513/mjpfi.13398.
13. Identification and Functional Assessment of EightCYP3A4Allelic Variants*39–*46Detected in the Chinese Han Population / Yu. Qi, H. Yang, Sh. Wang [et al.] // Drug Metabolism and Disposition. – 2024. – Vol. 52, No. 3. – P. 218-227. – DOI 10.1124/dmd.123.001542.
14. Stimulation of de novo glutathione synthesis by nitrofurantoin for enhanced resilience of hepatocytes / L. S. Wijaya, C. Rau, T. S. Braun [et al.] // Cell Biology and Toxicology. – 2022. – Vol. 38, No. 5. – P. 847-864. – DOI 10.1007/s10565-021-09610-3.
15. Oesch, F. Xenobiotica-metabolizing enzymes in the lung of experimental animals, man and in human lung models / F. Oesch, E. Fabian, R. Landsiedel // Archives of Toxicology. – 2019. – Vol. 93, No. 12. – P. 3419-3489. – DOI 10.1007/s00204-019-02602-7.
16. Co-expression of active human cytochrome P450 1A2 and cytochrome P450 reductase on the cell surface of Escherichia coli / P. Quehl, J. Hollender, J. Schüürmann [et al.] // Microbial Cell Factories. – 2016. – Vol. 15, No. 1. – P. 26. – DOI 10.1186/s12934-016-0427-5.
17. Vasilyeva S.V., Karpenko L.Yu., Dushenina O.A. Search for optimal methods of blood sampling from laboratory rats under chronic experimental conditions. Genetics and animal breeding. 2022;(4):56-60. DOI: 10.31043/2410-2733-2022-4-56-60
18. Dushenina, O.A. Analysis of methods of blood sampling from experimental rats Yu.A. Dushenina, L.Yu. Karpenko, S.V. Vasilyeva // Veterinary Science of Kuban. - 2022. - No. 6. - P. 21-24. 10.33861/2071-8020 -20226-21-24. DOI: 10.33861/2071-8020-20226-21-24

ЗООГИГИЕНА, САНИТАРИЯ, КОРМЛЕНИЕ

УДК: 639.371.2.07:615.371:597.442
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.231

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК НА УРОВЕНЬ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ

Салов С.Р.[1,2] ***** – мл. науч. сотр. лаборатории иммунологии, магистрант 1 курса факультета ветеринарии и зоотехнии (ORCID 0009-0009-5389-7935); **Микряков Д.В.**[1] – канд. биол. н., вед. науч. сотр., зав. лабораторией иммунологии (ORCID 0000-0001-9086-1688); **Медников П.В.**[3] – главный рыбовод (ORCID 0009-0005-2683-0453)

[1] ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
[2] ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет»,
[3] ООО Научно-производственная фирма «Касатка»

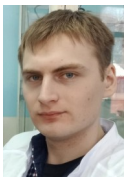
*9762@student.yarcx.ru

Ключевые слова: *аквакультура, молодь стерляди, антибиотик, пробиотические и растительный препараты, энтеросорбирующее средство, иммуномодулятор, антибактериальная защита, уровень бактериальной обсемененности.*

Key words: *aquaculture, young sterlet, antibiotic, probiotic and herbal preparations, enterosorbent, immunomodulator, antibacterial protection, level of bacterial contamination.*

Финансирование: *Материалы подготовлены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2024 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (соглашение № 25-26-20177 от 21.05.2025 г).*

Поступила: 14.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Важная задача для успешного развития аквакультуры – повышение устойчивости рыб к инфекциям на ранних стадиях онтогенеза, когда иммунная система еще не сформирована. Основную функцию защиты исполняют физические барьеры: кутикула и слизистая оболочка, в состав которой входят антимикробные пептиды и иммуноглобулины. Основную роль в нейтрализации вредоносной микрофлоры играет фермент лизоцим, обладающий бактериолитической активностью. Цель исследования – изучение влияния различных препаратов на уровень антибактериальной защиты молоди стерляди. Исследование проводилось в течении 27 сут/ на молоди стерляди. Рыб разделили на 7 групп: контрольную и 6 опытных, получавших различные препараты («Антибак-100», «Суб-Про», «Экофлор», «Акватан», «Ронколейкин» и «Полифепан»). Препараты добавляли в корм согласно инструкциям. Пробы для анализа бактериального обсеменения отбирали на 7-е, 14-е, 21-е и 27-е сут.

Для исследования отбирали по 4 особи из каждой группы. С рыб убирали воду с помощью фильтровальной бумаги и делали отпечаток на твердую среду (питательный рыбопептонный агар) в индивидуальный сектор. Чашки Петри убирали на 1 сут в термостат при температуре 26°С. Затем визуально подсчитывали количество бактериальных колоний в каждом секторе. За время исследования зафиксированы колебания бактериальной обсемененности во всех исследуемых группах. Максимальное снижение бактериальной обсемененности наблюдали на 14 – 21-е сут. Наиболее низкое количество бактериальных колоний на теле молоди стерляди установлено в группах, получавших пробиотик «Суб-Про» и иммуномодулятор «Ронколейкин». В конце эксперимента зафиксирован рост бактериальной обсемененности. В последние 2 недели эксперимента во всех опытных группах обнаружено достоверно низкое количество колоний по сравнению с контролем. Полученные данные указывают на различное по продолжительности и эффективности антибактериальное действие используемых препаратов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В современной аквакультуре одна из ключевых задач – повышение устойчивости рыб к инфекционным заболеваниям, особенно на ранних стадиях развития. В этот период у личинок рыб, включая стерлядь (*Acipenser ruthenus*), не сформирована иммунная система, что делает их уязвимыми к воздействию патогенных микроорганизмов [1]. Основную функцию защиты исполняют физические барьеры: кутикула и слизистые покровы. Слизистая также выполняет функцию неспецифической защиты. В ее состав входят антимикробные пептиды и иммуноглобулины. Основную роль в нейтрализации вредоносной микрофлоры играет фермент лизоцим, обладающий бактериолитической активностью [2-5].

Важную роль в эффективной работе защитных систем рыб играют благоприятные условия содержания. Изменения качества воды, резкие перепады температуры, уровня кислорода и т.д. могут ослабить механизмы иммунной защиты рыб. Это приводит к повышению восприимчивости организма к бактериальным инфекциям [6]. Поиск эффективных методов усиления противомикробной защиты на ранних стадиях онтогенеза одна из актуальных задач для успешного развития рыбоводства. Большое значение приобретает разработка новых методик повышения эффективности работы иммунной системы рыб, а используемые методы нуждаются в оптимизации [7].

В последнее время для стимулирования защитных механизмов иммунной системы рыб используют различные кормовые добавки. Исследования показали, что их применение эффективно для улучшения физиологического состояния и повышения устойчивости к заболеваниям. Пробиотики, антибиотики, иммуномодуляторы и растительные препараты оказывают положительное влияние на антибактериальную защиту и выживаемость рыб [8-11]. Пробиотики повышают активность пищеварительных ферментов и проявляют антагонистическое действие к патогенным бактериям [12, 13]. Растительные экстракты усиливают неспецифический иммунитет, стимулируя фагоцитоз и выработку антител, а также напрямую подавляют возбудителей аэромонозов и псевдомонозов [14-17]. Иммуностимуляторы активируют клеточное звено иммунитета, увеличивая цитотоксическую активность лимфоцитов [18]. Кроме того, комбинированное применение этих добавок улучшает рост рыб и снижает смертность при бактериальных инфекциях [19].

У устойчивых к болезням рыб часто наблюдают высокую фагоцитарную активность и экспрессию генов, связанных с иммунитетом (например, цитокины и MHC-II) [20-24]. Однако, несмотря на значительный прогресс в изучении иммунных механизмов, влияние различных добавок на антибактериальную защиту молоди рыб остается малоисследованным. В связи с этим нами проведено сравнительное исследование различных

препаратов на уровень антибактериальной защиты внешних покровов молоди стерляди.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводили на личинках стерляди (в конце эксперимента – мальках) средней массой 0,5 г в возрасте 1 месяц. Их разделили на 7 групп: контрольную и 6 опытных. Каждую группу по 1000 особей рассадили в проточные пластиковые бассейны объемом 0,3 $м^3$. В течение эксперимента температура воды колебалась от 17 до 20°С, содержание кислорода составляло от 7 до 10 мг O_2/л на выходе из бассейна, а уровень pH и азотистых метаболитов оставался в норме.

Стерлядь кормили 24 раза в сут кормом Advance от фирмы Alltech Coppens. Согласно данным производителя, состав корма включает белки (56%), жиры (15%), клетчатку (0,3%), золу (11,6%), фосфор (1,75%) и витамин А (14000 МЕ/кг). В первую неделю эксперимента использовали гранулы размером 0,2–0,3 мм, а затем рыбу перевели на гранулы размером 0,3–0,5 мм.

Контрольная группа (I) получала простой корм, а опытным добавляли различные препараты. II группа – антибактериальный препарат на основе ципрофлоксацина «Антибак-100» (ООО «НВЦ Агроветзащита») из расчета 0,5 г/кг живой массы рыб. Препарат широкого спектра действия, эффективен против грамотрицательных (*Aeromonas*, *Pseudomonas*) и некоторых грамположительных бактерий. Используют для лечения бактериальных инфекций (аэромоноз, псевдомоноз). III группа – пробиотик «Суб-Про» на основе *Bacillus subtilis* (ООО «Вектор-Евро») из расчета 100 г/т корма. Он улучшает микробиом кишечника рыб, стимулирует пищеварение, синтез витаминов, конкурентно подавляет патогены, повышает иммунитет и усвояемость корма; IV – биологически активная добавка «Экофлор» (АО «Вектор-БиАльгам») из расчета 5 г/кг корма. Она предназначена для усиления неспецифического иммунитета и стрессоустойчивости, содержит β-глюканы, полисахариды и антиоксиданты, улучшает рост и выживаемость. V – препарат «Акватан» на основе эллаготанинов производства компании «Танин» г. Севница (Словения) из расчета 2 г/кг корма. Он обладает антимикробными и противовоспалительными свойствами. Эффективен против бактерий (*Aeromonas*) и паразитов (например, *Ichthyophthirius*), укрепляет слизистые барьеры. VI – структурный и функциональный аналог эндогенного IL-2 «Ронколейкин» производства компании ООО «НПК «БИОТЕХ», из расчета 4000 МЕ/кг ихтиомассы. Иммуномодулятор активирует Т-клетки и макрофаги, усиливает ответ на вакцины. Применяется для профилактики инфекций и повышения выживаемости молоди. VII – энтеросорбирующее средство «Полифепан» (ООО «Восток») из расчета 0,5 г/кг живой массы рыб. Препарат связывает и выводит токсины, аллергены и патогенные бактерии из ЖКТ. Используется при отравлениях, дисбактериозах, токсикозах. Препараты добавляли в корм согласно инструкциям.

Пробы для анализа бактериального обсеменения отбирали на 7-е, 14-е, 21-е и 27-е сут. Для исследования отбирали по 4 особи из каждой группы. С рыб убирали воду с помощью фильтровальной бумаги и делали отпечаток на твердую среду (питательный рыбо-пептонный агар) в индивидуальный сектор. Чашки Петри убирали на 1 сут. в термостат при температуре 26°С. Затем визуально подсчитывали количество бактериальных колоний в каждом секторе.

При математической обработке результатов ($M \pm m$) достоверность различия средних величин устанавливали с помощью t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При сравнении данных, полученных в разные сроки наблюдения, обнаружены достоверные различия в исследуемых группах рыб (табл.). Через две недели эксперимента почти во всех группах наблюдали уменьшение бактериального обсеменения по сравнению с показателем

7 сут. Наиболее значительное снижение отмечено у контрольных рыб на 77,2%, потом в группе, получавшей препарат «Полифепан» – 68%, «Антибак» – 50%, «Акватан» – 42%, «Экофлор» – 39%, «Суб -Про» – 10%. У опытной группы с препаратом «Ронколейкин» установлено увеличение числа бактериальных колоний на 4%, при этом их количество оставалось наиболее низким среди всех групп.

На 21-е сутки по сравнению с предыдущим сроком наблюдения количество колоний продолжало снижаться. Наиболее значительно в группе с добавлением препарата «Антибак» на 80,5%, далее «Суб-Про» – 78,5%, «Полифепан» – 44%, «Экофлор» – 24% и «Ронколейкин» – 23%. У контрольных рыб и в группе с добавлением препарата «Акватан» показатель бактериального обсеменения, наоборот, увеличился на 31,4% и 20%, соответственно.

В конце эксперимента, по сравнению с 21-ми сут, во всех группах, кроме 5-й, наблюдали увеличение уровня бактериального обсеменения. Наиболее значительный рост количества колоний зафиксирован в опытной группе с препаратом «Антибак» – 4,6 раза. Следующие по численности контрольные особи в 3 раза, «Экофлор» и «Суб-Про» в 2,1, «Полифепан» в 1,5 и «Ронколейкин» в 1,3. В опытной группе с препаратом «Акватан» число колоний, наоборот, уменьшилось в 0,2 раза.

В конце опыта наиболее низкое количество колоний зафиксировано на мазках -отпечатках внешних покровах стерляди, получавшей с кормом препарат «Суб-Про», а наиболее высокое в контрольной группе. Анализ полученных данных показал, что за время эксперимента уровень бактериального обсеменения колебался во всех группах. По сравнению с 7 сут данный показатель снизился в группах с добавлением препаратов «Антибак», «Суб-Про», «Акватан» и «Полифепан». У контрольных особей и в группах с препаратами «Экофлор» и «Ронколейкин» уровень бактериального обсеменения практически не изменился.

Сравнение количества колоний бактерий на каждом этапе наблюдения показало различия как между контрольными и опытными рыбами, так и между опытными группами.

Таблица 1 – Количество бактериальных колоний (шт.)

№	Препарат	Время отбора			
		7 сут (1)	14 сут(2)	21 сут(3)	27 сут(4)
1	Контроль[а]	289,00±3,46	66,00±10,08[1]	86,75±7,44[1]	263,00±23,60[2, 3]
2	Акватан[б]	107,00±12,16[а]	61,75±9,72[1]	74,00±9,57	60,00±14,75[а]
3	Антибак[в]	194,00±16,52[а, б]	96,25±12,35[1]	85,75±21,27[а, б 1, 2]	85,75±21,27[а]
4	Суб-Про[г]	112,66±8,41[а, в]	101,25±15,94	21,75±3,90[а, б, 1, 2]	44,75±3,22[а, 1-3]
5	Экофлор[д]	98,00±15,39[а, в]	60,25±16,38	45,50±8,14[а, в]	96,50±12,74[а, г; 3]
6	Ронколейкин[е]	56,33±6,17[а, б, в, г]	58,75±10,43	45,25±4,5 [а, б, в, г]	60,00±12,22[а]
7	Полифепан[ж]	302,66±2,33[а-д]	97,25±24,88[1]	54,25±12,53[1]	80,00±8,11[а, г, 1]

Примечание. [а, б, в – ж] – достоверные отличия между контрольной и опытными группами рыб; [1, 2, 3, 4] – достоверные отличия между группами рыб в разные сроки наблюдения, при $p \leq 0.05$.

7-е сут наблюдения. В 1 и 7 группе было зафиксировано наиболее высокое количество бактериальных колоний, а наиболее низкое – в 6 группе. Исследуемый показатель в опытных группах был достоверно ниже, по сравнению с контролем. У особей, которым добавляли препарат «Антибак» на 33%, «Экофлор» на 66% и «Акватан» на 63%, «Суб-Про» на 61% и «Ронколейкин» на 80,5%. Также стоит отметить значимые отличия между 2 группой и 3 с 4, а также 7 группой и 5 с 6.

На 14-е сут наблюдения. В 4, 5 и 6 группах зафиксировано незначительно ниже число колоний по сравнению с контрольной группой. Тогда как в группах 2, 3 и 7 их количество было выше в 1,5 раза.

На 21-е сут наблюдения. Во всех опытных группах количество колоний было значимо меньше по сравнению с контрольной группой. Наиболее низкие показатели отмечены в группах с применением препаратов «Антибак» и «Суб-Про». Также достоверно отличались между собой показатели групп 2 и 4, а также групп 5 и 6.

На 27-е сут наблюдения. В конце эксперимента у контрольных рыб зафиксировано достоверно высокие значения бактериального обсеменения по сравнению с опытными группами. В 3, 5 и 6 опытных группах отмечено минимальное количество колоний, а в 2 и 4 – максимальное. Значимые отличия зафиксированы между 2 опытными группами, которым добавляли пробиотические препараты «Суб-Про» и «Экофлор».

Наиболее выраженный антибактериальный эффект препаратов «Суб-Про» и «Ронколейкин» показало сравнение показателей всех опытных групп. Положительное влияние пробиотика, вероятно, связано с антагонистическим действием на патогенные микроорганизмы и подавлением их роста. Аналогичное, но более незначительное, влияние оказывал пробиотический препарат «Экофлор». Препарат «Ронколейкин» оказывал стимулирующее действие на механизмы иммунной системы, в результате чего усиливались неспецифические защитные свойства слизи. Снижение количества колоний под действием препарата «Антибак» связано с его эффективностью против грамотрицательных (*Aeromonas*, *Pseudomonas*) и некоторых грамположительных бактерий. Положительное влияние препарата «Акватан» обусловлено его антимикробными и противовоспалительными свойствами, а энтеросорбирующего средства «Полифепан» – обезвреживанием и элиминацией патогенных бактерий из организма.

Анализ полученных данных показал колебания уровня бактериальной обсемененности внешних покровов во всех группах на протяжении всего эксперимента. По сравнению с 7 сут к середине исследования у опытных рыб бактериальных колоний начало постепенно снижаться, что указывает на антибактериальное действие используемых препаратов. Наибольшая эффективность отмечена на 21 сут эксперимента, когда почти во всех группах установлено наиболее низкое количество бактериальных колоний. В конце эксперимента зафиксировано резкое увеличение уровня бактериальной обсемененности у контрольных рыб по сравнению с опытными особями. Это говорит об антибактериальном действии используемых препаратов. Однако повышение числа колоний в опытных группах по сравнению с предыдущим сроком наблюдения указывает на снижение антибактериального действия препаратов и/или повышение устойчивости микрофлоры.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование показало, что используемые добавки оказывают антибактериальное действие. За все время эксперимента наиболее низкое количество бактериальных колоний на теле живой молоди стерляди установлено в группах, получавших пробиотик «Суб-Про» и иммуномодулятор «Ронколейкин». Под действием препаратов уровень бактериального обсеменения постепенно снижался к 14 – 21 сут/ наблюдения. К концу эксперимента их эффективность снизилась и количество колоний увеличилось.

Однако на продолжающееся антибактериальное воздействие препаратов указывает значительно более высокое количество бактериальных колоний у контрольных рыб. Анализ полученных результатов показал целесообразность проведения дальнейших исследований влияния различных препаратов на антибактериальную защиту объектов аквакультуры. Эффективные схемы применения позволят повысить устойчивость рыб к возбудителям бактериальных инфекций и увеличить выживаемость молоди. Как следствие, увеличение объема товарной продукции рыбоводных хозяйств и снижение рисков финансовых убытков.

EFFECT OF VARIOUS ADDITIVES ON THE LEVEL OF ANTIBACTERIAL PROTECTION OF JUVENILE STERLET

Salov S. R.[1,2,] ***** – student**,** Junior Researcher, Laboratory of Immunology (ORCID 0009-0009-5389-7935); **Mikryakov D. V.**[1] – head of laboratory immunology, candidate of Biology (ORCID 0000-0001-9086-1688); **Mednikov P. V.**[3] – chief fish farmer (ORCID 0009-0005-2683-0453).

[1]Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences;

[2]Yaroslavl State Agrarian University;

[3] Research and Production Company «Kasatka»

*9762@student.yarcx.ru

Financing: *The materials were prepared within the framework of the regional competition of the Russian Science Foundation in 2024 "Conducting foundation scientific research and search for scientific research by small individual scientific groups" (Agreement No. 25-26-20177 of 21.05.2025).*

ABSTRACT

An important task for the successful development of aquaculture is to increase the resistance of fish to infections in the early stages of ontogenesis, when the immune system has not yet formed. The main protective function is performed by physical barriers: cuticle and mucous membrane, which include antimicrobial peptides and immunoglobulins. The main role in neutralizing harmful microflora is played by the enzyme lysozyme, which has bacteriolytic activity. The purpose of the study is to study the effect of various drugs on the level of antibacterial protection of young sterlet. The study was conducted for 27 days on young sterlet. The fish were divided into 7 groups: control and 6 experimental, receiving various drugs ("Antibak-100", "Sub-Pro", "Ecoflor", "Aquatan", "Roncoleukin" and "Polyphepan"). The drugs were added to the feed according to the instructions. Samples for bacterial contamination analysis were collected on the 7th, 14th, 21st and 27th days. Four individuals from each group were selected for the study. Water was removed from the fish using filter paper and an imprint was made on a solid medium (nutrient fish-peptone agar) in an individual sector. Petri dishes were placed in a thermostat at 26°C for 1 day. Then the number of bacterial colonies in each sector was visually counted. During the study, fluctuations in bacterial contamination were recorded in all the studied groups. The maximum decrease in bacterial contamination was observed on the 14th – 21st days. The lowest number of bacterial colonies on the body of young sterlet was found in the groups receiving the probiotic "Sub-Pro" and the immunomodulator "Roncoleukin". An increase in bacterial contamination was recorded at the end of the experiment. In the last 2 weeks of the experiment, a significantly lower number of colonies was found in all experimental groups compared to the control. The data obtained indicate different duration and effectiveness of the antibacterial action of the drugs used.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Magnadottir, B. Innate immunity of fish (overview) / B. Magnadottir // Fish Shellfish Immunol. – 2006. – 20, – № 2. – P. 137-151. – DOI: 10.1016/j.fsi.2004.09.006.

2. Pietrzak, E. Innate Immune Responses of Skin Mucosa in Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Fed a Diet Supplemented with

Galactooligosaccharides / E. Pietrzak, J. Mazurkiewicz, A. Slawinska // Animals (Basel). – 2020. – 10, – № 3. – P. 438. – DOI: 10.3390/ani10030438.
3. Zhang, Y. A. IgT, a primitive immunoglobulin class specialized in mucosal immunity / Y. A. Zhang, I. Salinas, J. Li, D. Parra, S. Bjork, Z. Xu, S. E. LaPatra, J. Bartholomew, J.O. Sunyer // Nat Immunol. – 2010. – 11, – № 9. – P. 827-835. – DOI: 10.1038/ni.1913.
4. Парфенова, С. Р. Лизоцимная активность слизи рыб / С. Р. Парфенова // StudNet. – 2020. – № 12. – С. 1034–1040. Режим доступа:
5. Subramanian, S. Comparison of antimicrobial activity in the epidermal mucus extracts of fish / S. Subramanian, N. W. Ross, S. L. MacKinnon // Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol. – 2008. – Vol. 150, – № 1. – P. 85-92. – DOI: 10.1016/j.cbpb.2008.01.011.
6 Полоз, С. В. Оценка устойчивости рыб к заражению паразитами при стрессовом воздействии и определение показателей резистентности (экспериментальное исследование) / С. В. Полоз, С. М. Дегтярик, Г. В. Слободницкая, И. И. Стрельченя // Экология и животный мир. – 2024. – № 1. – С. 28-33. Режим доступа: https://animal.belal.by/jour/article/view/153
7. Иркитова, А. Н. Оптимизация метода определения антагонистической активности пробиотических бактерий / А. Н. Иркитова, Е. С. Яценко // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 5 (19). – С. 113-117. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607459
8. Юхименко, Л. Н. Лечебные и профилактические мероприятия против бактериозов в рыбоводстве / Л. Н. Юхименко, С. Б. Токарева, М. С. Кукин, Л. И. Бычкова // Ветеринария и кормление. – 2021. – № 6. – С. 67-69. – DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-6-18. Режим доступа: https://elibrary.ru/xozywt
9. Зеков, Д. Д. Определение эффективных норм введения кормовой добавки Аквастан в рацион радужной форели с биологической оценкой влияния на рыбохозяйственные показатели / Д. Д. Зеков, М. В. Ульянов, Д. В. Микряков, Т. А. Суворова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2021.– № 11. – С. 66-77. – DOI: 10.33920/sel09211106. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47327779
10. Использование эллаготанинов в рационах аквакультуры. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: https://apknews.su/article/213/2594/ (дата обращения 12.05.2025).
11. Tkachenko, H. The antibacterial activity of the ethanolic leaf extract of Ficus pumila l. (moraceae) against fish bacterial pathogens / H. Tkachenko, L. Buyun, O. Kasiyan, E. Terech-Majewska, Z. Osadowski // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2018. – Vol. 45, – №. 2. – P. 20-30. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35176457
12. Mohammadian, T. Administrations of autochthonous probiotics altered juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* health status, growth performance and resistance to *Lactococcus garvieae*, an experimental infection / T. Mohammadian, M. Nasirpour, M. R. Tabandeh, A. A. Heidary, R. Ghanei-Motlagh, S. S. Hosseini // Fish Shellfish Immunol. – 2019. – № 86. – P. 269-279. – DOI: 10.1016/j.fsi.2018.11.052.
13. Бычкова, Л. И. Пробиотический препарат СУБ-ПРО (субалин) – альтернатива антибиотикам / Л. И. Бычкова, Л. Н. Юхименко, А. Г. Ходак, О. С. Скоробогатько // Рыбоводство. – 2008. – № 2. – С. 48-49. – Режим доступа: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=1028699&pubrole=100&show_refs=1&show_option=0
14. Дегтярик, С. М. Влияние растительных экстрактов на возбудителей аэромонозов и псевдомонозов рыб / С. М. Дегтярик, Е. И. Гребнева, Г. В. Слободницкая, Н. А. Бенецкая, Е. В. Максимьюк, А. В. Беспалый // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2016. – № 32. – С. 249-261. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28114134
15. Biller-Takahashi, J. D. Fish Immunology. The modification and manipulation of the

innate immune system: Brazilian studies / J. D. Biller-Takahashi, E. C. Urbinati // An Acad Bras Cienc. – 2014. – Vol. 86, – № 3. – P. 1484-506. – DOI: 10.1590/0001-3765201420130159.
16. Immanuel, G. Dietary medicinal plant extracts improve growth, immune activity and survival of tilapia *Oreochromis mossambicus* / G. Immanuel, R. P. Uma, P. Iyapparaj, T. Citarasu, S. M. Punitha Peter, M. Michael Babu, A. Palavesam // J. Fish Biol. – 2009. – Vol. 74, – № 7. – P. 1462-1475. – DOI: 10.1111/j.1095-8649.2009.02212.x.
17. Nya, E. J The garlic component, allicin, prevents disease caused by *Aeromonas hydrophila* in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) / E. J Nya, Z. Dawood, B. Austin // J Fish Dis. – 2010. – Vol. 33, – № 4. – P. 293-300. – DOI: 10.1111/j.1365-2761.2009.01121.x.
18. Нечаева, Т. А. Эффективность применения рекомбинантного интерлейкина-2 (Ронколейкин) в форелеводстве / Т. А. Нечаева, М. В. Островский // Международный вестник ветеринарии. – 2009. – № 3. – С. 43-49. Режим доступа: https://elibrary.ru/llzgzv
19. Зуева, М. С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб / М. С. Зуева // Животноводство и кормопроизводство. – 2022. – 105, – № 4. – С. 146-164. Режим доступа: http://gk.fncbst.ru/arhiv/new/vypuski-2022-goda/tom-105-№-4/teoriya-i-praktika-kormleniya/zueva-m-s
20. Mehrabi, Z. Immunity and growth improvement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed dietary nettle (Urtica dioica) against experimental challenge with *Saprolegnia parasitica* / Z. Mehrabi, F. Firouzbakhsh, G. Rahimi-Mianji, H. Paknejad // Fish Shellfish Immunol. – 2020. – № 104. – P. 74-82. – DOI: 10.1016/j.fsi.2020.05.050.
21. Bulfon, C. Resistant and susceptible rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) lines show distinctive immune response to *Lactococcus garvieae* / C. Bulfon, M. Prearo, D. Volpatti, O. Byadgi, M. Righetti, M. G. Maniaci, V. Campia, P. Pastorino, F. Pascoli, A. Toffan, C. Biolatti, P. L. Acutis, S. Colussi // Fish Shellfish Immunol. – 2020. – № 105. – P. 457-468. – DOI: 10.1016/j.fsi.2020.06.040.
22. Jinendiran, S. Modulation of innate immunity, expression of cytokine genes and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish (*Carassius auratus*) by dietary supplementation with *Exiguobacterium acetylicum* S01 / S. Jinendiran, A. A. Nathan, D. Ramesh, B. Vaseeharan, N. Sivakumar // Fish Shellfish Immunol. – 2019. – № 84. – P. 458-469. – DOI: 10.1016/j.fsi.2018.10.026.
23. Bu, X. Dietary yeast culture modulates immune response related to TLR2-MyD88-NF-kβ signaling pathway, antioxidant capability and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* for Ussuri catfish (*Pseudobagrus ussuriensis*) / X. Bu, X. Lian, Y. Wang, C. Luo, S. Tao, Y. Liao, J. Yang, A. Chen, Y. Yang // Fish Shellfish Immunol. – 2019. – № 84. – P. 711-718. – DOI: 10.1016/j.fsi.2018.10.049.
24. Kar, B. Variation in susceptibility pattern of fish to *Argulus siamensis*: Do immune responses of host play a role? / B. Kar, C. Moussa, A. Mohapatra, J. Mohanty, P. Jayasankar, P. K. Sahoo // Vet Parasitol. – 2016. – № 221. – P. 76-83. – DOI: 10.1016/j.vetpar.2016.03.013.

REFERENCES

1. Magnadottir, B. Innate immunity of fish (overview) / B. Magnadottir // Fish Shellfish Immunol.2006:20;2:137-151. DOI: 10.1016/j.fsi.2004.09.006.
2. Pietrzak, E. Innate Immune Responses of Skin Mucosa in Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Fed a Diet Supplemented with Galactooligosaccharides / E. Pietrzak, J. Mazurkiewicz, A. Slawinska // Animals (Basel).2020:10;3:438. DOI: 10.3390/ani10030438.
3. Zhang, Y. A. IgT, a primitive immunoglobulin class specialized in mucosal immunity / Y. A. Zhang, I. Salinas, J. Li, D. Parra, S. Bjork, Z. Xu, S. E. LaPatra, J. Bartholomew, J.O. Sunyer // Nat Immunol.2010:11;9:827-835. DOI: 10.1038/ni.1913.
4. Parfenova, S. R. Lysozyme activity of fish mucus / S. R. Parfenova // Stud-

Net.2020:12:1034-1040. URL:https://cyberleninka.ru/article/n/lizotsimnaya-aktivnost-slizi-ryb (In Russ.)
5. Subramanian, S. Comparison of antimicrobial activity in the epidermal mucus extracts of fish / S. Subramanian, N. W. Ross, S. L. MacKinnon // Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol.2008:150;1:85-92. DOI: 10.1016/j.cbpb.2008.01.011.
6. Poloz, S. V. Evaluation of fish resistance to parasite infestation under stress and determination of resistance indicators (experimental study) / S. V. Poloz, S. M. Degtyaryk, G. V. Slobodnitskaya, I. I. Strelchenya // Ecology and Animal World.2024:1:28-33. URL: https://animal.belal.by/jour/article/view/153 (In Russ.)
7. Irkitova, A. N. Optimization of the method for determining the antagonistic activity of probiotic bacteria / A. N. Irkitova, E. S. Yatsenko // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products.2017:5;19:113-117. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607459 (In Russ.)
8. Yukhimenko, L. N. Therapeutic and preventive measures against bacterial diseases in fish farming / L. N. Yukhimenko, S. B. Tokareva, M. S. Kukin, L. I. Bychkova // Veterinary medicine and feeding.2021:6:67-69. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-6-18. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47419316 (In Russ.)
9. Zekov, D. D. Determination of effective rates of introduction of the feed additive Aquatan into the diet of rainbow trout with a biological assessment of the effect on fishery indicators / D. D. Zekov, M. V. Ulyanov, D. V. Mikryakov, T. A. Suvorova // Fish farming and fish farming.2021:11:66-77. DOI: 10.33920/sel09211106. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47327779 (In Russ.)
10. Use of ellagitannins in aquaculture diets. 2020. URL: https://apknews.su/article/213/2594/ (date of access 12.05.2025).
11. Tkachenko, H. The antibacterial activity of the ethanolic leaf extract of Ficus pumila l. (moraceae) against fish bacterial pathogens / H. Tkachenko, L. Buyun, O. Kasiyan, E. Terech-Majewska, Z. Osadowski // Scientific works of Dalrybvtuz.2018:45;2:20-30. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35176457
12. Mohammadian, T. Administrations of autochthonous probiotics altered juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* health status, growth performance and resistance to *Lactococcus garvieae*, an experimental infection / T. Mohammadian, M. Nasirpour, M. R. Tabandeh, A. A. Heidary, R. Ghanei-Motlagh, S. S. Hosseini // Fish Shellfish Immunol.2019:86:269-279. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.11.052.
13. Bychkova, L. I. Probiotic drug SUBPRO (subalin) - an alternative to antibiotics / L. I. Bychkova, L. N. Yukhimenko, A. G. Khodak, O. S. Skorobogatko // Fish farming.2008:2:48-49. URL: https://elibrary.ru/author items.asp?authorid=1028699&pubrole=100&show refs=1&show option=0 (In Russ.)
14. Degtyarik, S. M. Study of plant extracts for pathogens of aeromonosis and pseudomonosis in fish / S. M. Degtyarik, E. I. Grebneva, G. V. Slobodnitskaya, N. A. Benetskaya, E. V. Maksimyuk, A. V. Bespaly // Issues of fisheries of Belarus.2016:32:249-261. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28114134 (In Russ.)
15. Biller-Takahashi, J. D. Fish Immunology. The modification and manipulation of the innate immune system: Brazilian studies / J. D. Biller-Takahashi, E. C. Urbinati // An Acad Bras Cienc.2014:86;3:1484-506. DOI: 10.1590/0001-3765201420130159.
16. Immanuel, G. Dietary medicinal plant extracts improve growth, immune activity and survival of tilapia *Oreochromis mossambicus* / G. Immanuel, R. P. Uma, P. Iyapparaj, T. Citarasu, S. M. Punitha Peter, M. Michael Babu, A. Palavesam // J. Fish Biol.2009:74;7:1462-1475. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2009.02212.x.
17. Nya, E. J The garlic component, allicin, prevents disease caused by *Aeromonas hydrophila* in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) / E. J Nya, Z. Dawood, B.

Austin // J Fish Dis.2010:33;4:293-300. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2009.01121.x.
18. Nechaeva, T. A. Efficiency of using recombinant interleukin-2 (Roncoleukin) in trout farming / T. A. Nechaeva, M. V. Ostrovsky // International Bulletin of Veterinary Science.2009:3:43-49. URL: https://elibrary.ru/llzgzv (In Russ.)
19. Zueva, M. S. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish / M. S. Zueva // Animal husbandry and forage production.2022:105;4:146-164. URL: http://gk.fncbst.ru/arhiv/new/vypuski-2022-goda/tom-105-№-4/teoriya-i-praktika-kormleniya/zueva-m-s (In Russ.)
20. Mehrabi, Z. Immunity and growth improvement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed dietary nettle (Urtica dioica) against experimental challenge with *Saprolegnia parasitica* / Z. Mehrabi, F. Firouzbakhsh, G. Rahimi-Mianji, H. Paknejad // Fish Shellfish Immunol.2020:104:74-82. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.05.050.
21. Bulfon, C. Resistant and susceptible rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) lines show distinctive immune response to *Lactococcus garvieae* / C. Bulfon, M. Prearo, D. Volpatti, O. Byadgi, M. Righetti, M. G. Maniaci, V. Campia, P. Pastorino, F. Pascoli, A. Toffan, C. Biolatti, P. L. Acutis, S. Colussi // Fish Shellfish Immunol.2020:105:457-468. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.06.040.
22. Jinendiran, S. Modulation of innate immunity, expression of cytokine genes and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish (*Carassius auratus*) by dietary supplementation with *Exiguobacterium acetylicum* S01 / S. Jinendiran, A. A. Nathan, D. Ramesh, B. Vaseeharan, N. Sivakumar // Fish Shellfish Immunol.2019:84:458-469. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.10.026.
23. Bu, X. Dietary yeast culture modulates immune response related to TLR2-MyD88-NF-kβ signaling pathway, antioxidant capability and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* for Ussuri catfish (*Pseudobagrus ussuriensis*) / X. Bu, X. Lian, Y. Wang, C. Luo, S. Tao, Y. Liao, J. Yang, A. Chen, Y. Yang // Fish Shellfish Immunol.2019:84:711-718. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.10.049.
24. Kar, B. Variation in susceptibility pattern of fish to *Argulus siamensis*: Do immune responses of host play a role? / B. Kar, C. Moussa, A. Mohapatra, J. Mohanty, P. Jayasankar, P. K. Sahoo // Vet Parasitol.2016:221:76-83. DOI: 10.1016/j.vetpar.2016.03.013.

УДК: 621.311:628.473:631.862.1
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.241

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ МАССЫ И ОБЪЕМА КОРОВЬЕГО НАВОЗА ПРИ ЕГО ПЕРЕРАБОТКЕ

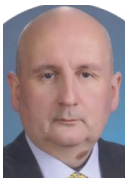
Хоменко Р.М.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. ветеринарной гигиены и радиобиологии (ORCID 0000-0002-9817-1400);

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* roman.khomenko@gmail.com

Ключевые слова: *навоз, биокомпостирование, электроэнергия, потеря массы, уменьшение объема.*
Key words: *manure, biocomposting, electricity, mass loss, volume reduction.*

Поступила: 20.03.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Целью настоящего исследования было определение снижения объема и массы исходного сырья – коровьего навоза после переработки в биокомпостере и удельного расхода электроэнергии аппаратом биокомпостером «ЭКО» на переработку в кВт/ч на 1 кг побочных продуктов животноводства. Переработка навоза в биокомпостерах «ЭКО», производства компании ВКО «Алмаз-Антей», которые работают от электрической сети с напряжением 380В, является современной, экологически чистой и экономически выгодной технологией. Органические отходы агропромышленного комплекса (растениеводства, животноводства, рыбоводства) являются биологической угрозой, способствуя размножению патогенных микроорганизмов и распространению зоонозных инфекций. Бактерии вроде Salmonella spp., E.coli, Listeria monocytogenes могут загрязнять почву, воду и урожай. Биоотходы также привлекают синантропных животных — переносчиков инфекций. Эффективным решением является аэробное биокомпостирование с участием термофильных микроорганизмов при 50–85°C. Технология обеспечивает многоступенчатую деградацию органического субстрата, в результате которой образуется биосмесь, пригодная для применения в качестве удобрения или кормовой добавки, с объёмом, составляющим 10% от исходного. Параллельно происходит обеззараживание материала с деактивацией патогенной микрофлоры, включая антибиотико-резистентные штаммы. В данной статье мы рассказываем, насколько происходит снижение массы и уменьшение объема навоза за счет испарения влаги и рассчитаем энергоэффективность использования биокомпостерной аппаратуры при этой технологии. Результат натурных испытаний установил, что при переработке в биотермическом компостере «ЭКО» побочного продукта животноводства-коровьего навоза, его уменьшение объема и массы составляет 75 – 85% от исходных. Затраты электроэнергии на переработку 1 кг побочного продукта животноводства (коровьего навоза) составляют около 0.78 кВт/ч или 3,75 руб. за 1 кг. (тариф дан для учреждений в Санкт-Петербурге, в других регионах РФ тарифы могут отличаться).

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Биотермическая переработка побочных отходов животноводства (коровьего навоза) представляет собой инновационный и эффективный способ утилизации органических отходов [4,5]. Этот процесс основан на использовании биологических процессов для превращения органических материалов в энергию и полезные продукты, таким образом уменьшая вредные воздействия на окружающую среду.

Биокомпостеры «ЭКО» для переработки пищевых и биоразлогаемых отходов это внутрикорпусное оборудование, работающее от электросети 380 В, использующее микробиологическую технологию для компостирования органических отходов и снижения объема до 90% в течение 24 часов, в результате которого отходы превращаются в богатую питательными веществами питательную среду (биосмесь, которая может быть использована как органическое удобрение).

Переработка навоза – это не просто утилизация побочных продуктов животноводства, а комплексный процесс, несущий за собой как экономическую, так и экологическую выгоду.

В первую очередь происходит снижение экологической нагрузки на окружающую среду. Навоз является источником метана (CH4) и закиси азота (N2O) – мощных парниковых газов, способствующих глобальному потеплению [1;2]. Правильная переработка позволяет сократить эти выбросы. Необработанный навоз может загрязнять водные источники патогенами, азотистыми соединениями и фосфатами. Разложение навоза сопровождается выделением аммиака и других дурнопахнущих веществ, что негативно сказывается на качестве воздуха.

В тоже время переработка навоза способна принести определенные экономические выгоды. Анаэробное сбраживание навоза позволяет получать биогаз – смесь метана и углекислого газа, который можно использовать для выработки электроэнергии и тепла [6,9]. Переработанный навоз является ценным органическим удобрением, богатым азотом, фосфором и калием.

Уменьшение объёма и массы навоза является важным аспектом переработки, так как это позволяет снизить затраты на транспортировку и хранение побочного продукта животноводства, так как меньший объём означает меньшие затраты на логистику и хранение.

Происходит повышение эффективности переработки, концентрированный навоз легче перерабатывать в биогаз [9,10] или удобрения. Уменьшение объема навоза снижает риски случайных разливов и выбросов фекальных вод, что также не приводит к загрязнению окружающей среды.

При выборе и оптимизации технологий переработки навоза важно учитывать расход электроэнергии [6]. Цель – минимизировать затраты и сделать процесс экономически эффективным. Некоторые технологии, например, сушка навоза, могут быть весьма энергозатратными [6.9].

В целом, биотехнологии переработки навоза предлагают эффективные решения для утилизации отходов животноводства и получения ценных продуктов, а также снижения негативного воздействия на окружающую среду. При этом необходимо учитывать экономические аспекты и стремиться к максимальной энергоэффективности процесса. Долговременный эффект биотермической переработки органических отходов может быть весьма значительным и стимулировать развитие сельскохозяйственной отрасли [3,7,8].

Цель настоящего исследования:

- определение снижения объема и массы исходного сырья – коровьего навоза после переработки в биокомпостере и удельного расхода электроэнергии аппаратом биокомпостером «ЭКО» на переработку в кВт/ч на 1 кг побочных продуктов животноводства;

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», в период с марта по май 2024 года. Побочный продукт животноводства

– навоз коровий был получен от животных, содержащихся на территории университета.

Биокомпостеры «ЭКО» для переработки пищевых и биоразлогаемых отходов, в том числе побочных продуктов животноводства (навоза) используют микробиологическую и термическую технологии для переработки органических отходов. Происходит ускоренная микробная аэробная ферментация. Группы термофильных микробов при температурах 50-70º и повышенной влажности активно размножаются, перерабатывая оставшуюся органику и белок.

Благодаря этому идет увеличение скорости переработки (компостирования) навоза и в течение 24 часов, отходы превращаются в безопасную, богатую полезными для почвы веществами биосмесь, которая может использоваться как органическое удобрение.

Процесс переработки пищевых отходов — это ускоренная микробная аэробная ферментация. Группы термофильных микробов при температурах 50-70º и повышенной влажности активно размножаются, разлагая оставшуюся органику и белок. Выделяются тепло, углекислый газ, водяной пар.

В переработке пищевых отходов задействованы 4 основные группы микроорганизмов: Firmicutes, Proteobacteria, Bacteroidetes и Actinobacteria.

Этапы компостирования (переработки), следующие:

- первую мезофильную стадию переработки осуществляют мезофильные бактерии и грибы. Enterobacteriales (Proteobacteria). При повышении температуры замещаются умеренно термофильными Lactobacillales (Firmicutes), которые активны при 35-45ºС.

- во второй, термофильной стадии переработки (45–60°С) работают различные бациллы семейства Bacillus (Firmicutes) Bacillus subtilis, B. licheniformis и B. circulans.

- в третьей стадии, при повышении температуры до 65-85ºС активизируются и растут Thermus, которые участвуют в разложении различных макромолекул.

Результат переработки – это биосмесь, продукт разложения побочных отходов животноводства -навоза до состояния сухого вещества богатого азотом, калием и фосфором в замкнутом цикле.

Исследования проводились с использованием компостера на 37 литров.

Цикл компостирования – 36 часов (рекомендация производителей).

Температура окружающей среды 12-15 °С, относительная влажность 55%.

Для взвешивания использовались электронные торговые весы (класс точности III; диапазон 0,2-40 кг; погрешность 0,005 кг) «Delta» ТВН-40 № WL 1067416, дата поверки 24.01.2024.

Для определения расхода электроэнергии использовались электросчётчики: ««МЕРКУРИЙ 201.4» № 48699824-23 г.; 48699812-23, дата поверки 10.03.2024 г., «ЭНЕРГОМЕРА» СЕ 301 № R33145 JAZ. – дата поверки 15.11.2023 г.

Для определения объема использовалась емкость мерная на 25л. «BURKLE» № 0401-0025 дата поверки 19.02.2024 г.

Загружаемый материал представлял побочный продукт животноводства – навоз, полученный от крупного рогатого скота. Средняя масса отходов с бактериальной биомассой, загружаемых на переработку за один раз, составляла 14,0 ± 0,2 кг. Средняя масса получаемой биосмеси составляла 8,0±0,5 кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Были произведены расчеты уменьшения массы и объема загруженного коровьего навоза при завершении цикла компостирования.

Как было ранее сказано использовали компостер под названием «Изделие №37» — это наименование агрегату компания – производитель дала, так как он вмещает в общей сложности 37 килограммов смеси сырья (в данном случае коровьего навоза) и биосмеси из бактерий.

Для начала была произведена загрузка коровьего навоза и лактобактерий в компостер в следующем соотношении:

По массе - 7 кг биосмеси (лактобактерий) + 7 кг коровьего навоза.

При этом насыпная плотность навоза составляла:

-коровий навоз с подстилкой — 500 кг/м^3

-коровий навоз без подстилки —900 кг/м^3

Среднее значение насыпной плотности навоза составляло 950 кг/м³, так как не представлялось возможным разделить обе фракции навоза.

Объем 1 кг коровьего навоза = 1 кг/ м³=1000л./950 кг/м³=1 л.

Объем 1 кг смеси лактобактерий составляет 1,2 л. это расчетная цифра производителя-разработчика данной технологии.

Таким образом мы рассчитываем объем 7 кг навоза х 1 л = 7 л.

При загрузке в компостер 7 кг (лактобактерий) + 7 кг (коровьего навоза), получаем:

1)7 кг х 1,2 л.=8,4 л.-объем в 7 кг лактобактерий;

2)7 кг х 1 л = 7 л.-объем в 7 кг коровьего навоза.

3)8,4 л + 7 л =15,4 л.-общий объем массы до переработки;

При выгрузке из компостера получаем 8 кг=10 л готового продукта:

1)10 л х 1,2 л =12 л – объем переработанной массы коровьего навоза с лактобактериями;

2)15,4 л – 12 л =13,4 л – объем переработанной массы без лактобактерий;

В Таблице 1 мы приводим данные по переводу массы, выраженной в килограммах исследуемого коровьего навоза и биомассы лактобактерий, используемых для биотермической переработки навозной массы.

В Таблице 2 мы привели данные по степени переработки навоза КРС за счет потери в первую очередь влаги - степень потери массы составляет более 85% от изначальной массы загруженного материала.

Был произведен расчет затрат электроэнергии на переработку 1 кг отходов:

Компостер-изделие № 37 потребляет при переработке 2,59 кВт в сутки

Цена 1 кВт/ч = 10 рублей

1) 2,59/7 = 0,37 кВт -затрачивается на 1 кг отходов

2) 0,37 х 10 = 3,7 рублей стоимость потраченной электроэнергии за 1 кг отходов.

Таблица 1 – Масса и объем исследуемой смеси навоза и бактерий

Компонент	Масса кг	Плотность кг/ м³	Объём литров/кг	Объём при загрузке (литры)
Коровий навоз	7,0	950,0	1,05	7,37
Бактерии	7,0	833,0	1,20	8,40

Таблица 2 – Масса и объем навоза после переработки

Масса материала при выгрузке, кг.	Объём материала при выгрузке, л.	Разница загрузка выгрузка минус бактерии, кг.	Степень переработки, %
8,00	9,60	1,00	85,71

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результат натурных испытаний установил, что при переработке в биотермическом компостере «БИО-ЭКО» побочного продукта животноводства- коровьего навоза, его уменьшение объема и массы составляет 75 – 85% от исходных.

Затраты электроэнергии на переработку 1 кг коровьего навоза составляют около 0.78 кВт/ч или 3,75 руб. за 1 кг. (тариф дан для учреждений в Санкт-Петербурге, в других регионах РФ тарифы могут отличаться).

STUDY OF MASS, VOLUME AND ELECTRICITY CONSUMPTION LOSS IN THE PROCESS OF COW MANURE BIOCOMPOSTING

Khomenko R. M.* – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Departments of Veterinary Hygiene and Radiobiology (ORCID 0000-0002-9817-1400);

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* roman.khomenko@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the efficiency of processing by-product of animal husbandry (cattle breeding) – manure obtained from cattle – by biocomposting. Processing of manure in biocomposters "ECO" manufactured by VKO "Almaz-Antey", operating from a 380 V electric network, is a modern, environmentally friendly and cost-effective technology. Organic waste of the agro-industrial complex (crop growing, animal husbandry, fish farming) pose a biological threat, contributing to the reproduction of pathogenic microorganisms and the spread of zoonotic infections. Bacteria such as Salmonella spp., E. coli, Listeria monocytogenes can pollute soil, water and agricultural crops. Biowaste also attracts synanthropic animals – carriers of infections. An effective solution is aerobic biocomposting with the participation of thermophilic microorganisms at a temperature of 50 -85 °C. The technology provides multi-stage degradation of the organic substrate, resulting in the formation of a bio-mixture suitable for use as a fertilizer or feed additive, with a volume of 10% of the original. In parallel, the material is disinfected with the deactivation of pathogenic microflora, including antibiotic-resistant strains. In this article, we will tell you how much the mass and volume of manure are reduced due to moisture evaporation, and calculate the energy efficiency of using biocomposter equipment with this technology. The results of field tests have established that when processing a by-product of animal husbandry - cow manure - in the biothermal composter "ECO", its volume and mass are reduced by 75 - 85% of the original. Energy costs for processing 1 kg of a by-product of animal husbandry (cow manure) are about 0.78 kW / h or 3.75 rubles per 1 kg. (The tariff is indicated for institutions in St. Petersburg, in other regions of the Russian Federation tariffs may differ).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белопольский А.Е. - Переработка биоотходов методом сухой экструзии // Мясная индустрия. – Москва - ноябрь 2014 г. - с.159-162. https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312

2. Белопольский А.Е.- Современные методы переработки биоотходов. // Ежеквартальный научно- производственный журнал Иппология и ветеринария - 2011 г -№1- с.15 -18. https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312

3. Васильев С. Б., Петрова И. Н. Кинетика снижения массы твёрдых фракций навоза при аэробной переработке в установках «ЭКО» // Инженерные системы животноводства. – 2023. – Т. 32, № 2. – С. 17–25. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=51234567.

4. Смирнов В. С. Технология переработки навоза в компост: монография. – М.: Колос, 2019. – 256 с. – С. 112–130. – URL: https://www.kolospress.ru/books/compost2019.pdf.

5. Опарин А. И., Захаров П. Г. Расход электроэнергии в биокомпостерах непрерывного действия // Электрификация сельского хозяйства. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 41–48. – DOI: 10.31862/0235-2451-2022-28-3-41-48.

6. Ханин М. В., Егорова Л. С., Гилярова О. А. Влияние температуры и аэрации на уменьшение объёма навоза крупного рогатого скота // Молодой учёный. – 2021. – № 43 (389). – С. 153–157. – URL: https://moluch.ru/archive/389/85701/.

7. ГОСТ Р 54801-2011. Электрооборудование сельскохозяйственного назначения. Требования к энергопотреблению. – Введ. 2012-07-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с. – С. 5–9. – URL: https://docs.cntd.ru/

document/1200098226.
8. Литвинов В. Ф. Биоконверсия навоза и органических отходов: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2020. – 304 с. – С. 221–239. – URL: https://e.lanbook.com/book/184638.
9. Селиванов Р. П., Михайлова Н. В. Экспериментальная оценка потерь массы при компостировании навоза крупного рогатого скота в барабанных реакторах // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Инновации в АПК». – Новосибирск: НГАУ, 2022. – С. 88–93. – URL: https://conf.nsau.edu/innov2022/selivanov.pdf.
10. Колчин Д. С. Разработка энергосберегающих режимов работы биокомпостера «ЭКО»: дис. … канд. техн. наук. – Казань, 2021. – 148 с. – С. 97–110. – URL: https://vak.minobrnauki.gov.ru/doc/dis/Kolchin2021.pdf.
11. Pat. RU 2765432 C1, Российская Федерация. Способ ускоренного снижения объёма навоза при смешанной аэрации / А. Н. Орлов, Е. С. Козлова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «СПбГАУ». – № 2021134567; заявл. 15.10.2021; опубл. 10.02.2023, Бюл. № 5. – 8 с. – URL: https://patents.ru/2765432.
12. Food and Agriculture Organization. Small-scale organic fertiliser production: technical manual. – Rome: FAO, 2020. – 126 p. – P. 64-77. – URL: https://www.fao.org/3/ca7341en/ca7341en.pdf.

REFERENCES

1. Belopolsky A.E. - Processing of biowaste by dry extrusion // Meat industry. - Moscow - November 2014 - pp. 159-162. https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312
2. Belopolsky A.E. - Modern methods of processing biowaste. // Quarterly scientific and production journal Ippology and veterinary science - 2011 - №1- pp. 15-18. https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312
3. Vasiliev S. B., Petrova I. N. Kinetics of reduction of mass of solid fractions of manure during aerobic processing in "ECO" installations // Engineering systems of animal husbandry. – 2023. – Vol. 32, No. 2. – P. 17–25. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=51234567.
4. Smirnov V. S. Technology of processing manure into compost: monograph. – M.: Kolos, 2019. – 256 p. – P. 112–130.
5. Oparin A. I., Zakharov P. G. Electricity consumption in continuous biocomposters // Electrification of agriculture. – 2022. – Vol. 28, No. 3. – P. 41–48. – DOI: 10.31862/0235-2451-2022-28-3-41-48.
6. Khanin M. V., Egorova L. S., Gilyarova O. A. Effect of temperature and aeration on reducing the volume of cattle manure // Young scientist. – 2021. – No. 43 (389). – P. 153–157.
7. GOST R 54801-2011. Electrical equipment for agricultural purposes. Energy consumption requirements. – Introduced. 2012-07-01. – M.: Standartinform, 2012. – 15 p. – P. 5–9. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200098226.
8. Litvinov V. F. Bioconversion of manure and organic waste: textbook. manual. – SPb: Lan, 2020. – 304 p. – P. 221–239. – URL: https://e.lanbook.com/book/184638.
9. Selivanov R. P., Mikhailova N. V. Experimental assessment of mass losses during composting of cattle manure in drum reactors // Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference "Innovations in the Agro-Industrial Complex". – Novosibirsk: NGAU, 2022. – P. 88–93. – URL: https://conf.nsau.edu/innov2022/selivanov.pdf.
10. Kolchin D. S. Development of energy-saving operating modes of the ECO biocomposter: dis. … Cand. of Engineering Sciences. - Kazan, 2021. - 148 p. - P. 97-110. - URL: https://vak.minobrnauki.gov.ru/doc/dis/Kolchin2021.pdf.
11. Pat. RU 2765432 C1, Russian Federation. Method for accelerated reduction of manure volume with mixed aeration / A. N. Orlov, E. S. Kozlova; applicant and patent holder FSBEI HE "SPbSAU". - No. 2021134567; declared. 15.10.2021; published. 10.02.2023, Bulletin No. 5. - 8 p. – URL: https://patents.ru/2765432.
12. Food and Agriculture Organization. Small-scale organic fertiliser production: technical manual. – Rome: FAO, 2020. – 126 p. – P. 64-77.

УДК: 664.07:577.2.
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.247

К ВОПРОСУ О ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ НА НАЛИЧИЕ ГМО С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ

Калюжная Т.В.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. ветеринарно-санитарной экспертизы, доцент (ORCID 0000-0002-8682-1840); **Егорова П.С.** – магистрант 2 курса факультета ветеринарно-санитарной экспертизы

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*tomagafk087@mail.ru

Ключевые слова: ГМО, ГМИ, ГМ-продукция, ПЦР, ДНК, маркировка, Картахенский протокол.
Keywords: GMO, GMI, GM products, PCR, DNA, labeling, Cartagena Protocol.

Поступила: 27.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ
В статье представлен комплексный анализ современных подходов к выявлению генетически модифицированных организмов (ГМО) в пищевой продукции, кормах и зерне с акцентом на молекулярно-генетические методы и нормативно-правовое регулирование в Российской Федерации. Нами проведен анализ нормативных актов, научных публикаций и обзорных материалов из открытых источников за минувшие 10 лет. Ретроспективный обзор был сосредоточен на аспектах выявления генетически модифицированных организмов (ГМО) молекулярно-генетическими способами. В результате анализа нормативных документов и научной литературы установили законодательную базу, регулирующую генно-инженерную деятельность и оборот ГМО, которая включает ФЗ №86 (о генно-инженерной деятельности) и ФЗ №52 (о санитарно-эпидемиологическом благополучии). Кроме того, были рассмотрены определения ГМО и генетически модифицированных источников (ГМИ), а также потенциальные риски их применения для здоровья человека (аллергенные, метаболические), экологии (устойчивые сорняки, загрязнение) и глобальной безопасности, а так же, описаны пороговые значения по содержанию разрешенных и неразрешенных линий ГМО в пищевых продуктах и кормах, требования к обязательной маркировки продукции «ГМО». В качестве основного метода детекции выделена полимеразная цепная реакция (ПЦР). Подчеркнута важность стандартизации лабораторных процедур, предотвращения контаминации и строгого контроля качества. Таким образом, в РФ создана развитая, детализированная и осторожная система регулирования ГМО, сочетающая жесткие законодательные нормы, четкие процедуры контроля и стандартизированные высокоточные методы молекулярной диагностики для обеспечения безопасности продукции.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В настоящее время разработан комплекс технологий для выявления и распознавания специфических организмов путем обнаружения их нуклеиновых кислот. Многолетние исследования активно ведутся в области совершенствования методов идентификации. Среди наиболее перспективных подходов к молекулярно-генетическому анализу пищевой продукции выделяются технологии, базирующиеся на исследовании ДНК.

Генетически модифицированные организмы (ГМО) — это живые формы, чей наследственный материал был изменен (путем добавления или удаления генетических фрагментов) способами, невозможными в природе при естественном скрещивании внутри вида.

Генетически модифицированные источники (ГМИ) — это сырье и пищевые продукты (или их компоненты), предназначенные для употребления человеком в натуральном или переработанном виде, которые либо получены из ГМО, либо содержат их [1].

Употребление ГМ-продукции несет три потенциальных типа рисков: для здоровья человека (аллергии, нарушения метаболизма и др.), для экологии (появление устойчивых сорняков, химическое загрязнение, резистентность к пестицидам) и глобальные угрозы (активация опасных вирусов, риски экономической безопасности) [2].

Применение ГМ-продуктов преследует цель придания им новых полезных качеств и создания источников важнейших питательных веществ. Генная инженерия дает возможность создавать новые виды растений, минуя этап полового размножения, что позволяет комбинировать гены несовместимых в естественных условиях видов.

В РФ разрешено к реализации населению 27 линий трансгенных сельхозкультур. В сфере обращения ГМО существует этико-правовой конфликт, коренящийся в противоречии между публичным интересом государства в гарантировании продовольственной безопасности и здоровья граждан и частными интересами производителей товаров с ГМО. Фундаментальным принципом правового регулирования в этой области является защита человека от несанкционированного воздействия ГМО.

В России установлены следующие пороговые значения содержания ГМО:

Продовольственная продукция [3]:

0,9% для разрешенных ГМО

0% для неразрешенных ГМО

Корма [4]:

0,9% для разрешенных линий ГМО

0,5% для неразрешенных линий ГМО

Зерно (пищевое и кормовое) [5]:

0,9% для неразрешенных линий ГМО

Семена:

0% для любых ГМО

На территории РФ запрещены ввоз и использование для посева семян ГМ-культур, а также выращивание и разведение растений с измененной методами генной инженерии генетической программой, содержащих генно-инженерный материал.

Современные методы молекулярной диагностики обеспечивают высокоточный и экспресс-анализ продукции на присутствие ГМО, установление видовой принадлежности сырья и выявление карантинных объектов [6].

Широко применяемым методом молекулярной идентификации является полимеразная цепная реакция (ПЦР). Этот метод признан наиболее специфичным и чувствительным для определения видового состава сырья, поскольку молекула ДНК сохраняет свою информативность под воздействием физико-химических факторов, оставаясь наиболее стабильной структурой в организме животного [7]. Еще одним широко используемым методом является секвенирование ДНК. Данная технология позволяет установить полную последовательность ДНК или генома организма и, следовательно, идентифицировать генетически модифицированные формы [8].

Целью настоящей работы являлось изучение имеющихся литературных данных по методикам исследования продук-

ции на наличие ГМО с использованием молекулярных подходов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование включало анализ нормативных актов, научных публикаций и обзорных материалов из открытых источников за минувшие 10 лет. Ретроспективный обзор был сосредоточен на аспектах выявления генетически модифицированных организмов (ГМО) молекулярно-генетическими способами.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Государственное регулирование генно-инженерной деятельности осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 05.06.1995 № 86-ФЗ «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности» (в актуальной редакции) [9]. Установлено, что ключевые цели регулирования включают:

Разграничение компетенции между различными уровнями органов власти, а также юридическими и физическими лицами в указанной сфере.

Закрепление правовых основ для регулирования правоотношений в сфере генно-инженерной деятельности.

Создание и внедрение механизмов, гарантирующих безопасность населения и окружающей среды при проведении работ и применении их итогов.

Формирование законодательной базы, необходимой для развития международного сотрудничества Российской Федерации.

Обеспечение условий для прогресса в приоритетных научных и практических направлениях генно-инженерной деятельности.

Кроме того, государственное регулирование сосредоточено на следующих приоритетах:

Повышение качества жизни и охрана здоровья населения.

Защита природной среды, ее восстановление и сохранение биологического разнообразия.

Увеличение эффективности агропромышленного комплекса, добывающих отраслей и перерабатывающей промышленности.

Сохранение и развитие профессионального кадрового потенциала в данной области.

Мониторинг воздействия ГМО и продукции на их основе на человека и экосистемы [10].

Следующим нормативным документом, направленным на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия как условия реализации конституционных прав является Федеральный закон от 12.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (в актуальной редакции). Этот документ устанавливает, что работы с биологическими агентами, включая генную инженерию, не должны оказывать вредного воздействия на человека [11].

Кроме того, в нормативно-правовой базе регламентируется порядок регистрации ГМО, предназначенных для выпуска в окружающую среду, а также продукции, полученной с их применением или содержащей их (включая импортируемую), и ведения соответствующего сводного государственного реестра. Регистрации подлежат модифицированные организмы с учетом целевого использования. При этом исключения составляют: ГМО для экспертиз и НИР в рамках санитарных норм; ГМО, не предназначенные для выпуска в среду; лекарственные средства и изделия медицинского назначения на основе ГМО; продукция, полученная путем обработки зарегистрированной ГМО-содержащей продукции без изменения ее генетического материала.

Полномочия по регистрации ГМО разделены между Роспотребнадзором и Россельхознадзором. Первый регистрирует ГМО и ГМО-продукцию, используемые при производстве пищевого сырья и продуктов питания. Второй отвечает за регистрацию следующих категорий: ГМО животных и растений для разведения и выращивания; ГМО микроорганизмов сельскохозяйственного назначения; ГМО и ГМО-продукции, применяемых при изготовлении кормов, кормовых добавок и ветеринарных лекарственных средств.

Кроме того, сводный реестр ведет Минздрав РФ в электронной форме. Он включает реестры модифицированных организмов и продукции [12].

Отдельные требования предъявляются к маркировке ГМО-продукции. Например, зерно, полученное с применением ГМО, подлежит маркировке с указанием уникального идентификатора трансформационного события. Бестарное зерно сопровождается документами с информацией о ГМО при содержании >0,9%. При этом допустимо содержание только зарегистрированных линий ГМО. Содержание незарегистрированных линий в зерне ограничено 0,9% [13].

Кроме того, пищевая продукция из ГМО-сырья должна производиться из зарегистрированных линий. Содержание ГМО ≤0,9% в продукции, произведенной без их использования, считается случайной/технически неустранимой примесью, и такая продукция не маркируется как ГМО-содержащая. Продукция, полученная с применением ГМО (даже без ДНК/белка), маркируется специальным знаком «ГМО».

Для кормов установлены пороги содержания незарегистрированных (≤0,5% на компонент) и зарегистрированных (≤0,9% на компонент) линий ГМО в зависимости от их использования при производстве.

Молекулярно-генетические исследования ГМО в кормах и кормовых добавках проводятся аккредитованными лабораториями по утвержденной методике (Приказ Минсельхоза РФ от 22.03.2019 № 126) [14]. Общие требования к лабораторному анализу ГМО определены ГОСТ Р 53214-2008 «Продукты пищевые. Методы анализа для обнаружения генетически модифицированных организмов и полученных из них продуктов. Общие требования и определения» [15]. Для предотвращения контаминации ДНК организация лабораторного пространства базируется на защите методологических стадий и принципе «прямотока». Для ДНК-методов требуется минимум 4 раздельные зоны: подготовки проб, экстракции нуклеиновых кислот, постановки ПЦР, детекции/анализа ПЦР-продуктов. Физическое разделение предпочтительно. Критическое значение имеет интерпретация контролей (положительных, отрицательных, экстракционных, реактивов). Результаты анализа действительны только при получении неоспоримых результатов по всем контролем. Любое отклонение требует повторения анализа и устранения причин.

Метод экстракции ДНК фенол-хлороформным способом регламентирован ГОСТ Р ИСО 21571–2014 «Продукты пищевые. Методы анализа для обнаружения генетически модифицированных организмов и полученных из них продуктов. Экстракция нуклеиновых кислот», ключевым этапом, которого является лизис [16].

Общая схема анализа включает отбор проб, экстракцию (и очистку) нуклеиновых кислот, их оценку/разведение (при необходимости) и аналитическую стадию (например, ПЦР), как изложено в ГОСТ Р 58958–2020 «Продукция пищевая, сырье, корма и кормовые добавки, посевной материал Выявление ГМО методом скрининга с исследованием наборов генетических элементов в зависимости от видов сельскохозяйственных растений» [17].

Скрининговые исследования ГМО предполагают подбор оптимального набора генетических элементов для каждого вида растений. Идентификация конкретных линий ГМО сои, кукурузы, рапса в кормах методом Real-Time PCR проводится согласно ГОСТ 34104–2017 «Корма и кормовые добавки. Метод идентификации генетически модифицированных линий сои, кукурузы и рапса с использованием ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией в режиме реального времени» [18].

Картахенский протокол по биобезопасности (2000 г., в силе с 2003 г.) является ключевым международным инструментом управления биобезопасностью, основанным на принципе предосторожности [19]. Его цель – обеспечение защиты от неблагоприятного воздействия живых измененных организмов (ЖИО) на биоразнообразие и здоровье человека, особенно при

трансграничном перемещении. Протоколом создан Механизм посредничества по биобезопасности (BCH) для обмена информацией о ЖИО [20]. К 2015 г. к Протоколу присоединились 167 государств. Вступление Протокола актуализировало необходимость строгого законодательного регулирования безопасности при обращении с ГМО, что в полной мере еще не решено в ряде стран СНГ.

Систематизация информации позволила выделить основные риски ГМО для здоровья человека (аллергии, нарушения метаболизма) и окружающей среды (появление суперсорняков, химическое загрязнение, резистентность), а также глобальные риски (активация вирусов, угрозы экономической безопасности). Риски обусловлены вставкой чужеродной ДНК (плейотропный эффект, нестабильность встроенной конструкции, влияние на соседние гены) и свойствами самой конструкции [21; 22].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

На основе проведенного анализа нормативно-правовой базы и научных публикаций можно сделать вывод, что в Российской Федерации создана развитая и строгая система нормативно-правового регулирования генно-инженерной деятельности и оборота ГМО. Она включает всестороннее законодательство, четкие процедуры регистрации и контроля, обязательные требования к маркировке с установленными пороговыми значениями, а также детально прописанные и стандартизированные методы молекулярно-генетического выявления ГМО в различных матрицах (пища, корма, зерно), с особым акцентом на предотвращение контаминации и контроль качества в лабораториях. Система развивается, но сохраняет осторожный подход к оценке потенциальных рисков ГМО.

ON THE ISSUE OF CONDUCTING RESEARCH ON THE PRESENCE OF GMOS USING MOLECULAR METHODS

Kalyuzhnaya T.V.* - Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise (ORCHID 0000-0002-8682-1840); **Egorova P.S.** - 2st year undergraduate student of the Faculty of Veterinary and Sanitary Expertise.

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*tomagafk087@mail.ru

ABSTRACT

This article presents a comprehensive analysis of contemporary approaches for detecting genetically modified organisms (GMOs) in food products, animal feed, and grain, with a specific focus on molecular genetic methods and the regulatory framework within the Russian Federation. The analysis draws upon a review of regulatory acts, scientific publications, and open-source review materials spanning the past decade. The retrospective review concentrated specifically on aspects of GMO detection employing molecular genetic techniques. Analysis of regulatory documents and scientific literature established the legislative foundation governing genetic engineering operations and GMO circulation in Russia. This framework encompasses Federal Law No. 86 (On Genetic Engineering Activities) and Federal Law No. 52 (On Sanitary and Epidemiological Well-being). Furthermore, the study examined definitions pertinent to GMOs and genetically modified (GM)-derived materials, alongside potential risks associated with their application. These risks encompass implications for human health (allergenicity, metabolic effects), the environment (emergence of resistant weeds, genetic contamination), and global security. The review also delineated threshold levels for permissible and non-permissible GM lines in food and feed, as well as requirements for mandatory "GMO" product labeling. Polymerase chain reaction (PCR) is identified as the primary detection methodology. The critical importance of standardizing laboratory procedures, preventing contamination, and implementing stringent quality control measures is emphasized. Consequently, the Russian Federation has estab-

lished a robust, detailed, and precautionary regulatory system for GMOs. This system integrates rigorous legislative norms, precise control procedures, and standardized high-precision molecular diagnostic methods to ensure product safety.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 34150-2017 «Биологическая безопасность. Сырье и продукты пищевые. Метод идентификации генно-модифицированных организмов (ГМО) растительного происхождения с применением биологического микрочипа» Введ. 2019-01-01. – М.: Стандартинформ, 2017. - 15

2. ГМО и его будущее в сельском хозяйстве / А. С. Волкова, А. С. Вусик, Е. Ю. Гненный, М. А. Ткаченко // Colloquium-Journal. – 2021. – № 5-3(92). – С. 50-52.

3. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [Электронный ресурс] URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=lq0ujhf0xr213020826 (дата обращения 09.06.2025)

4. Единые ветеринарные (ветеринарно-санитарные) требования, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору) (утверждённые Решением Комиссии таможенного союза от 18 июня 2010 года № 317) [Электронный ресурс] — https://docs.cntd.ru/document/902224701?section=text (дата обращения 09.06.2025)

5. ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна» [Электронный ресурс] — URL: https://docs.cntd.ru/document/902320395?ysclid=lq0ula645x97849774 (дата обращения 09.06.2025)

6. Жмуркина, П. С. Идентификация незаявленных ГМ-компонентов в кормах для продуктивных животных / П. С. Жмуркина, Т. В. Калюжная // Неделя молодежной науки: Материалы Всероссийской научно -практической конференции, Москва, 17–19 апреля 2024 года. – Москва: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина, 2024. – С. 322-324.

7. Жмуркина, П. С. Определение ГМ-линии сои в кормовой продукции / П. С. Жмуркина, А. А. Карпенко // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны : материалы XII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 215-летию СПбГУВМ, Санкт-Петербург, 23–24 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Перевощикова Юлия Владимировна, 2023. – С. 151- 153.

8. Определение ГМО в кормах и кормовых добавках / Н. В. Бровкина, Ж. Е. Баргман, С. А. Макавчик [и др.] // Контроль качества продукции. – 2017. – № 3. – С. 13-15. – EDN YFZZKP.

9. ФЗ «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности» (с изменениями на 2 июля 2021 года) от 05.06.1995 года [Электронный ресурс] — URL: https://docs.cntd.ru/document/9025842?section=text (дата обращения 09.06.2025)

10. Кодолова, А. В. Правовое регулирование использования генномодифицированных организмов в сфере экспорта сельскохозяйственной продукции в СНГ: международный и внутригосударственный аспекты / А. В. Кодолова // Аграрное и земельное право. – 2015. – № 1(121). – С. 94-98.

11. ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями на 24 июля 2023 года) от 12.03.1999 года [Электронный ресурс] — URL: https://docs.cntd.ru/document/901729631?ysclid=lq0v08764u669765898 (дата обращения 09.06.2025)

12. Правила государственной регистрации генно-инженерно-модифицированных организмов, предназначенных для выпуска в окружающую среду, а также продукции, полученной с применением таких организмов или содержащей такие организмы, включая указанную продукцию, ввозимую на территорию Российской Федерации (утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 18 января 2023 года № 35) [Электронный

ресурс] — https://docs.cntd.ru/document/1300632616?ysclid=lq0vghv0hq181963193 (дата обращения 09.06.2025)
13. ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» [Электронный ресурс] — URL: https://docs.cntd.ru/document/902320347?ysclid=lq0xkuro3v677966329 (дата обращения 09.06.2025)
14. Приказ Минсельхоза России от 22.03.2019 № 126 «Об утверждении Методики производства молекулярно-генетического исследования генно-инженерно-модифицированных организмов, используемых для производства кормов и кормовых добавок для животных, а также кормов и кормовых добавок для животных, полученных с применением таких организмов или содержащих такие организмы» [Электронный ресурс] — URL: https://fsvps.gov.ru/files/prikaz-minselhoza-rossii-ot-22-03-2019-126-ob/ (дата обращения 09.06.2025)
15. ГОСТ Р 53214-2008 «Продукты пищевые. Методы анализа для обнаружения генетически модифицированных организмов и полученных из них продуктов. Общие требования и определения» Введ. 2010-01-01. – М.: Стандартинформ, 2020. - 16
16. ГОСТ Р ИСО 21571-2014 «Продукты пищевые. Методы анализа для обнаружения генетически модифицированных организмов и полученных из них продуктов. Экстракция нуклеиновых кислот» Введ. 2015-01-07. – М.: Стандартинформ, 2016. - 41
17. ГОСТ Р 58958 – 2020 «Продукция пищевая, сырье, корма и кормовые добавки, посевной материал Выявление ГМО методом скрининга с исследованием наборов генетических элементов в зависимости от видов сельскохозяйственных растений» Введ. 2021-01-01. – М.: Стандартинформ, 2020. - 16
18. ГОСТ 34104-2017 «Корма и кормовые добавки. Метод идентификации генетически модифицированных линий сои, кукурузы и рапса с использованием ПЦР с гибридизационно-флуоресцентной детекцией в режиме реального времени.» Введ. 2018-01-07. – М.: Стандартинформ, 2017. - 20
19. Дромашко, С. Е. Международная система регулирования биологического разнообразия и биобезопасность / С. Е. Дромашко // Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов и производств : материалы III Международной научной конференции с элементами научной школы для молодежи, Тверь, 25–29 марта 2015 года / Ответственные за выпуск: Г. П. Лапина, П.С. Лихуша. – Тверь: Тверской государственный университет, 2015. – С. 12-15.
20. Картахенский протокол по биобезопасности в Беларуси / Н. Минченко, А. Кильчевский, С. Дромашко, Е. Макеева // Наука и инновации. – 2013. – № 10(128). – С. 70-72.
21. Саркисян, Д. С. Роль генетически модифицированных организмов в современном мире / Д. С. Саркисян, М. А. Кутыга, Л. В. Миляева // Международный форум "Молодёжь в АПК" : Сборник научных трудов III Международного форума, Ростов-на-Дону, 24–30 октября 2022 года / Редколлегия: Б.Ч. Месхи [и др.]. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2022. – С. 33-36. – DOI 10.23947/young.2022.33-36.
22. Сотникова, Н. М. Проблемы биобезопасности генетически модифицированных организмов / Н. М. Сотникова // Межотраслевые исследования как основа развития научной мысли: Сборник статей Международной научно-практической конференции в 2 частях, Оренбург, 27 декабря 2022 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2022. – С. 14-16.

REFERENCES

1. GOST 34150-2017 Biological safety. Raw materials and food products. Method of identification of genetically modified organisms (GMOs) of plant origin using a biological microchip Introduction. 2019-01-01. Moscow: Standartinform, 2017. – 15 p. (In Russ.)
2. GMO and its future in agriculture / A. S.

Volkova, A. S. Vusik, E. Y. Gnennyi, M. A. Tkachenko // Colloquium-Journal. – 2021. – № 5-3(92). – Pp. 50-52. (In Russ.)
3. TR CU 021/2011 "On food safety" [Electronic resource] URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=lq0ujhf0xr213020826 (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
4. Unified veterinary (veterinary and sanitary) requirements for goods subject to veterinary control (supervision) (approved by the Decision of the Customs Union Commission dated June 18, 2010 No. 317) [Electronic resource] URL: https://docs.cntd.ru/document/902224701?section=text (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
5. TR CU 015/2011 "On grain safety" [Electronic resource] URL: https://docs.cntd.ru/document/902320395?ysclid=lq0ula645x97849774 (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
6. Zhmurkina, P. S. Identification of undeclared GM components in feed for productive animals / P. S. Zhmurkina, T. V. Kalyuzhnaya // Youth Science Week: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, April 17-19, 2024. Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, K.I. Scriabin MBA, 2024, pp. 322-324. (In Russ.)
7. Zhmurkina, P. S. Definition of the GM soybean line in feed products / P. S. Zhmurkina, A. A. Karpenko // Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country: proceedings of the XII International scientific conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 215th anniversary of St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, November 23-24, 2023. Saint Petersburg: Perevoshchikova Yulia Vladimirovna, 2023. pp. 151- 153. (In Russ.)
8. Definition of GMOs in feed and feed additives / N. V. Brovkina, J. E. Bargman, S. A. Makavchik [et al.] // Product quality control. – 2017. – No. 3. – pp. 13-15. (In Russ.)
9. Federal Law "On State Regulation in the field of genetic engineering" (as amended on July 2, 2021) dated 06/05/1995 [Electronic resource] — URL: https://docs.cntd.ru/document/9025842?section=text (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
10. Kodolova, A.V. Legal regulation of the use of genetically modified organisms in the export of agricultural products to the CIS: international and domestic aspects / A. V. Kodolova // Agrarian and land law. – 2015. – № 1(121). – Pp. 94-98. (In Russ.)
11. Federal Law "On Sanitary and Epidemiological Welfare of the population" (as amended on July 24, 2023) dated 03/12/1999 [Electronic resource] — URL: https://docs.cntd.ru/document/901729631?ysclid=lq0v08764u669765898 (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
12. Rules for state registration of genetically engineered organisms intended for release into the environment, as well as products obtained using such organisms or containing such organisms, including specified products imported into the territory of the Russian Federation (approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated January 18, 2023 No. 35) [Electronic resource] — https://docs.cntd.ru/document/1300632616 ?ysclid=lq0vghv0hq181963193 (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
13. TR CU 022/2011 "Food products in terms of their labeling" [Electronic resource] — URL: https://docs.cntd.ru/document/902320347?ysclid=lq0xkuro3v677966329 (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
14. Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated 22.03.2019 No. 126 "On approval of the Production Methodology for molecular genetic research of genetically Engineered organisms used for the production of animal feed and feed additives, as well as animal feed and feed additives obtained using such organisms or containing such organisms" [Electronic resource] — URL: https://fsvps.gov.ru/files/prikaz-minselhoza-rossii-ot-22-03-2019-126-ob / (Date of access 09.06.2025) (In Russ.)
15. GOST R 53214-2008 "Food products. Analytical methods for the detection of genetically modified organisms and products derived from them. General requirements and definitions" Introduction. 2010-01-01.

Moscow: Standartinform, 2020. – 16 p (In Russ.)
16.GOST R ISO 21571-2014 "Food products. Analytical methods for the detection of genetically modified organisms and products derived from them. Extraction of nucleic acids" Introduction. 2015-01-07. Moscow: Standartinform, 2016. – 41 p (In Russ.)
17.GOST R 58958 – 2020 "Food products, raw materials, feed and feed additives, seed material Detection of GMOs by screening with the study of sets of genetic elements depending on the types of agricultural plants" Introduction. 2021-01-01. Moscow: Standartinform, 2020. – 16 p (In Russ.)
18.GOST 34104-2017 "Feed and feed additives. A method for identifying genetically modified soybean, corn, and rapeseed lines using real-time PCR with hybridization-fluorescence detection." Introduction. 2018-01-07. Moscow: Standartinform, 2017. – 20 p (In Russ.)
19.Dromashko, S.E. The international system of regulation of biological diversity and biosafety / S.E. Dromashko // Quality and environmental safety of food and production : proceedings of the III International Scientific Conference with elements of a scientific school for youth, Tver, March 25-29, 2015 / Responsible for the issue: G. P. Lapina, P.S. Likhusha. Tver: Tver State University, 2015. pp. 12-15. (In Russ.)
20.The Cartagena Protocol on Biosafety in Belarus / N. Minchenko, A. Kilchevsky, S. Dromashko, E. Makeeva // Science and Innovation. – 2013. – № 10(128). – Pp. 70-72. (In Russ.)
21.Sargsyan, D. S. The role of genetically modified organisms in the modern world / D. S. Sargsyan, M. A. Kutyga, L. V. Milyaeva // Rostov-on-Don: Rostov–on-Don: Limited Liability Company "DSTU-PRINT", 2022. - pp. 33-36. – International Forum "Youth in agriculture": Collection of scientific papers of the III International Forum, Rostov–on-Don, October 24-30, 2022. - Editorial board: B.C. Meskhi [et al.]. - Rostov-on-Don: Limited Liability Company "DSTU-PRINT", 2022. - pp. 33-36. - DOI 10.23947/young.2022.33-36. (In Russ.)
22.Sotnikova, N. M. Problems of biosafety of genetically modified organisms / N. M. Sotnikova // Intersectoral research as a basis for the development of scientific thought : A collection of articles of the International Scientific and Practical Conference in 2 parts, Orenburg, December 27, 2022. Volume Part 1. Ufa: OMEGA SCIENCES Limited Liability Company, 2022, pp. 14-16. (In Russ.)

УДК: 579.8:636.085.32
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.256

МИКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КОРМОВ НА ТЕРРИТОРИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Горюнова А.А.* – асп.; **Нахлёскина А.А.** – асп; **Плешакова В.И. –** д-р ветеринар. наук, проф., проф. каф. ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней (ORCID 0000-0001-7896-2339); **Герунов Т.В.** – д-р биол. наук, доц., проф. каф. диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства (ORCID 0000-0002-5594-2666)

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

*aa.goryunova2301@omgau.org

Ключевые слова: *токсигенные грибы, микотоксины, афлатоксин В1, Т-2 токсин, охратоксин А, зеараленон, дезоксиниваленол.*

Keywords: *toxigenic fungi, mycotoxins, aflatoxin B1, T-2 toxin, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol.*

Поступила: 25.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Контаминация кормов микотоксинами является общемировой проблемой на протяжении многих десятилетий. Целью исследования было определение пяти нормируемых в кормах микотоксинов (афлатоксина В1, охратоксина А, Т-2 токсина, зеараленона, дезоксиниваленола) в грубых, сочных, концентрированных и других кормах, а также выявление токсигенных грибов и их метаболитов в гранулированных кормах и сырье для кормопроизводства. Проведен ретроспективный анализ результатов исследования кормов в Омской областной ветеринарной лаборатории за период с 2019 по 2024 г.г. по пяти микотоксинам (афлатоксин В1, Т-2 токсин, охратокин А, зеараленон, дезоксиниваленол). По данным годовых отчетов Омской областной ветеринарной лаборатории, за анализируемый период (2019-2024 гг.) на исследование общей токсичности кормов поступило более 7000 образцов, из них 229 проб исследовано на наличие микотоксинов.Микотоксикологическому исследованию подлежали пшеница, овес, горох, кукуруза кормовая, грубые (сено, солома) и сочные (сенаж, силос) корма, шроты, жмыхи, кормосмеси, комбикорма. Для количественного определения микотоксинов были использованы иммуноферментный анализ и высокоэффективная жидкостная хроматография. Проблема контаминации кормов токсигенными грибами и микотоксинами остается актуальной даже при использовании интенсивных технологий в растениеводстве и высокотехнологичного оборудования при производстве кормов. Установлено, что в грубых и сочных кормах преобладает трихотеценовая группа микотоксинов (Т-2 токсин, зеараленон, дезоксиниваленол). В сырье для производства комбикормов отмечается чаще рост плесневых грибов-продуцентов афлатоксинов и охратоксинов. В большинстве случаев обнаруживали по 2-3 и более микотоксинов в одной пробе, что требует разработки комплексных мер профилактики сочетанных микотоксикозов животных.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Микроскопические грибы-продуценты микотоксинов распространены повсеместно и весьма неприхотливы к выбору субстрата. Контаминация кормов микотоксинами – это общемировая проблема, острота которой не снижается с течением времени [1, 2, 3].

Острые микотоксикозы встречаются относительно редко. Основной проблемой промышленного животноводства является длительное низкодозовое воздействие микотоксинов (чаще всего их комбинаций), обусловливающее замедление роста, снижение продуктивности и изменение иммунной реактивности животных, что в итоге приводит к экономическим потерям [4, 5].

Корма, пораженные микромицетами и продуктами их жизнедеятельности, представляют опасность не только для здоровья сельскохозяйственных животных, накапливаясь в их органах и тканях, но и для здоровья человека как конечного звена пищевой цепи. В связи с этим особая роль отводится микотоксикологическому мониторингу кормов.

Целью исследования было определение пяти нормируемых в кормах микотоксинов (афлатоксина В1, охратоксина А, Т-2 токсина, зеараленона, дезоксиниваленола) в грубых, сочных, концентрированных и других кормах, а также выявление токсигенных грибов и их метаболитов в гранулированных кормах и сырье для кормопроизводства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Проведен ретроспективный анализ результатов исследования кормов в Омской областной ветеринарной лаборатории за период с 2019 по 2024 г.г. по пяти микотоксинам (афлатоксин В1, Т-2 токсин, охратокин А, зеараленон, дезоксиниваленол). Микотоксикологическому исследованию подлежали пшеница, овес, горох, кукуруза кормовая, грубые (сено, солома) и сочные (сенаж, силос) корма, шроты, жмыхи, кормосмеси, комбикорма.

Для количественного определения микотоксинов были использованы иммуноферментный анализ по ГОСТ 31653-2012 «Корма. Метод иммуноферментного определения микотоксинов» (для афлатоксина В1, Т-2 токсина, охратокина А, зеараленона)» и высокоэффективная жидкостная хроматография с использованием аналитического комплекса на базе ЖХ Prominence по ГОСТ 51116-2017 «Комбикорма, зерно и продукты его переработки. Определение содержания дезоксиниваленола методом высокоэффективной жидкостной хроматографии».

Для проведения санитарно-микологической оценки использовали гранулированные комбикорма, зерносмеси и сырье для кормопроизводства: зерновые и зернобобовые культуры (пшеницу, ячмень, овес, кукурузу, горох, сою), подсолнечные и соевые шроты, подсолнечные жмыхи, дрожжи кормовые, отруби пшеничные, сою полножирную. При этом руководствовались методическими указаниями «Санитарно-микологическая оценка и улучшение качества кормов (1985)» и ГОСТ 13496.6-2017 «Комбикорма. Метод выделения микроскопических грибов».

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

По данным годовых отчетов Омской областной ветеринарной лаборатории, за анализируемый период (2019-2024 гг.) на исследование общей токсичности кормов поступило более 7000 образцов, из них 229 проб исследовано на наличие микотоксинов. При этом проведено 778 исследований (таблица 1). Общая токсичность корма не всегда была обусловлена высокой концентрацией микотоксинов. В ряде случаев положительный результат отмечали при контаминации проб патогенными бактериями (токсинообразующими клостридиями) или стойкими органическими веществами. При этом биотестирование иногда давало отрицательный результат при наличии в кормах микотоксинов.

Исследованию на афлатоксин В1 подлежало 111 образцов, из них 86% проб с результатом ниже уровня определения (<0,002 мг/кг) и 14 % – с положительным результатом. Степень загрязненности афлатоксином В1 составляла от 0,0024 мг/

кг до 0,045 мг/кг. Максимальное количество данного микотоксина было выявлено в образце из партии кукурузы фуражной.

В исследуемых кормах преобладала трихотеценовая группа микотоксинов: Т-2 токсин, зеараленон, дезоксиниваленол. На наличие Т-2 токсина проанализировано 207 проб, из которых в 59% случаев был выявлен данный микотоксин. Уровень содержания Т-2 токсина варьировал от 0,024 мг/кг до 0,73 мг/кг. Максимальное количество данного микотоксина обнаружено в образцах кукурузы фуражной (0,73 мг/кг), сенаже из люцерны (0,53 мг/кг), силосе кукурузном (0,47 мг/кг), глютене кукурузном (0,45 мг/кг), комбикорме для коров (0,293 мг/кг). В кормосмесях концентрация Т-2 токсина была меньше, но превышала максимально допустимые уровни.

На определение зеараленона в кормах поступило 173 образца, из которых в 44% проб был обнаружен данный микотоксин. Степень загрязненности зеараленоном составляла от 0,029 мг/кг до 0,84 мг/кг. Преобладало содержание зеараленона в пробах пшеницы фуражной (0,84 мг/кг), кукурузы фуражной (0,70 мг/кг), глютена кукурузного (0,641 мг/кг), дробины ячменной (0,46 мг/кг), жмыха льняного (0,412 мг/кг), кормосмесей (0,326 мг/кг).

Дезоксиниваленол определяли в 125 пробах, из них контаминированных ДОН – 29%. Степень загрязненности данным микотоксином составляла от 0,21 мг/кг до 4,17 мг/кг. Максимальное содержание данного токсина было определено в пробе из партии кукурузы фуражной (4,17 мг/кг). Также зафиксировано превышение МДУ в зерносмеси (2,84 мг/кг). Превышение максимально допустимого уровня отмечено в 3% проб.

На охратоксин А исследовано 162 образца, в 25% проб выявлен данный токсин. Степень загрязненности охратоксином А была от 0,0041 мг/кг до 1,43 мг/кг. Максимальное количество микотоксина было обнаружено в сенаже злаковых культур (1,43 мг/кг; 0,63 мг/кг), ячмене фуражном (0,66 мг/кг), дробине ячменной (0,217 мг/кг).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что на территории Омской области в кормах преобладает трихотеценовая группа микотоксинов (Т-2 токсин, зеараленон, дезоксиниваленол). Охратоксин А по частоте встречаемости значительно уступает дезоксиниваленолу, реже обнаруживали афлатоксин В1.

Санитарно-микологическому исследованию подлежали комбикорма, зерносмеси и сырье для кормопроизводства. Всего проанализировано 100 образцов за 2023-2024 гг. (таблица 2).

Преимущественно регистрировали рост грибов родов *Aspergillus, Penicillium, Mucor, Fusarium,* реже *Cladosporium, Alternarium, Rhizopus*. В большинстве случаев в одной пробе обнаруживали по 2-3 вида микромицетов, иногда – 5-6 видов. В большинстве случаев встречались грибы родов *Aspergillus* и *Penicillium*.

Сопоставляя данные количественного определения микотоксинов в кормах различных видов (включая грубые, сочные корма) и санитарно-микологического контроля комбикормов и комбикормового сырья, следует отметить невысокую частоту встречаемости микромицетов рода *Fusarium* (11%) в промышленных кормах и высокую степень загрязненности трихотеценовой группой микотоксинов грубых и сочных кормов. В комбикормах (при исключении кукурузы фуражной и продуктов её переработки) чаще обнаруживали плесневые грибы родов *Aspergillus* и *Penicillium* – продуценты охратоксинов и афлатоксинов. Частота встречаемости на территории Омской области афлатоксина В1 не превышала 14%.

Микотоксины обеспечивают выживаемость микроскопических грибов и их конкурентоспособность в борьбе за место в различных экологических нишах [6].

В Российской Федерации для определения микотоксинов в кормах используют различные методы, в том числе иммуноферментный анализ, высокоэффективную жидкостную хроматографию и масс-спектрометрию [5, 6, 7]. Максимально допустимые уровни (МДУ) микотокси-

нов, контролируемые нормативными документами, являются до некоторой степени условными. По мнению ряда исследователей, добавленные в корма кристаллические микотоксины менее активны, чем микотоксины, образованные грибами-продуцентами естественным путем. Следовательно, установленные в экспериментальных условиях с использованием стандартных образцов максимально допустимые уровни отдельных микотоксинов являются ориентировочными величинами. Кроме того, высока вероятность сочетанного поражения кормов микотоксинами, что, в свою очередь, усиливает их токсическое действие на макроорганизм [6, 8, 9, 10].

Микотоксины весьма термоустойчивы (например, дезоксиниваленол разрушается при 200ºС, афлатоксины – при 150-250ºС, охратоксин А – 175-250ºС, зеараленон – 150-200ºС, фуманизины – 175-200ºС, Т-2 токсин – 200ºС) [11, 12, 13, 14, 15]. В процессе кормопроизводства, особенно при использовании сухого способа гранулирования, где тепловая обработка достигает 85 ºС, при наличии в сырье микотоксинов последние могут беспрепятственно попадать в готовый продукт [16]. В связи с этим микотоксикологическому мониторингу подлежит не только сырье для производства кормов, но и готовые корма для животных.

Таблица 1 – Содержание микотоксинов в кормах для сельскохозяйственных животных в Омской области (2019-2024 гг.)

Наименование микотоксина (ГОСТ на метод исследования)	Кол-во исследований	Содержание микотоксинов ниже предела обнаружения, %	Частота встречаемости микотоксина, %	Степень загрязненности, мг/кг	
				min	max
Афлатоксин В1 (ГОСТ 31653-2012)	111	86	14	0,0024	0,045
Т-2 токсин (ГОСТ 31653-2012)	207	41	59	0,024	0,73
Охратоксин А (ГОСТ 31653-2012)	162	75	25	0,0041	1,43
Зеараленон (ГОСТ 31653-2012)	173	56	44	0,029	0,84
Дезоксиниваленол (ГОСТ51116-2017)	125	71	29	0,21	4,17

Таблица 2 – Контаминация кормов токсигенными грибами на примере Омской области, 2023-2024 гг.

Наименование образца	Количество образцов	Количество проб, содержащих грибы-продуценты			
		Aspergillus	*Penicillium*	*Mucor*	*Fusarium*
Комбикорма, кормосмеси	56	28	24	12	4
Сырье для кормопроизводства	44	44	43	17	7
Всего	100	72	67	29	11

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проблема контаминации кормов токсигенными грибами и микотоксинами остается актуальной даже при использовании интенсивных технологий в растениеводстве и высокотехнологичного оборудования при производстве кормов.

В грубых и сочных кормах на территории Омской области преобладает трихотеценовая группа микотоксинов (Т-2 токсин, зеараленон, дезоксиниваленол). В сырье для производства комбикормов отмечается чаще рост плесневых грибов-продуцентов афлатоксинов и охратоксинов, что требует разработки комплексных мер профилактики микотоксикозов животных.

MYCOTOXINOLOGICAL MONITORING OF FEEDS IN THE OMSK REGION

Goryunova A.A.* – postgraduate student; **Nakhleskina A.A.** – postgraduate student; **Pleshakova V.I.** – doctor veterinary sciences, professor, professor of the department of veterinary microbiology, infectious and invasive diseases (ORCID 0000-0001-7896-2339); **Gerunov T.V.** – doctor of biology, professor of the department of diagnostics, internal non-infectious diseases, pharmacology, surgery and obstetrics (ORCID 0000-0002-5594-2666)

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University"

* aa.goryunova2301@omgau.org

ABSTRACT

Contamination of feed with mycotoxins has been a global problem for many decades. The aim of the study was to determine five mycotoxins standardized in feed (aflatoxin B1, ochratoxin A, T-2 toxin, zearalenone, deoxynivalenol) in roughage, succulent, concentrated and other feeds, as well as to identify toxigenic fungi and their metabolites in granulated feeds and raw materials for feed production. A retrospective analysis of the results of feed research in the Omsk Regional Veterinary Laboratory for the period from 2019 to 2024 was carried out for five mycotoxins (aflatoxin B1, T-2 toxin, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol). According to the annual reports of the Omsk Regional Veterinary Laboratory, over 7,000 samples were submitted for general feed toxicity testing during the analyzed period (2019-2024), of which 229 samples were tested for mycotoxins. Wheat, oats, peas, feed corn, coarse (hay, straw) and succulent (haylage, silage) feed, meals, cakes, feed mixtures, and compound feed were subject to mycotoxicological testing. Enzyme-linked immunosorbent assay and high-performance liquid chromatography were used to quantify mycotoxins. The problem of feed contamination with toxigenic fungi and mycotoxins remains relevant even with the use of intensive technologies in crop production and high-tech equipment in feed production. It has been established that the trichothecene group of mycotoxins (T-2 toxin, zearalenone, deoxynivalenol) predominates in roughage and succulent feeds. In raw materials for the production of compound feeds, the growth of mold fungi producing aflatoxins and ochratoxins is more often noted. In most cases, 2-3 or more mycotoxins were detected in one sample, which requires the development of comprehensive measures to prevent combined mycotoxicoses in animals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey. Toxins (Basel). 2019;11(7):375. doi: 10.3390/toxins11070375.

2. Hao W., Guan S., Li A., Wang J., An G., Hofstetter U., Schatzmayr G. Mycotoxin Occurrence in Feeds and Raw Materials in China: A Five-Year Investigation. Toxins (Basel). 2023;15(1):63. doi: 10.3390/toxins15010063.

3. Muñoz-Solano B., Lizarraga Pérez E., González-Peñas E. Monitoring Mycotoxin Exposure in Food-Producing Animals (Cattle, Pig, Poultry, and Sheep). Toxins (Basel). 2024;16(5):218. doi: 10.3390/toxins16050218.

4. Xu R., Kiarie E.G., Yiannikouris A., Sun

L., Karrow N.A. Nutritional impact of mycotoxins in food animal production and strategies for mitigation. J Animal Sci Biotechnol. 2022;13(1):69. doi: 10.1186/s40104-022-00714-2.
5. Попов В.С. Проблемы микотоксикозов в современных условиях и принципы профилактических решений / В.С. Попов, Н.В. Самбуров, Н.В. Воробьева. – Курск : Планета+, 2018. 158 с.
6. Крюков В.С., Глебова И.В., Зиновьев С.В. Микотоксины, микотоксикозы и выбор адсорбентов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 8. С. 164-180.
7. Тужикова Т.А., Титова М.С. ИФА-наборы для определения микотоксинов // Комбикорма. 2011. № 1. С. 45-48.
8. Крюков В.С. Полимикотоксикоз: оценка действия // Комбикорма. 2013. № 10. С. 82-87.
9. Симонова И.А. ОТА-, ZEA-, Т-2 - сочетанные микотоксикозы животных и детоксикация кормов, контаминированных микотоксинами, с применением озон/NO-технологий : специальность 06.02.02 «Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизотология, микология с микотоксикологией и иммунология» на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Симонова Ирина Александровна; Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина. – Омск, 2013. – 127 с.
10. Bergsjø B., Langseth W., Nafstad I., Jansen J.H., Larsen H.J. The effects of naturally deoxynivalenol-contaminated oats on the clinical condition, blood parameters, performance and carcass composition of growing pigs. Vet Res Commun. 1993;17(4):283-94. doi: 10.1007/BF01839219.
11. Boudra H., Le Bars P., Le Bars J. Thermostability of Ochratoxin A in wheat under two moisture conditions. Appl Environ Microbiol. 1995;61(3):1156-8. doi: 10.1128/aem.61.3.1156-1158.1995.
12. Bullerman L.B., Bianchini A. Stability of mycotoxins during food processing. Int J Food Microbiol. 2007;119(1-2):140-6. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.035.
13. Jackson L.S., Katta S.K., Fingerhut D.D., DeVries J.V., Bullerman L.B.E. Effects of baking and frying on the Fumonisin B1 content of corn-based foods. J. Agric. Food Chem. 1997;45(12):4800-5. doi: 10.1021/jf970405b.
14. Ryu D., Hanna M.A., Bullerman L.B. Stability of zearalenone during extrusion of corn grits. J Food Prot. 1999;62(12):1482-4. doi: 10.4315/0362-028x-62.12.1482.
15. Wolf-Hall C.E., Schwarz P.B. Mycotoxins and fermentation - beer production. Adv Exp Med Biol. 2002;504:217-26. doi: 10.1007/978-1-4615-0629-4_22.
16. Payne J., Rattink W., Smith T., Winowiski T. Pelleting handbook. A guide for production staff in the compound feed industry. Sarpsborg, Norway.: Borregaard lignotech, 2001. 73 p.

REFERENCES

1. Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey. Toxins (Basel). 2019;11(7):375. doi: 10.3390/toxins11070375.
2. Hao W., Guan S., Li A., Wang J., An G., Hofstetter U., Schatzmayr G. Mycotoxin Occurrence in Feeds and Raw Materials in China: A Five-Year Investigation. Toxins (Basel). 2023;15(1):63. doi: 10.3390/toxins15010063.
3. Muñoz-Solano B., Lizarraga Pérez E., González-Peñas E. Monitoring Mycotoxin Exposure in Food-Producing Animals (Cattle, Pig, Poultry, and Sheep). Toxins (Basel). 2024;16(5):218. doi: 10.3390/toxins16050218.
4. Xu R., Kiarie E.G., Yiannikouris A., Sun L., Karrow N.A. Nutritional impact of mycotoxins in food animal production and strategies for mitigation. J Animal Sci Biotechnol. 2022;13(1):69. doi: 10.1186/s40104-022-00714-2.
5. Popov V.S. Problemy mikotoksikozov v sovremennyh usloviyah i principy profilakticheskih reshenij / V.S. Popov, N.V. Samburov, N.V. Vorob'eva. – Kursk : Planeta+, 2018. 158 s. (In Russ.)

6. Kryukov V.S., Glebova I.V., Zinov'ev S.V. Mikotoksiny, mikotoksikozy i vybor adsorbentov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 8. S. 164-180. (In Russ.)
7. Tuzhikova T.A., Titova M.S. IFA-nabory dlya opredeleniya mikotoksinov // Kombikorma. 2011. № 1. S. 45-48. (In Russ.)
8. Kryukov V.S. Polimikotoksikoz: ocenka dejstviya // Kombikorma. – 2013. № 10. S. 82-87. (In Russ.)
9. Simonova I.A. OTA-, ZEA-, T-2 - sochetannye mikotoksikozy zhivotnyh i detoksikaciya kormov, kontaminirovannyh mikotoksinami, s primeneniem ozon/NO-tekhnologij : special'nost' 06.02.02 «Veterinarnaya mikrobiologiya, virusologiya, epizotologiya, mikologiya s mikotoksikologiej i immunologiya» na soiskanie uchenoj stepeni kandidata veterinarnyh nauk / Simonova Irina Aleksandrovna; Omskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. P. A. Stolypina. – Omsk, 2013. – 127 s. (In Russ.)
10. Bergsjø B., Langseth W., Nafstad I., Jansen J.H., Larsen H.J. The effects of naturally deoxynivalenol-contaminated oats on the clinical condition, blood parameters, performance and carcass composition of growing pigs. Vet Res Commun. 1993;17(4):283-94. doi: 10.1007/BF01839219.
11. Boudra H., Le Bars P., Le Bars J. Thermostability of Ochratoxin A in wheat under two moisture conditions. Appl Environ Microbiol. 1995;61(3):1156-8. doi: 10.1128/aem.61.3.1156-1158.1995.
12. Bullerman L.B., Bianchini A. Stability of mycotoxins during food processing. Int J Food Microbiol. 2007;119(1-2):140-6. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.035.
13. Jackson L.S., Katta S.K., Fingerhut D.D., DeVries J.V., Bullerman L.B.E. Effects of baking and frying on the Fumonisin B1 content of corn-based foods. J. Agric. Food Chem. 1997;45(12):4800-5. doi: 10.1021/jf970405b.
14. Ryu D., Hanna M.A., Bullerman L.B. Stability of zearalenone during extrusion of corn grits. J Food Prot. 1999;62(12):1482-4. doi: 10.4315/0362-028x-62.12.1482.
15. Wolf-Hall C.E., Schwarz P.B. Mycotoxins and fermentation - beer production. Adv Exp Med Biol. 2002;504:217-26. doi: 10.1007/978-1-4615-0629-4_22.
16. Payne J., Rattink W., Smith T., Winowiski T. Pelleting handbook. A guide for production staff in the compound feed industry. Sarpsborg, Norway.: Borregaard lignotech, 2001. 73 p.

УДК: 636.2.034+637.07
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.263

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОЛОКА КОРОВ РЯДА НАЦИОНАЛЬНЫХ ПОРОД РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Зайцев С.Ю.* – д-р хим. наук, д-р биол. наук, вед. науч. сотр., руководитель группы аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-1533-8680)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: *породы коров, молоко коров, компонентный состав, удои, поголовье.*

Key words: *breeds of cows, cows' milk, component composition, milk yield, livestock.*

Финансирование: *Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР FGGN-2024-0016).*

Поступила: 15.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Молоко является особо ценным продуктом питания человека и ряда животных. В последнее время рекомендуется использовать уточнение по голштинской породе как чёрно-пёстрой масти (в подавляющем большинстве случаев) или красно-пёстрой масти (несколько процентов животных), т.к. многие коровы чёрно-пёстрой породы после генетического анализа переводятся в голштинскую породу чёрно-пёстрой масти. Относительная численность остальных десятков пород находится ниже этого уровня, но ряд из них являются важными отечественными породами коров, поэтому будут рассматриваться ниже. Целью работы является сравнительная оценка продуктивности и основных параметров молока коров холмогорской породы основных молочных типов и четырех малочисленных, но важных отечественных пород коров Российской селекции. В результате анализа литературных данных следует, что как общее, так и племенное поголовье холмогорской породы коров в России постепенно уменьшается. При этом средний удой по породе за лактацию постепенно увеличивается и уже составляет 7875 кг, что почти в 2 раза выше такового за 2005 г. Средняя массовая доля жира около 3,9%, а средняя массовая доля белка равна 3,2%. Рассмотренные еще четыре породы (Суксунская, Сычевская, Тагильская породы и Якутский скот) являющиеся одними из наиболее малочисленных («минорных») в России, поэтому в последнее время перспективы сохранения этих пород вызывают беспокойство. Хотя многие из животных «минорных» пород отличаются повышенным содержанием жира (и/или белка) в молоке, хорошо акклиматизируется в суровом климате и обладают резистентностью ко многим заболеваниям, но из-за низкой продуктивности они выпадают из пула коммерчески выгодных пород.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Молоко является особо ценным продуктом питания человека и ряда животных [1-3]. Как известно, количественное содержание отдельных компонентов в молоке у разных видов крупного рогатого скота (КРС) существенно различается, хотя качественный состав их практически одинаков [4-6]. Например, для голштинской и черно-пестрой пород КРС, в сумме - наиболее представительных по поголовью в современной России, диапазоны значений (минимальное–максимальное) по величинам массовой доли жира (МДЖ) лежит в пределах от 3,7% [7] до 3,9% [8]; по массовой доли белка – от 3,1% [9] до 3,3% [10]. В настоящее время ведущими породами в России (т.е. теми породами, численность которых превышает 2,5% от общей численности молочного скота в стране) КРС молочного направления продуктивности являются (по количеству голов): черно-пестрая, симментальская, холмогорская, красная степная, красно-пестрая, айширская, голштинская и ярославская породы [11,12]. В последнее время рекомендуется использовать уточнение по голштинской породе как чёрно-пёстрой масти (в подавляющем большинстве случаев) или красно-пёстрой масти (несколько процентов животных), т.к. многие коровы чёрно-пёстрой породы после генетического анализа переводятся в голштинскую породу чёрно-пёстрой масти. Относительная численность остальных десятков пород находится ниже этого уровня [12], но ряд из них являются важными отечественными породами коров, поэтому будут рассматриваться ниже.

Целью работы является сравнительная оценка продуктивности и основных параметров молока коров холмогорской породы основных молочных типов и четырех малочисленных, но важных отечественных пород коров Российской селекции на основе анализа литературных данных. Для сбора данных использованы информационно-аналитические системы и сайты Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 31.03.2025 № 196 "Об утверждении перечня видов и пород (типов, кроссов линий) животных, используемых в разведении племенных животных" (Зарегистрирован 07.05.2025 № 82087 http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202505070019), ФГБНУ ВНИИплем (https://vniiplem.ru/breeds/mol-krs/), ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (https://www.vij.ru/dokumenty) и других организаций**.** Базы данных для поиска научной литературы: РИНЦ (https://www.elibrary.ru/), КиберЛенинка (cyberleninka.ru), AGRIS, Scopus и другие.

Основные параметры молока коров холмогорской породы

Интересным фактом является то, что холмогорскую породу молочного направления получили в Архангельской губернии около трех веков назад [12]. Наиболее популярная масть данной породы черно-пестрая (но, может быть, как практически черной, так и серой масти), а масса тела у коров может достигать 530-560 кг [11,12]. Холмогорская порода хорошо акклиматизируется в суровом климате, что позволяет разводить породу в северных, а также – в северо-восточных областях Европейской части России. Кроме того, животные приспособились даже к климатическим условиям многих областей Сибири и Дальнего Востока [12]. На основе холмогорской породы в последние годы создано четыре молочных типа: Центральный, Северный, Печорский и Татарстанский, а также эту породу использовали для получения истобенской и тагильской пород КРС [11, 12]. Положительно, что эту породы разводят в 13 областях и республиках России (например, в таких хозяйствах как СХПК «Полярная Звезда», ГОУСП «Тулома», Мурманская область; ОАО «АФ «Вельская», Архангельская область) [12]. Основные показатели (поголовье, удои, белково-жировой состав молока) холмогорской породы скота [12-16] представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Биохимические показатели молока по общему поголовью коров холмогорской породы в племенных хозяйствах РФ (усреднено*)

Показатель	Удой за лактацию, кг	МДЖ, %	МДЖ, кг	МДБ, %	МДБ, кг
2005	3793,0	3,68	139,6	-	-
2010	4731,0	3,79	179,3	3,11	147,1
2015	5384,0	3,80	204,6	3,11	167,4
2020	6432,0	3,87	248,9	3,18	204,5
2021	7137,0	3,88	276,9	3,17	226,2

Примечание: МДЖ – массовая доля жира; МДБ – массовая доля белка (адаптировано по данным [12-15]).*

Таблица 2 – Зоотехнические показатели по общему поголовью коров холмогорской породы в целом*

Показатель	2005	2010	2015	2018	2021
Возраст при 1 отеле, дней	926	888	851	818	-
Возраст в отелах, ед.	3,50	3,24	3,11	2,82	3,07
Возраст выбытия коров, в отелах	4,52	4,10	4,30	3,80	4,21
Сервис-период, дней	99	111	112	125	-
Сухостойный период, дней	67	64	63	62	63

Примечание: адаптировано по данным [12-15].*

Диапазон изменения усреднённого удоя за лактацию в целом по холмогорской породе коров во всех типах хозяйств РФ (табл. 1) составил: максимальное количество – 7875,0 кг [12], минимальное – 3793,0 кг [14], среднее округленно – 5650,0 кг. Изменения массовой доли жира (в %) составляет в диапазоне, где наибольшее число – 3,88% [12], а минимальное – 3,68% [14], а среднее округленно – 3,80%. Изменения массовой доли жира (в кг) составляет в диапазоне, где наибольшее число – 291,0 кг [12], а минимальное – 139,6 кг [14], а среднее округленно – 215,3 кг. Изменения массовой доли белка (в %), соответственно, в пределах от максимального 3,18% [12, 14] до минимального – 3,10% [15], а среднее округленное – 3,10%. Изменения массовой доли белка (в кг), соответственно, в пределах от максимального – 238,5 кг [12] до минимального – 130,2 кг [15], а среднее округленное – 184,4кг. Изменения живой массы, соответственно, максимальная – 537,0 кг [14], а минимальная – 471,0 кг [15], среднее округленно – 504,0 кг.

Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод, что возраст при первом отеле сократился с 926,2 в 2005 году [14] до 818 дней в 2018 [14], среднее округлено – 872 дня. Возраст в отелах к 2018 году уменьшился до 2,82 [14] с 3,50 [12], среднее округлено – 3,2 ед. Возраст выбытия наибольший составлял в 2005 году 4,52 [14] и наименьший 3,8 в 2018 [14], среднее округлено – 4,2 (в отелах). Наибольший сервис-период у коров составлял 125 дней в 2018 году [14], наименьший 99 дней в 2005 [14], среднее округлено – 112 дней. Сухостойный период наибольший 67 дней в 2005 году [14], наименьший в 2018 и составил 63 дня [14], среднее округлено – 65 дней.

Авторы [12] установили, что общая численность поголовья холмогорской породы в 2010 году составило 303,88 тысяч голов или 8,76% от всего поголовья крупного рогатого скота 3468,98 тысяч в РФ. Молочное поголовье холмогорской породы в 2010 году составило170,25 тысяч голов, в процентном отношении это 8,65% от всего молочного стада. Средний удой за 2010 год составил 4731,0 кг. В 2015 году общее количество скота составило 2968,53 тысячи голов, из которых голов холмогорской породы 222,94 тысячи или 7,51% от общего поголовья РФ. Молочное поголовье в стране за 2015 год составило 1739,41 тысячу голов, из которой 125,76 тысячи или 7,23% составила холмогорская порода. Средний удой за 2015 год равен 5384,0 кг. В 2020 году общее количество скота составило 2616,70 тысяч голов, из которых голов холмогорской породы 135,02 тысячи или 5,16% от общего поголовья РФ. Молочное поголовье в стране за 2020 год составило 1597,37 тысяч голов, из которой 80,03 тысячи или 5,01% составила холмогорская порода. Средний удой за 2020 год равен 7137,0 кг. В 2021 году общее количество скота составило 2616,7 тысяч голов, из которых холмогорской породы 115,34 тысячи или 4,42% от общего поголовья РФ. Молочное поголовье в стране за 2021 год составило 1587,99 тысяч голов, из которой 68,60 тысячи или 4,32% составила холмогорская порода. Средний удой за 2021 год равен 7500,0 кг.

По данным последних лет (ФГБНУ ВНИИплем) племенное поголовье скота в целом по холмогорской породе составляет 26,15 тыс. голов (в том числе, общее поголовье коров - 14,88 тыс.голов). При этом годовой удой в целом по холмогорской породе составляет 7875,0 кг при содержании жира - 3,90% и белка - 3,22% в молоке. Для татарстанского типа поголовье скота холмогорской породы составляет всего около 16,08 тыс. голов (в том числе, поголовье коров – 8,46 тыс. голов). При этом годовой удой для печорского типа составляет 9 191,0 кг при содержании жира - 3,87% и белка - 3,24% в молоке. Однако, для печорского типа поголовье скота холмогорской породы составляет всего около 180 голов (в том числе, поголовье коров – 140 голов). При этом годовой удой для печорского типа составляет 3158,0 кг при содержании жира - 3,72% и белка - 3,19% в молоке. К сожалению, в доступной литературе не удалось найти достоверных данных о таких типах скота холмогорской породы как «Центральный» и «Северный».

По данным Сановой З.С. [9] количество голов холмогорской породы на территории Калужской области с годами существенно сократилось: в 2012 году составляло 36,5%, а к 2021 году количество сократилось до 10,2%. По данным Николаева С.В. [16] в России имеется 109 быков-производителей холмогорской породы, из которых 84 – чистопородных, а еще 25 быков – с кровностью до 25%. Исходя из материалов, предоставленных авторами [12-15], можно провести промежуточный итог, что количество общего и молочного стада сокращается, но наблюдается увеличение удоев.

Основные параметры молока коров ряда минорных национальных пород Российской селекции

В данном разделе будут рассмотрены четыре породы, являющиеся наиболее малочисленными в России: Суксунская, Сычевская, Тагильская породы и Якутский скот (табл. 3).

Известно, что «Суксунская» порода была «создана в селении Суксун Пермской губернии во второй половине XIX столетия путем скрещивания местного скота» с животными разных пород (прежде всего - «красной датской породы», а затем – «с быками красной датской, англерской, красной степной, бурой латвийской и красной эстонской пород» [12]. Достоинствами «Суксунской» породы является прежде всего возможность получить молоко жирностью не менее 4,0% при достаточно высоком содержании белка (не менее 3,0%), крепкое сложение и «плотная конституция», а также – «устойчивость к заболеваниям (туберкулез, лейкоз) и хорошая приспособленность к суровым условиям Перм-

ского края» [12]. Из недостатков экстерьера можно ответить «саблистость конечностей» [12] и средний удой, который составляет от 5000 кг до 6000 кг молока за лактацию (ведущее хозяйство - ООО «Суксунское», Пермский край) [12].

«Сычевская» порода была создана в хозяйствах Сычевского и Новодугинского районов Смоленской области путем «скрещивания местного скота с симментальским и последующим разведением «в себе» помесей второго и третьего поколения» [12]. Понятно почему «сычевская» порода по телосложению и окрасу сходна с симментальским скотом (масть палево-пестрая, конституция крепкая, костяк развит хорошо, вымя большое, с длинными цилиндрическими сосками и т.д.). Важно, что еще во времена СССР (в 1951 г.), «сычевский» скот был утвержден как самостоятельная порода. Помимо достойных молочных качеств (жирность около 4,0% при высоком содержании белка - до 3,3%),), присутствуют и хорошие мясные качества [12]. Хотя работа с племенным поголовьем «сычевской» породы проводится в ряде хозяйств Смоленской области (ООО Агрис «Сычевка», ОАО «Смоленское» по племенной работе, ООО «Балтутино» [12]), но в последнее время перспективы сохранения этой породы вызывают беспокойство.

Якутский скот является уникальным по ряду биохимических показателей: очень высокой жирности молока (до 4,7%) и высоком содержании белка (до 3,6%) [10-12]. Хотя среднегодовой удой за лактацию очень мал (может составлять только около 1200-1600 кг), но отдельные особи могут раздаиваться до 3000 кг молока [12]. Как было показано в наших работах существует сильная отрицательная (обратная) корреляция между удоем, с одной стороны, и «жирномолочностью» (лучше сказать «белково-жирностью») молока, с другой стороны. Это конечно связано и с холодным климатом, в котором требуется больше энергии потомству передавать с молоком матери. Важно, что этот скот сохранился в относительной «чистоте» в Республике Саха (Якутия) при очень небольшом поголовье этого скота (составляет около 1000 голов) [12]. Животные этой породы неприхотливы к кормам, отличаются высоким долголетием за счет устойчивости к экстремальным природным факторам и различным болезням. Ведущими хозяйствами в Республике Саха (Якутия): ГУ ГН «Бытынтай» и ГУ ГП «Тускул» [12]). В последнее время в сохранение генофонда данной породы большой вклад вносит ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Таблица 3 – Ряд малочисленных пород молочного скота региональной селекции

Показатель	Суксунская порода	Сычевская порода	Якутский скот	Тагильская порода
Племенное поголовье, тыс. гол.	1,37	3,70	0,71	0,12
в т.ч. коров, тыс.гол.	1,00	2,17	0,32	0,08
Удой, кг	5790	5495	1200-1600	3686
Жир, %	4,02	3,96	4,70	3,98
Белок, %	3,02	3,26	3,59	3,15

Примечание: адаптировано по данным [8-15].*

Тагильская порода выведена в XIX веке на Урале путем скрещивания местного скота с холмогорской и голландской породами, поэтому она хорошо приспособлена к к суровым климатическим условиям Урала [12]. Животные имеют некоторые недостатки по экстерьеру (несколько удлиненным туловищем, слабо развитую мускулатуру, узкий таз, неправильную постановку конечностей) и среднюю молочную продуктивность [12]. Однако эти животные положительно отличаются повышенным содержанием жира в молоке и резистентностью к различным заболеваниям [12].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, как общее, так и племенное поголовье холмогорской породы коров в России постепенно уменьшается. При этом средний удой по породе за лактацию увеличивается и уже составляет 7875 кг. Средняя массовая доля жира около 3,9%, а средняя массовая доля белка равна 3,2%. Рассмотренные четыре породы (Суксунская, Сычевская, Тагильская породы и Якутский скот) являющиеся одними из наиболее малочисленных («минорных») в России, поэтому в последнее время перспективы сохранения этих пород вызывают беспокойство. Хотя многие из животных «минорных» пород отличаются повышенным содержанием жира (и/или белка) в молоке, хорошо акклиматизируется в суровом климате и обладают резистентностью ко многим заболеваниям, но из-за низкой продуктивности они выпадают из пула коммерчески выгодных пород. Например, якутский скот является уникальным по исключительно высокой жирности молока (до 4,7%) и высокому содержанию белка (до 3,6%). Позитивно, что для лучших представителей этих пород создаются условия для их сохранения в рамках ряда программ по сохранению биоразнообразия в нашей стране.

COMPARATIVE EVALUATION OF MILK FROM COWS OF A NUMBER OF NATIONAL BREEDS OF RUSSIAN SELECTION

Zaitsev S. Yu. * – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, leading researcher, Head of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-1533-8680)

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst

* s.y.zaitsev@mail.ru

Financing: *The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment (EGISU registration number of the research topic FGGN-2024-0016).*

ABSTRACT

Milk is a particularly valuable food product for humans and a number of animals. Recently, it has been recommended to use the clarification for the Holstein breed as black-and-white (in the vast majority of cases) or red-and-white (several percent of animals), since many black-and-white cows are transferred to the black-and-white Holstein breed after genetic analysis. The relative abundance of the remaining dozens of breeds is below this level, but a number of them are important domestic breeds of cows, so they will be considered below. As a result of the data analysis, it follows that both the total and breeding population of the Kholmogory cow breed in Russia is gradually decreasing. At the same time, the average milk yield for the breed per lactation is gradually increasing and already amounts to 7875 kg, which is almost 2 times higher than that for 2005. The average mass fraction of fat is about 3.9%, and the average mass fraction of protein is 3.2%. The four breeds considered (Suksunskaya, Sychevskaya, Tagil breeds and Yakut cattle) are among the smallest ("minor") in Russia, therefore, recently, the prospects for preserving these breeds have caused concern. Although many of the animals of the "minor" breeds are distinguished by an increased content of fat (and / or protein) in milk, acclimatize well in a harsh climate and are resistant to many

diseases.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Clark S., Harte F. Raw Milk: Nature's most perfect food? In Encyclopedia of Dairy Sciences: Third edition (Editors: Paul L.H. McSweeney, John P. McNamara). London: Academic Press; 2022. 462 p. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818766-1.00108-2
2. Харитонов Е.Л. Физиология и биохимия питания молочного скота. Боровск: Оптима Пресс; 2011. 372 с.
3. Горбатова К.К., Гунькова П.И. Биохимия молока и молочных продуктов. СПб.: Гиорд; 2010. 330 с.
4. Зайцев С.Ю., Воронина О.А., Колесник Н.С., Сивкина О.Н., Сермягин А.А., Осадчая О.Ю. Биохимические и физико-химические методы исследования молока коров. Дубровицы: Издательство ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста; 2024. 396 с.
5. Богатова О. В., Догарева Н. Г. Химия и физика молока. Оренбург: Издательство ГОУ ОГУ; 2004. 137 с.
6. Твердохлеб Г.В., Раманаскас Р.И. Химия и физика молока и молочных продуктов. Москва: ДеЛипринт; 2006. 260 с.
7. Абылкасымов Д., Абрампальская О.В., Востряков К.В. Воспроизводительная способность и производственное использование коров разных пород в Тверской области. *Научные направления развития животноводства и кормопроизводства в России*. 2020;(1):17-20.
8. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах российской федерации (2021 год). М.: ФГБНУ ВНИИплем; 2022. 262 с.
9. Санова З.С. Породы молочного направления в Калужской области. *Владимирский земледелец*. 2022;(2):48-53.
10. Ермишин А.С. Продуктивность и селекционно-генетические показатели молочных коров разной селекции в условиях ярославской области: дис. … канд. с-х. наук. 2022. 78 с.
11. Фирсова Э.В., Капташова А.П. Основные породы молочного скота в хозяйствах Российской Федерации. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019;55(2):69-75.
12. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах российской федерации (2023 год). М.: ФГБНУ ВНИИплем; 2024. 242 с.
13. Чинаров В.И. Оценка конкурентоспособности молочных пород крупного рогатого скота. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(10):74-78.
14. Мещеров Р.К., Никулкин Н.С., Ходыков В.П., Мещеров Ш.Р. Современное состояние и перспективы разведения и совершенствования Холмогорской породы скота. *Научные направления развития животноводства и кормопроизводства в России*. 2020;(1):76-79.
15. Костомахин Н.М., Габедава М.А., Воронкова О.А. Продуктивные и воспроизводительные качества скота Холмогорской породы Калуга: ИП Стрельцов И.А. 2022. 122 с.
16. Николаев С.В. Генеалогическая и генетическая характеристика быков холмогорской породы РГУСП «Коми». Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2020;244(4):139-143.

REFERENCES

1. Clark S., Harte F. Raw Milk: Nature's most perfect food? In Encyclopedia of Dairy Sciences: Third edition (Editors: Paul L.H. McSweeney, John P. McNamara). London: Academic Press; 2022. 462 p.
2. Kharitonov E.L. Physiology and biochemistry of dairy cattle nutrition. Borovsk: Optima Press; 2011. 372 p.
3. Gorbatova K.K., Gunkova P.I. Biochemistry of milk and dairy products. St. Petersburg: Giord; 2010. 330 p.
4. Zaitsev S.Yu., Voronina O.A., Kolesnik N.S., Sivkina O.N., Sermyagin A.A., Osadchaya O.Yu. Biochemical and physicochemical methods for studying cow milk. Dubrovitsy: Publishing house of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst; 2024. 396 p.
5. Bogatova O. V., Dogareva N. G. Chemistry and physics of milk. Orenburg: Publish-

ing house GOU OSU; 2004. 137 p.
6. Tverdokhleb G.V., Ramanaskas R.I. Chemistry and physics of milk and dairy products. Moscow: DeLiprint; 2006. 260 p.
7. Abylkasymov D., Abrampalskaya O.V., Vostryakov K.V. Reproductive capacity and production use of cows of different breeds in the Tver region. Scientific directions of development of animal husbandry and forage production in Russia. 2020; (1): 17-20.
8. Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation (2021). Moscow: FGBNU VNIIPlem; 2022. 262 p.
9. Sanova Z.S. Dairy breeds in the Kaluga region. Vladimirsky zemeledelets. 2022; (2): 48-53.
10. Ermishin A.S. Productivity and selection and genetic indicators of dairy cows of different selection in the conditions of the Yaroslavl region: dis. ... cand. agricultural sciences. 2022. 78 p.
11. Firsova E.V., Kaptashova A.P. Main breeds of dairy cattle in farms of the Russian Federation. Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2019;55(2):69-75.
12. Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation (2023). Moscow: FGBNU VNIIPlem; 2024. 242 p.
13. Chinarov V.I. Assessment of the competitiveness of dairy cattle breeds. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018;32(10):74-78.
14. Meshcherov R.K., Nikulkin N.S., Khodykov V.P., Meshcherov Sh.R. Current state and prospects for breeding and improving the Kholmogory cattle breed. Scientific directions for the development of animal husbandry and forage production in Russia. 2020;(1):76-79.
15. Kostomakhin N.M., Gabedava M.A., Voronkova O.A. Productive and reproductive qualities of Kholmogory breed cattle Kaluga: IP Streltsov I.A. 2022. 122 p.
16. Nikolaev S.V. Genealogical and genetic characteristics of Kholmogory breed bulls of the Komi State University of Agricultural Sciences. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2020;244(4):139-143.

УДК: 636.087.7:636.5.033
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.271

ВЫСОКОБЕЛКОВЫЕ КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ В РАЦИОНАХ МОЛОДНЯКА КУР

Касанова Н.Р.[1]* – канд. с/х. наук, доц. каф. химии (ORCID 0000-0002-3679-9155); **Гайнуллина М.К.**[1] – д-р. с/х. наук, проф. каф. технологии и переработки сельскохозяйственной продукции (ORCID 0000-0003-3539-4065); **Капитонова Е.А.**[2] – д-р биол. наук, доц., проф. каф. зоогигиены и птицеводства имени А.К. Даниловой (ORCID 0000-0003-4307-8433); **Просвирников Д.Б.**[3] – д-р. техн. наук, проф. каф. химической кибернетики (ORCID 0000-0002-6736-8788); **Головкова Е.Е.**[1] – студент 3 курса (ORCID 0009-0007-5608-576X); **Броднева А.В**.[2] – асп. 1 года каф. химической кибернетики (ORCID:0009-0001-9260-341X)

[1] ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
[2] ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –МВА имени К. И. Скрябина»
[3] ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*nadia-kasanova@mail.ru

Ключевые слова: *белковый концентрат, горох, экструдированный горох, соя, кормовая добавка.*
Keywords: *protein concentrate, peas, extruded peas, soya, fodder additive.*
Финансирование: *Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан (г. Казань) (соглашение №148/2024-ПД от 16.12.2024).*

Поступила: 15.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ
Альтернативой дефицитному животному белку могут быть протеины растительного происхождения, к тому же они считаются гипоаллергенными, нетоксичными и легкоусвояемыми. Глубокая переработка гороха позволяет получить белковый концентрат с содержанием сырого протеина до 40% и долей незаменимых аминокислот 12,3% от общего белка. Включение в рацион птиц белка на основе гороха, может послужить заменой дорогой импортной сое. В эксперименте изучено влияние скармливания кормовых добавок на основе экструдированной сои, гороха и горохового белкового концентрата на физиологическое состояние и продуктивные качества молодняка кур. Исследования проводили на цыплятах (100 голов) мясо-яичного направления продуктивности породы Доминант. Контрольная (1) группа получала промышленный комбикорм (ПК) согласно возрасту, 2 группе эквивалентно по протеину вводили (до 5%) гороховый

белковый концентрат (ГБК), полученный путем ферментолиза, 3 группе – экструдированные семена сои (ЭС) и 4 группе – экструдированные семена гороха (ЭГ). Проведенные исследования показали, что у молодняка 2 группы, получавшего ГБК, были наилучшие показатели продуктивности. По сравнению с контролем прирост живой массы у этой птицы на 40 сутки был больше на 2,7% ($p \geq 0,05$), на 60 сутки – на 4,7% ($p \geq 0,05$), средний абсолютный и суточный прирост на 5,4% и 10,2% ($p \geq 0,05$). Полученные данные подтверждаются индексами массивности и укороченности, для 2 группы они были наибольшими и составили 5,7 и 53,8, соответственно. В этой группе отмечен самый низкий расход корма на 1 килограмм прироста живой массы, а индекс продуктивности был выше на 23 единицы или 19%. Биохимическими исследованиями крови птиц установлено, что кормовые белковые добавки растительного происхождения не оказывают отрицательного влияния на организм подопытной птицы.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Современные тенденции развития общества, стремление к экологизации промышленности, органически чистому сельскому хозяйству, здоровому и функциональному питанию побуждает человечество к реформированию подходов и поиску альтернативных источников питания, которые будут способствовать сокращению дефицита основных нутриентов пищи, например, белков, как для человека, так и животных. В России и во всем мире в последующие десятилетия мощности сельскохозяйственного производства должны кратно возрасти, чтобы обеспечить население качественными и полноценными продуктами питания [7]. Общеизвестно, что затраты на производство 1 кг мяса выше в 8-10 раз, чем затраты необходимые для производства того же объема белкового продукта растительного происхождения [1]. Кроме того, внедрение прогрессивных технологий с сохранением природных ресурсов и снижением нагрузки на окружающую среду является приоритетной задачей для отечественного агропромышленного комплекса [11].

В настоящее время одним из мировых трендов является значительный рост производства продукции птицеводства (мяса и яиц). Производство мяса птицы на сегодняшний день существенно опережает темпы роста в других отраслях животноводства. Так, по данным за 2022 год удельный вес мяса птицы в общем объёме составил почти 40%, на втором месте свинина – 34%, доля говядины – 20%, баранины – 3% [9]. Реализация генетического потенциала птицы зависит не только от этологических, физиологических и инкубационных особенностей, но и от программы кормления согласно возрастному периоду с соблюдением регламентов. Данное направление не меньше других отраслей испытывает дефицит кормового белка [5].

Ученые и исследователи разных стран [14], в том числе России, охватывают широкий спектр альтернативного растительного сырья и технологий для создания прочной кормовой базы, которая будет отвечать высоким требованиям к качеству получаемого продукта, а также укладываться в бюджет не только крупных мега ферм, фабрик и комплексов, но и частных фермерских хозяйств и подворий [3, 8, 12].

Растительные белки считаются более качественными и легко усвояемыми организмом, однако, каждый растительный протеин отличается по составу аминокислот и других важных компонентов. Закоренелым мнением считалось, что альтернативой белку животного происхождения является только соя и продукты ее переработки, однако, стоимость таких кормовых средств очень высока, что приводит к удорожанию рационов и соответственно, продукции. С целью повышения эффективности развития отрасли растениеводства, и решения проблемы дефицита белка в России ведется направленная селекция на повышение урожайности, выведение определенных акклиматизированных сортов и расширятся посевы зернобобовых культур.

Традиционной зернобобовой культурой в нашей стране является горох. Технология глубокой вторичной переработки гороха и продуктов его переработки позволит создавать инновационные бюджетные кормовые добавки с высоким содержанием протеина для сельскохозяйственных животных и птиц [4].

В работах некоторых авторов имеются данные о том, что использование растительных кормовых средств, которые являются альтернативой белковых кормов животного происхождения, благотворно влияет на физиологическое состояние животных и птиц, повышает их продуктивные качества и обеспечивают увеличение конверсии корма [2, 6]. По данным Marchal L. et al. (2024) включение в рацион альтернативных растительных компонентов вместо соевого шрота способствует повышению живой массы бройлеров на 3,8% и снижению конверсии корма на 1,9 % [10]. В исследованиях Абилова В.Т. и др. (2021) установлено, что скармливание растительных белковых добавок способствует приросту живой массы на 8,8-19,2%, повышению сохранности на 3,3% и индекса продуктивности на 35,5-36,7%, при этом дополнительная прибыль в расчете на голову увеличилась на 7,94-19,65 рублей [13].

В связи с вышеизложенным, целью данного исследования было изучение эффективности применения в рационах молодняка кур мясо-яичного направления продуктивности взамен сои кормовых добавок из переработанного некондиционного гороха (экструдированный горох и гороховый белковый концентрат, полученного путем ферментолиза гороха).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

С целью изучения эффективности применения высокобелковых добавок при выращивании молодняка кур был проведен научный опыт на 4 группах по 25 голов, согласно общепринятой методике. В период эксперимента цыплята содержались в двухъярусных клетках в соответствии с зоотехническими нормами. Рацион контрольной (1 группы) цыплят состоял из стандартного комбикорма заводского приготовления согласно возрастному периоду (ОР), в рационы опытных групп птиц (2-4) эквивалентно по протеину вводили белковый концентрат (2 группа) на основе гороха (ГБК) глубокой переработки, экструдированные семена гороха (ЭГ) сорта Нарат (3 группа), экструдированные семена сои (ЭС) сорта Миляуша (4 группа). Сырье предварительно экструдировали и измельчали, ГБК получали путем ферментативного гидролиза полисахаридной фракции препаратами ферментов («Сиббиофарм», г. Новосибирск) в лабораторном шейкере-инкубаторе Kuhner F1-X (Швейцария) (лаборатория кафедры химической кибернетики КНИТУ, г. Казань) при температурном режиме 55°С, 100 мин-1, pH=5,5 в течении 9 часов. Химический и аминокислотный анализ комбикормов и добавок проводили на анализаторе NIRS™DS 2500 (ФИЦ РАН ТатНИИСХ, г. Казань). Добавки в рацион цыплят вводили ежедневно в сухом в виде, смешивая с основным рационом. Ежедневно проводили оценку сохранности поголовья, физиологического состояния молодняка птиц, поедаемость корма, консистенцию помета. Учет динамики живой массы проводили путем взвешивания в начале опыта, в 20, 40 и 60 суточном возрасте. Для оценки роста и развития статей были взяты промеры у птицы в возрасте 40 суток, по которым рассчитали индексы телосложения. В конце эксперимента проводили взятие крови для биохимического исследования, которые проводили на анализаторе Chemray-240. Полученные в результате эксперимента данные были статистически обработаны в программе *Microsoft Excel* с определением критерия достоверности Стьюдента (td).

РЕЗУЛЬТАТЫ/RESULTS

С целью применения полученных кормовых добавок в птицеводстве, провели их химический и аминокислотный анализ. Сравнительная оценка химического состава кормовых добавок показала, что в ГБК уровень сырого протеина составил 35,3%, в ЭГ– 19,2%, в ЭС его содержание

было в два раза выше и составило 38,4%. Количество сырого жира в ЭГ - 2,3%, в ЭС – 14,7%, в ГБК – 4,3%. Содержание крахмала в ЭК составило 39,7%, ЭС – 11,2%, ГБК – 11,9%. Аминокислотный состав кормовых добавок представлен на рисунке 1.

Самое высокое содержание заменимых аминокислот отмечено в белковом концентрате из гороха - 20,4%, а в семенах экструдированной сои этот показатель был снижен на 0,5% и равнялся 19,9%, в экструдированном горохе количество заменимых аминокислот было самым низким – 9,4%.

Количество незаменимых аминокислот в экструдированных семенах сои и белковом концентрате гороха было на одном уровне – 12,4 и 12,3% соответственно, у экструдированного гороха – 6,9%.

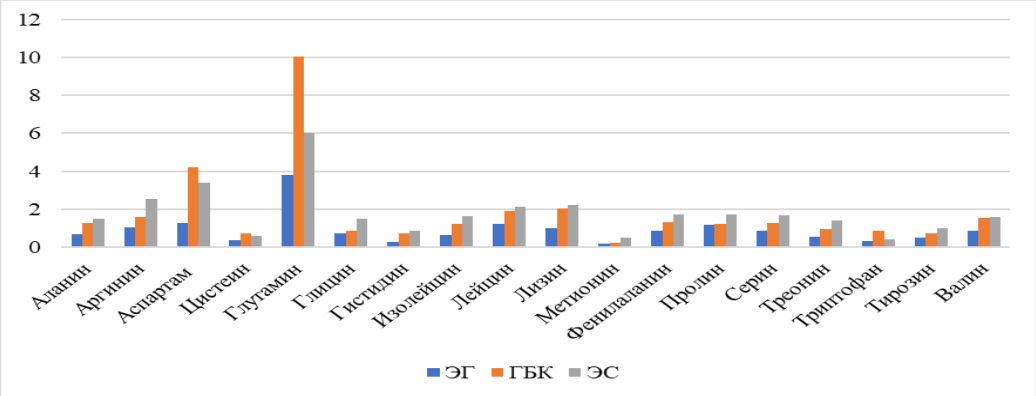


Рисунок 1 – Аминокислотный состав кормовых добавок, %.

Таблица 1 – Результаты выращивания птиц в разные возрастные периоды

Показатели	Группы			
	1	2	3	4
Возраст, сут.:	Живая масса, г			
1	46,60±1,75	46,63±2,99	46,51±1,85	45,26±2,07
20	102,80±4,42	103,40±3,81	102,07±3,97	103,2±3,09
40	844,32±8,9	867,46±10,8*	831,67±14,84	829,46±14,19
60	1518,08±30,23	1589,51±15,60**	1404,00±27,21*	1424,13±32,00*
Абсолютный прирост живой массы, г	1444,73±33,33	1522,03±14,49*	1357,48±38,98	1377,53±46,41
Среднесуточный прирост живой массы, г	24,33±1,01	26,81±0,61*	24,24±0,44	23,07±0,77
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг	1,99	1,87	2,18	2,14
Сохранность, %	93	100	100	100
Индекс продуктивности птиц, ед	118	141	107	110

*Примечание: здесь и далее разность *p≥0,05; **p≥0,01; ***p≥0,001 по отношению к контрольной группе*

В белковом концентрате гороха из заменимых аминокислот было наибольшее содежание глутамина (10,0%) и аспартама (4,2%); из незаменимых аминокислот - лизина (2,1%) и аргинина (1,6%); из серосодержащих аминокислот цистеина - 0,7% и метионина – 0,2%.

В семенах экструдированной сои из заменимых аминокислот наибольшее значение у глутамина – 6,0%; из незаменимых кислот – аргинина 2,5% и лизина 2,2%. Количество серосодержащих аминокислот метионина и цистеина – 0,49 % и 0,57% соответственно.

Скармливание экспериментальных кормовых добавок повлияло на живую массу, абсолютный и среднесуточный приросты подопытной птицы (таблица 1).

Из таблицы 1 следует, что включение в рацион молодняка кур ГБК привело к увеличению живой массы, абсолютного и среднесуточного приростов. В возрасте 20 суток живая масса птицы в подопытных группах не имела достоверных различий. В возрасте 40 суток масса птиц 2 группы составила 867,46 г, что превышало контрольную группу на 2,7% ($p \geq 0,05$). У молодняка птиц 3 и 4 группы живая масса была меньше контроля на 1,5% и 1,7% соответственно. К концу опыта (60 суток) самый высокий показатель живой массы отмечался во 2 группе – 1589,51 г, что достоверно больше контроля на 4,7% или 71,43 г ($p \geq 0,05$).

Наибольший абсолютный и среднесуточный приросты за весь период опыта отмечались во 2 группе птиц (1522,03 и 26,81 г), что на 5,4% и 10,2% превышает значение контрольной группы.

Показатель затрат корма на единицу прироста был минимальным во 2 группе, в сравнении с контролем и другими группами разница составила 6,4-16,6%. Индекс продуктивности по группам эксперимента находился в пределах от 107 до 141 единиц, во 2 группе был наибольшим и выше контроля на 19,5%.

Для установления оценки влияния скармливания кормовых добавок на развитие цыплят провели подсчет индексов телосложения, полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Индексы телосложения птиц

Индекс	Группа			
	1	2	3	4
Массивности	5,19±0,47	5,68±0,37	5,54±0,43	5,37±0,42
Сбитости	134,22±5,41	150,87±7,26	150,85±6,16	148,59±4,96
Длинноногости	37,39±1,03	38,78±1,83	42,89±4,84	39,43±1,78
Широкотелости	31,49±1,39	33,63±2,00	33,43±4,84	33,13±2,30
Эйрисомии	37,13±1,76	42,79±1,46*	43,90±1,11*	40,31±1,91
Укороченности	48,67±3,84	53,83±2,15	51,39±2,90	46,74±2,32

Наибольший индекс массивности был у птицы 2 группы – 5,68, что больше контроля на 9,4%, у птицы 3 группы этот показатель был выше контрольной на 2,5%, у птицы 4 группы - на 5,8%. Для индекса сбитости характерна та же тенденция, разница между контрольной и опытными группами составила в среднем 11,8%. Индекс длинноногости, который характеризует высоту постановки туловища, и индекс широкотелости, характеризующий развитие туловища в ширину, не имели значимых межгрупповых различий. Индекс эйрисомии свидетельствует о развитии передней части туловища птиц. Данный показатель во 2 и 3 опытных группах, получавших добавки на основе гороха, был достоверно выше контрольных данных на 15,3% и 18,2% соответственно. Самый высокий показатель индекса укороченности отмечен у птицы, получавшей ГБК, и равен 53,8, что выше контрольных значений на 10,5%. В 4 группе молодняка, получавшей экструдированные семена сои, индекс укороченности был меньше контроля на 3,97% и составил 46,7.

Биохимические исследования сыворотки крови подопытных цыплят представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови цыплят

Показатель	Группа			
	1	2	3	4
Общий белок, г/л	36,05±0,51	39,30±0,50*	31,85±0,55***	33,80±0,21*
Альбумины, г/л	23,55±0,05	31,04±1,10**	21,95±0,55	22,15±0,41
Глюкоза, ммоль/л	11,52±0,13	11,87±0,27	12,32±0,24	11,48±0,30
Мочевина, ммоль/л	2,40±0,07	2,52±0,06	1,83±0,12	2,00±0,23
Холестерол, ммоль/л	3,60±0,18	2,98±0,06*	3,05±0,09	3,46±0,11
Триглицериды, ммоль/л	0,29±0,03	0,31±0,07	0,31±0,03	0,27±0,01
Щелочная фосфатаза (ЩФ), ед/л	876,75±57,20	612,00±14,80**	1018,50±18,70***	1058,50±6,39***
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л	184,52±0,70	168,05±2,45***	196,07±5,32*	207,40±8,87*
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	9,95±0,32	7,04±0,33***	7,10±0,45***	8,72±1,18
Мочевая кислота, мкмоль/л	83,35±3,06	85,90±2,05	91,30±1,00*	92,10±5,67*
Креатинин, мкмоль/л	40,25±1,65	38,50±1,75	36,90±0,46	42,75±0,85
Кальций, ммоль/л	2,55±0,03	2,64±0,02	2,60±0,06	2,67±0,06
Фосфор, ммоль/л	2,35±0,04	2,42±0,11	2,48±0,14	2,25±0,04

Анализ полученных данных показал, при добавлении в состав рационов экспериментальных добавок оказало влияние на биохимические показатели крови. В сыворотке крови птицы 2 группы было отмечено достоверное увеличение в пределах физиологической нормы общего белка на 9,0% и альбуминов – на 31,8%, а также уменьшение холестерола на 17,2%, ЩФ – на 30,2%, АСТ – на 8,9% и АЛТ – на 29,2% (p≥0,05-0,001). У птицы 3 и 4 группы установлено уменьшение в сыворотки крови общего белка на 11,7% и 6,2% (p≥0,05-0,001) %, АЛТ – на 28,6% (p≥0,001) и 12,3%, а также увеличение ЩФ – на 16,2% и 20,7% (p≥0,001), АСТ – на 6,3% и 5,8% (p≥0,05), мочевой кислоты – на 9,5% и 10,5% (p≥0,05) соответственно.

ВЫВОДЫ / CONLUSION

В ходе проведенных исследований была изучена сравнительная эффективность применения в рационах молодняка кур мясо-яичного направления продуктивности взамен сои кормовых добавок из растительного сырья на основе гороха (экструдированного гороха и горохового белкового концентрата, полученного путем ферментолиза гороха). Установлено, что включение в рацион взамен сои гороxового белкового концентрата способствует достоверному повышению живой массы молодняка породы Доминант на 4,7%, абсолютного прироста живой массы - на 5,4%, среднесуточного прироста - на 10,2% (p≥0,05), индекса массивности - на 9,44%, индекс укороченности - на 10,5%. Включение в рацион цыплят гороxового концентрата способствует нормализации обменных процессов в организме, что подтверждается биохимическими анализами крови.

HIGH-PROTEIN FEED ADDITIVES IN THE DIETS

Kasanova N.R.[1]* – cand. of agricultural sciences, assoc. department of chemistry (ORCID 0000-0002-3679-9155); **Gainullina M.K.[1] –** dr. agricultural. sciences, prof. department of technology and processing of agricultural products (ORCID 0000-0003-3539-4065); **Kapitonova E.A.[2]** – Doctor of Biology Sci., Associate Professor, Professor of the Department of Animal Hygiene and Poultry Science named after A.K. Danilova (ORCID 0000-0003-4307-8433); **Prosvirnikov D.B.[3] –** dr. tech. sciences, prof. department of chemical cybernetics (ORCID

0000-0002-6736-8788); **Golovkova E. E.**[1] – 3rd year student (ORCID 0009-0007-5608-576X); **Brodneva A.V.**[2] – graduate student of the 1st year of the department of chemical cybernetics (ORCID 0009-0001-9260-341X).

[1] Kazan State Agrarian University

[2] FSBEI HE «Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin»

[3] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University»

Financing: *This paper is performed as part of the grant of the Tatarstan Academy of Sciences, provided to young candidates of sciences (postdoctoral fellows). for the purpose of defending their doctoral-dissertation, conducting research, as-well-as performing their work-duties in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan "Scientific and Technological-Development of the Republic of Tatarstan" (Contract-No.148 /2024 PD of December 16,2024)*

*nadia-kasanova@mail.ru

ABSTRACT

An alternative to scarce animal protein can be proteins of plant origin, in addition, they are considered hypoallergenic, non-toxic and easily digestible. Deep processing of peas allows you to obtain a protein concentrate with a crude protein content of up to 40% and a proportion of essential amino acids of 12.3% of the total protein. The inclusion of pea-based protein in the diet of birds can serve as a replacement for expensive imported soybeans. The experiment studied the effect of feeding feed additives based on extruded soybeans, peas and pea protein concentrate on the physiological state and productive qualities of young chickens. Studies were carried out on chickens (100 heads) of the Dominant breed meat-egg production direction. Control (1) group received commercial compound feed (PC) according to age, 2 group was administered equivalently in protein (up to 5%) pea protein concentrate (MCB) obtained by fermentolysis, 3 group - extruded soybean seeds (ES) and 4 group - extruded pea seeds (EG). Studies showed that young animals of group 2 receiving MCB had the best productivity indicators. Compared to the control, the increase in live weight in this bird on day 40 was 2.7% more ($p \geq 0.05$), on day 60 - by 4.7% ($p \geq 0.05$), the average absolute and daily increase was 5.4% and 10.2% ($p \geq 0.05$). The obtained data are confirmed by the indices of massiveness and shortness, for 2 groups they were the largest and amounted to 5.7 and 53.8, respectively. In this group, the lowest feed consumption per 1 kilogram of live weight gain was noted, and the productivity index was 23 units or 19% higher. Biochemical studies of the blood of birds have established that feed protein additives of plant origin do not have a negative effect on the body of the experimental bird.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баймишева, Т. А. Современное состояние мясного скотоводства в РФ / Т. А. Баймишева, Р. Х. Баймишев // Аграрная Россия. – 2025. – №. 4. – С. 35-38. https://doi.org/10.30906/1999-5636-2025-4-35-38.

2. Егоров, И. А. Альтернативный источник кормового белка и энергии для цыплят-бройлеров / И. А. Егоров, Т. В. Егорова, Л. И. Криворучко // Птицеводство. – 2020. – Т. 11. – С. 12-17. – doi 10.33845/0033-3239-2020-69-11-12-17

3. Капитонова, Е. А. Использование нетрадиционных компонентов в комбикормах для цыплят-бройлеров / Е. А. Капитонова, И. И. Кочиш, И. Г. Рязанов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2025. – Т. 261, № 1. – С. 136-140. – doi 10.31588/2413_4201_1883_1_261_136. – EDN UYZHJA.

4. Колпакова, В. В. Комплексная биоконверсия вторичных продуктов переработки гороховой муки в кормовые дрожжи / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов, В. А. Гулакова // Аграрная наука Ев-

ро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 6. – С. 1007-1020. – doi 10.30766/2072-9081.2023.24.6.1007-1020. – EDN NLZSVM.
5. Пономаренко, Ю. А. Научные основы сбалансированного кормления животных: монография / Ю. А. Пономаренко, В. И. Фисинин, И. А. Егоров. – Москва: Перо, 2024. – 692 с. – ISBN 978-5-00244-280-5. – EDN TQZCWK.
6. Тишенков, П. И. Влияние добавки "Биогерм" на показатели крови курнесушек / П. И. Тишенков, К. Саран, Д. В. Быков // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 5. – С. 67-69. – doi 10.28983/asj.y2022i5pp67-69. – EDN AFASHI.
7. Хрулёв, А. А. Тенденции развития и экономические аспекты производства горохового протеина / А. А. Хрулёв, Н. А. Бесчетникова, И. А. Федотов // Пищевая промышленность. – 2016. – №. 4. – С. 24-29.
8. Фисинин, В. И. Использование разных источников белка при выращивании цыплят-бройлеров кросса "Смена 9" / В. И. Фисинин, Т. А. Егорова, И. А. Егоров [и др.] // Птицеводство. – 2024. – № 9. – С. 37-46. – doi 10.33845/0033-3239-2024-73-9-37-46. – EDN SUERXC.
9. Фисинин, В. Мировое и отечественное птицеводство: реалии и вызовы будущего / В. Фисинин // Животноводство России. – 2025. – № 1. – С. 6-13. – EDN GEOATN.
10. Abilov, B. T. Efficiency of protein-rich plant and animal additives in feeding broiler chickens / B. T. Abilov et al // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 624. – №. 1. – С. 012052.
11. Kasanova N. Use of extruded lupin in feeding young quails / N. Kasanova, M. Gainullina, D. Prosvirnikov [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2024), Kazan, 28–29 November 2024 year. – Kazan: EDP Sciences, 2025. – P. 00018. – doi 10.1051/bioconf/202516100018. – EDN WERGDA.
12. Kapitonova, E. A. Results of Hypoporosis prevention in farm birds / E. A. Kapitonova, I. Kochish, E. Vlasenko, M. Glaskovich, I. N. Nikonov // E3S Web of Conferences. International Scientific Conference “Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in The Far East” (AFE-2022). – 2023. – P. 01078.
13. Marchal, L. Total replacement of soybean meal with alternative plant-based ingredients and a combination of feed additives in broiler diets from 1 day of age during the whole growing period / L. Marchal et al // Poultry Science. – 2024. – Т. 103. – №. 7. – С. 103854.
14. Vlaicu, P. A. Herbal plants as feed additives in broiler chicken diets / P. A. Vlaicu et al. //Archiva Zootechnica. – 2021. – Т. 24. – №. 2. – С. 76-95. – doi: 10.2478/azibna-2021-0015.

REFERENCES

1. Bajmisheva, T. A. Sovremennoe sostojanie mjasnogo skotovodstva v RF / T. A. Bajmisheva, R. H. Bajmishev // Agrarnaja Rossija. – 2025. – №. 4. – S. 35-38..https://doi.org/10.30906/1999-5636-2025-4-35-38.
2. Egorov, I. A. Al'ternativnyj istochnik kormovogo belka i jenergii dlja cypljat-brojlerov / I. A. Egorov, T. V. Egorova, L. I. Krivoruchko // Pticevodstvo. – 2020. – T. 11. – S. 12-17.
3. Kapitonova, E. A. Ispol'zovanie netradicionnyh komponentov v kombikormah dlja cypljat-brojlerov / E. A. Kapitonova, I. I. Kochish, I. G. Rjazanov // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Je. Baumana. – 2025. – T. 261, № 1. – S. 136-140. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_1_261_136. – EDN UYZHJA.
4. Kolpakova, V. V. Kompleksnaja biokonversija vtorichnyh produktov pererabotki gorohovoj muki v kormovye drozhzhi / V. V. Kolpakova, R. V. Ulanova, D. S. Kulikov, V. A. Gulakova // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2023. – T. 24, № 6. – S. 1007-1020. – DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.6.1007-1020. – EDN NLZSVM.
5. Ponomarenko, Ju. A. Nauchnye osnovy

sbalansirovannogo kormlenija zhivotnyh : monografija / Ju. A. Ponomarenko, V. I. Fisinin, I. A. Egorov. – Moskva : Pero, 2024. – 692 s. – ISBN 978-5-00244-280-5. – EDN TQZCWK.
6. Tishenkov, P. I. Vlijanie dobavki "Biogerm" na pokazateli krovi kurnesushek / P. I. Tishenkov, K. Saran, D. V. Bykov // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2022. – № 5. – S. 67-69. – DOI 10.28983/asj.y2022i5pp67-69. – EDN AFASHI.
7. Hruljov, A. A. Tendencii razvitija i jekonomicheskie aspekty proizvodstva gorohovogo proteina / A. A. Hruljov, N. A. Beschetnikova, I. A. Fedotov // Pishhevaja promyshlennost'. – 2016. – №. 4. – S. 24-29.
8. Fisinin, V. I. Ispol'zovanie raznyh istochnikov belka pri vyrashhivanii cypljat-brojlerov krossa "Smena 9" / V. I. Fisinin, T. A. Egorova, I. A. Egorov [i dr.] // Pticevodstvo. – 2024. – № 9. – S. 37-46. – DOI 10.33845/0033-3239-2024-73-9-37-46. – EDN SUERXC.
9. Fisinin, V. Mirovoe i otechestvennoe pticevodstvo: realii i vyzovy budushhego / V. Fisinin // Zhivotnovodstvo Rossii. – 2025. – № 1. – S. 6-13. – EDN GEOATN.
10. Abilov, B. T. Efficiency of protein-rich plant and animal additives in feeding broiler chickens / B. T. Abilov et al // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – T. 624. – №. 1. – S. 012052.
11. Kasanova N. Use of extruded lupin in feeding young quails / N. Kasanova, M. Gainullina, D. Prosvirnikov [et al.] // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2024), Kazan, 28–29 November 2024 year. – Kazan: EDP Sciences, 2025. – P. 00018. – DOI 10.1051/bioconf/202516100018. – EDN WERGDA.
12. Kapitonova, E. A. Results of Hypoporosis prevention in farm birds / E. A. Kapitonova, I. Kochish, E. Vlasenko, M. Glaskovich, I. N. Nikonov // E3S Web of Conferences. International Scientific Conference “Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in The Far East” (AFE-2022). – 2023. – R. 01078.
13. Marchal, L. Total replacement of soybean meal with alternative plant-based ingredients and a combination of feed additives in broiler diets from 1 day of age during the whole growing period / L. Marchal et al // Poultry Science. – 2024. – T. 103. – №. 7. – S. 103854.
14. Vlaicu, P. A. Herbal plants as feed additives in broiler chicken diets / P. A. Vlaicu [et al.] //Archiva Zootechnica. – 2021. – T. 24. – №. 2. – S. 76-95.

УДК: 556. 597/574
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.280

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДГОРНОЙ ПРОВИНЦИИ ДАГЕСТАНА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ПАСТБИЩ И ВОДОПОЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Рамазанова Д.М. – ст. науч. сотр.

Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр РД»

*ramazanovadm@mail.ru

Ключевые слова: ПДК, гидрохимический анализ, природная вода, жесткость воды, pH воды, эвтрофикация, сельскохозяйственные удобрения, река Шура-Озень.

Key words: MAC, hydrochemical analysis, natural water, water hardness, water pH, eutrophication, agricultural fertilizers, Shura-Ozen River.

Поступила: 25.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В данном исследовании проведён сравнительный анализ химического состава воды, трёх водных объектов Буйнакского района Республики Дагестан: реки Шура-Озень, озера Буглен-2 и ирригационного канала Капчугай. Цель работы заключалась в комплексной оценке качества воды на основе гидрохимических показателей с применением нормативных требований к водоемам рыбохозяйственного значения, а также выявлении основных факторов, влияющих на состояние водных экосистем региона. Отбор проб воды осуществлялся в ключевых точках каждого объекта, с применением стандартных методов определения основных физико-химических параметров, включая кислотность (pH), показатели биохимического ($БПК_5$) и химического (ХПК) потребления кислорода, общую жёсткость, минерализацию (сухой остаток) и концентрации важнейших ионов: аммоний (NH_4^+), нитриты, нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды, кальций, магний, натрий и калий. Аналитическая база была дополнена сопоставлением результатов с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), установленными нормативными документами РФ (СанПиН 1.2.3685-21 и приказ Минсельхоза РФ №552). Результаты анализа свидетельствуют о значительном антропогенном воздействии на гидрохимический режим всех трёх водных объектов. Наиболее выраженными являются превышения ПДК по биогенным элементам, органическому загрязнению и минерализации. В частности, река Шура-Озень характеризуется экстремально высокими концентрациями аммония и фосфатов (до 23,9 мг/л и 43,9 мг/л соответственно), что в сотни, раз превышает нормативы и свидетельствует сильной эвтрофикации. Одновременно отмечается повышенное биохимическое и химическое потребление кислорода, указывающее на значительный органический нагрузочный эффект. Предлагаются рекомендации по усилению мониторинга, идентификации источников загрязнения и мерам по улучшению экологического состояния исследуемых водоемов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Вода представляет собой один из самых ценных природных ресурсов, выполняя фундаментальную роль в поддержании жизни на Земле. Каждая составляющая водных ресурсов - от чистоты рек и озёр до доступности безопасной питьевой воды – имеет критическое значение для здоровья экосистем, благополучия людей и животных. Однако загрязнение водных объектов является одной из наиболее серьезных экологических проблем современности. Промышленные стоки, сельскохозяйственные удобрения и бытовые отходы, попадая в реки и озера, приводят к массовой гибели обитающих в них организмов и ухудшению качества воды [1,5]. Ухудшение экологического состояния водоемов напрямую затрагивает жизнеспособность множества водных и наземных животных. Особенно актуальна проблема загрязнения тяжелыми металлами и пестицидами, которые способны накапливаться в живых организмах, вызывая хронические заболевания и генетические мутации у животных и человека. Для решения вышеуказанных эколого – экономических проблем необходим комплексный подход, включающий разработку и внедрение современных технологий очистки воды, совершенствование систем сбора и переработки сточных вод, а также рациональное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве и промышленности [3,4].

Одним из важнейших методов оценки состояния водных объектов является гидрохимический анализ – совокупность методов и приёмов, направленных на определение качественного и количественного состава воды. Гидрохимический мониторинг позволяет выявлять изменения в концентрациях химических элементов и соединений, своевременно фиксируя отклонения от нормы. Например, одной из ключевых характеристик, влияющих на качество воды, является её жесткость. Уровень жесткости природных вод может значительно варьироваться в течение года: как правило, в весенне-летний период из-за интенсивного испарения жесткость повышается, а в осенне-зимний – снижается вследствие разбавления осадками [4,10]. Жесткость определяется содержанием растворённых солей кальция и магния и оказывает влияние на физиологическое состояние рыб, особенно в периоды размножения и роста молоди. Другое важное свойство - кислотность (pH) воды. Значения pH природных вод зависят от минерального состава, содержания растворённых газов и органических веществ, В большинстве случаев pH природных вод находится вблизи нейтрального значения. Для воды, используемой для хозяйственно питьевых нужд, оптимальный диапазон pH составляет 6,5–8,5. Нарушение этих диапазонов может указывать на загрязнение: например, закисление водоема углекислотой или органическими кислотами, либо щелочная реакция из-за сточных вод [2,7,8]

Республика Дагестан характеризуется множеством небольших рек и озер, испытывающих высокую антропогенную нагрузку. Гидрохимический мониторинг таких водоемов в Дагестане особенно важен для оценки качества воды, используемой для орошения пастбищ и водопоя сельскохозяйственных животных и птиц [6,9]. Тщательный анализ гидрохимических показателей позволяет выявить источники и причины загрязнений, а также разработать эффективные мероприятия по охране водных ресурсов. Данная работа посвящена сравнительному анализу химического состава воды трех водных объектов Буйнакского района - реки Шура-Озень, озера Буглен-2 и ирригационного канала Капчугай - на основании данных 2024 и 2025 годов.

Цель исследований. Заключается в комплексной оценке качества воды на основе гидрохимических показателей с применением нормативных требований к водоемам рыбохозяйственного значения, а также выявлении основных факторов, влияющих на состояние водных экосистем региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования водных объектов про-

водились в период 2024 и 2025 годы. В основу настоящей работы положены собственные материалы, полученные в ходе исследований, отбор проб воды проводился в следующих пунктах: Река Шура-Озень - в среднем течении, озеро Буглен-2 и канал Капчугай - отобранные на левом берегу канала, а также в начале и в конце канала Буйнакского района Республики Дагестан. Эти водные объекты используются для орошения сельскохозяйственных земель и водопоя скота, поэтому их гидрохимическое состояние имеет важное хозяйственное значение. Анализ проб качества воды проводили по следующим показателям: pH, химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК 5), общая жесткость, сухой остаток и концентрации основных ионов NH^{4+}, Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^{-}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, NO_2^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{3-}. Использовались стандартные методики гидрохимического анализа концентрация катионов (Na, K, Mg, Ca) определялась методом атомно-абсорбционной спектрометрии; концентрация анионов (Cl, SO_4, NO_3 и др.) – методом ионной хроматографии; жесткость воды определялась титриметрически (по суммарному содержанию Ca^{2+} и Mg^{2+} значения ХПК и БПК - фотометрическими методами согласно общепринятым стандартам. Для обеспечения точности применялись аттестованные методики измерений и проводился контроль качества аналитических работ посредством стандартных образцов. Показатели активной реакции водной среды (pH) снимали с помощью прибора pH-метра. Химический анализ воды проводили согласно руководству по химическому анализу поверхностных вод суши[1]. Все исследования по оценке результатов проводились с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного значения, установленных действующими нормативными документами РФ - СанПиН 1.2.3685-21 и приказом Минсельхоза РФ №552 от 13.12.2016. Для ключевых показателей использованы следующие нормативные значения ПДК (мг/л): аммоний NH^{4+} – 0,5; нитриты - 0,08; нитраты - 40; фосфаты - 0,2; сульфаты – 100; хлориды - 300; сухой остаток - 1000; БПК 5 - 3; ХПК - 30; pH - допустимый диапазон 6,0-9,0; общая жесткость - ориентировочный диапазон 7- мг-экв/л (рекомендуемый для рыбохозяйственных водоемов). Полученные аналитические данные были сопоставлены с указанными нормативами для выявления превышений ПДК. Также проведено сравнение между разными водоемами и анализ динамики показателей в 2024-2025 гг. там, где это применимо.

[1]Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 2 / Под ред. Л.В. Боевой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного Федерального Университета, - 2012 - 720 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты гидрохимического анализа показали, что качество воды во всех трех исследованных водоемах не соответствует нормативам по ряду ключевых параметров. Наиболее значительные превышения ПДК зафиксированы для соединений биогенной группы - фосфатов и аммония, а также для некоторых показателей минерализации (сульфаты, сухой остаток). Ниже подробно рассматриваются результаты для каждого класса показателей, сравниваются условия в разных водоемах и обсуждаются экологические последствия таких отклонений.

Химический состав воды в исследованных объектах относится к минеральным водам разного типа. На рис. 1 приведено распределение основных ионов (катионов и анионов) в исследуемых водных объектах (р. Шура-Озень, оз. Буглен-2 и канал Капчугай), выраженное в процентах от суммы основных солей. По показателям, представленным в данном графике видно, что для реки Шура-Озень характерна гидрокарбонатно-сульфатная вода кальциево-натриевого состава: около половины суммарной минерализации приходится на HCO_3^{-} (бикарбонаты), значительная доля - на сульфаты, ионы кальция и натрия.

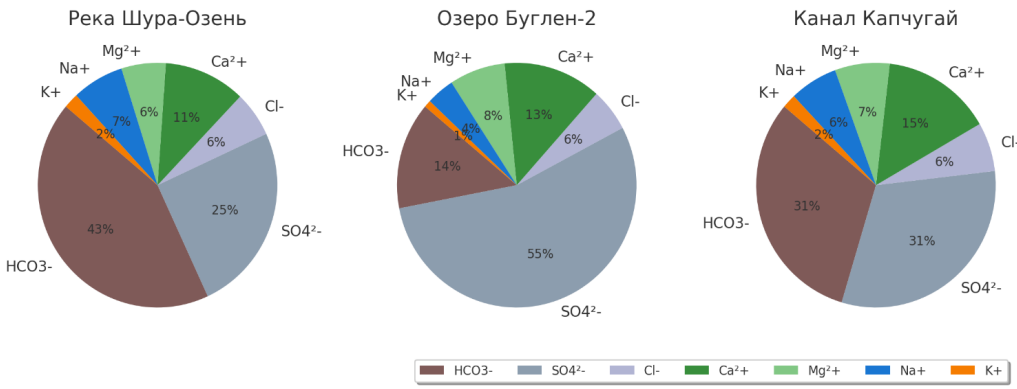


Рисунок 1 – Распределение основных ионов (катионов и анионов) в водных объектах (р. Шура-Озень, оз. Буглен-2 и канал Капчугай) предгорной провинции Дагестана.

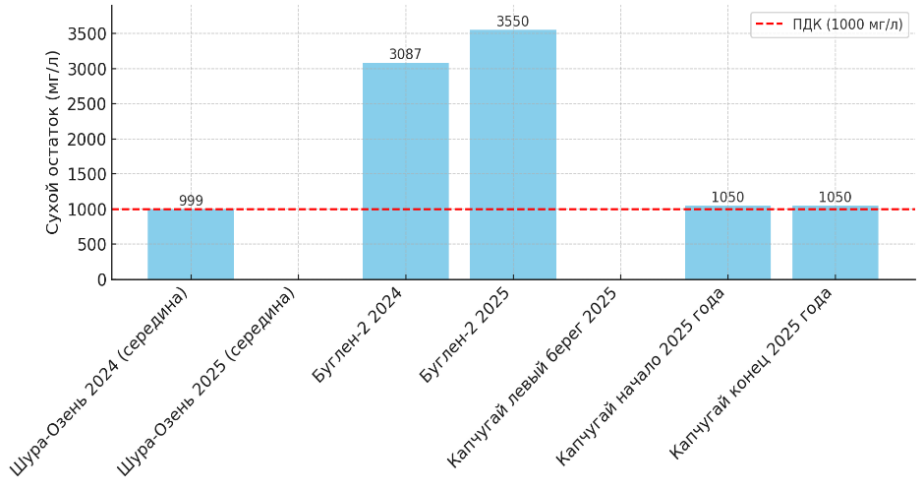


Рисунок 2 – Сравнение значений сухого остатка воды в разных точках и годах с предельно допустимой концентрацией (ПДК).

В озере Буглен-2 доминируют сульфат-ионы (до - 58% всех растворенных солей) и кальций, что указывает на сильно минерализованный сульфатно-кальциевый тип воды. Для канала Капчугай характерно примерно равное преобладание сульфатов и гидрокарбонатов, при заметных концентрациях хлоридов, кальция и натрия. Высокая суммарная минерализация озера и канала подтверждается значениями сухого остатка: так, в оз. Буглен-2 сухой остаток достигает 3087-3550 мг/л, что более чем в 3,5 раза превышает норматив 1000 мг/л для рыбохозяйственных водоемов (рис. 2).

Для канала Капчугай сухой остаток составил - 1050 мг/л (слегка выше ПДК), тогда как в реке Шура-Озень в 2024 г. сухой остаток был - 999 мг/л (на уровне нормы). Следовательно, озеро Буглен-2 можно отнести к сильно минерализованным (солоноватым) водоемам, тогда как река и канал – к водам умеренной минерализации. Повышенная минерализация озера, вероятно, обусловлена интенсивным испарением и геохимическими особенностями местности (возможным вы-

щелачиванием солей из пород дна), а также отсутствием стока, что приводит к накоплению солей. Высокий уровень сульфатов в озере (до 1,9 г/л) и значительная жесткость воды (40 мг-экв/л) подтверждают концентрацию минеральных веществ. Для сравнения, жесткость воды реки Шура-Озень составила 9,8-13,2 мг-экв/л, что лишь немного превышает рекомендуемый диапазон 7–10 мг-экв/л, а в канале Капчугай жесткость варьировала от 9,4 до 25,3 мг-экв/л. Очень высокая жесткость озёрной воды может негативно сказаться на пресноводных организмах: чрезмерное содержание солей кальция и магния осложняет осморегуляцию у рыб и других гидробионтов. В критические периоды (нерест, развитие молоди) слишком жесткая вода способна снизить выживаемость икры и мальков из-за физиологического стресса у организмов, не адаптированных к столь высоким солевым концентрациям. Таким образом, минеральный состав воды свидетельствует о неблагополучии озера Буглен-2 по показателям минерализации и указывает на необходимость контроля процессов засоления водоема.

Показатели биохимического и химического потребления кислорода характеризуют наличие в воде органических веществ, окисляющихся химически или с участием бактерий. Во всех водоемах зафиксированы повышенные значения БПК 5, указывающие на органическое загрязнение. В реке Шура-Озень БПК 5 достигало 6,3 мг/л (в пробе 2025 г.), что в 2,1 раза выше ПДК (3 мг/л). В оз. Буглен-2 максимальный БПК 5 - 5,78 мг/л, в канале - до 5,47 мг/л (конец канала), что также существенно превышает норматив (рис. 3).

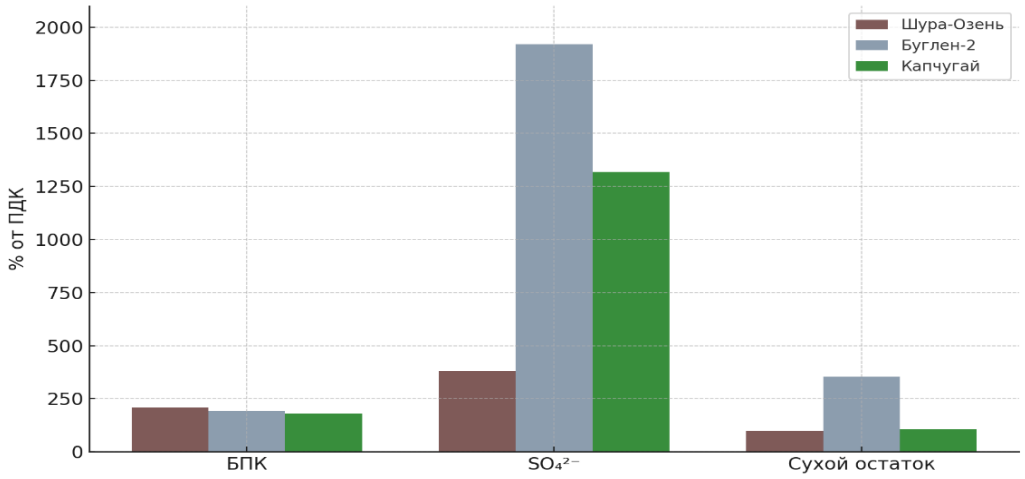


Рисунок 3 – Сравнительный анализ содержания ключевых загрязнителей в процентах от ПДК в водоемах Буйнакского района: БПК, сульфаты и сухой остаток.

Повышенные значения БПК согласуются с превышениями ХПК: например, в оз. Буглен-2 в 2024 г. ХПК составило 104 мг/л, превысив норматив (30 мг/л) в - 3,5 раза. В реке Шура-Озень ХПК было 58 мг/л (в 2024 г., - 1,9 ПДК), а в канале Капчугай ХПК в отобранных пробах оказалось ниже предела обнаружения либо в пределах нормы. Высокие значения ХПК и БПК однозначно свидетельствуют о наличии значительного количества органических загрязнителей - вероятно, это сброс неочищенных бытовых сточных вод или сток с сельскохозяйственных угодий (навоз, остатки растений и т. д.). Органические вещества, разлагаясь, по-

требляют растворенный кислород, что приводит к дефициту O_2 в воде. Даже умеренное превышение БПК (>3–5 мг/л) может снизить концентрацию кислорода до уровней, опасных для рыб. В наших исследованиях значения БПК >5 мг/л указывают на риск развития гипоксии в водоеме, особенно ночью и в придонных слоях. Гипоксия негативно сказывается на водной фауне, рыбам требуется определенный минимум кислорода, и многие виды начинают испытывать стресс при снижении O_2 ниже 4-5 мг/л. Кроме того, органическое загрязнение часто сопровождается повышением мутности и развитием бактериопланктона. По данным литературы, толерантность рыб особенно ценных промысловых видов к низкому содержанию кислорода ограничена, поэтому выявленные уровни БПК и ХПК в реке и озере могут приводить к ухудшению условий обитания ихтиофауны. Требуется дальнейший анализ источников органического вещества вероятно, в бассейне реки Шура-Озень присутствуют населенные пункты без должной очистки сточных вод, а поблизости от озера Буглен-2 возможен выпас скота или свалки органических отходов. В целом, органическое загрязнение водоемов подтверждается значениями БПК/ХПК и требует принятия мер, так как способствует истощению кислорода и биоценотическим изменениям (заморы рыбы, замещение чувствительных видов более выносливыми к загрязнению).

Анализ показал экстремально высокие концентрации соединений азота и фосфора в реке Шура-Озень, что создаёт предпосылки для эвтрофикации водоема. В пробе 2025 г. содержание аммонийного азота (NH_4^+-N) достигало 23,9 мг/л, что в 47,8 раза превышает норматив для рыбохозяйственных водоемов (0,5 мг/л азота аммония). Фосфаты (PO_4^3- по фосфору) в реке Шура-Озень достигали 43,9 мг/л – это 219-кратное превышение ПДК 0,2 мг/л, что является наиболее значительным отклонением среди всех показателей (рис. 3). В 2024 г. в реке фиксировалось - 3,2 мг/л фосфатов (16 ПДК). Для сравнения, в озере Буглен-2 концентрация фосфатов составляла 6,2 мг/л (в 2024 г., - 31 ПДК), а в пробах из канала Капчугай фосфаты практически отсутствовали (ниже предела обнаружения). Подобные высокие уровни биогенов однозначно свидетельствуют о точечном поступлении загрязнений: вероятнее всего, источниками являются сельскохозяйственные стоки, содержащие удобрения (фосфорные и азотные), либо неочищенные сточные воды из населенных пунктов. Избыток фосфора и азота вызывает бурный рост водорослей – процесс эвтрофикации. Уже при концентрациях фосфора - 0,1 мг/л начинается ускоренное развитие фитопланктона, а наши данные указывают на возможность массового «цветения» воды. Эвтрофикация проявляется интенсивным развитием сине-зеленых водорослей, помутнением воды, появлением запаха и ночным снижением кислорода в результате дыхания водорослей и разложения отмершей органики, что может привести к заморам рыбы и деградации водной экосистемы.

В канале Капчугай наблюдалась интересная картина трансформации форм азота. Так, в начале канала, содержание аммония было – 12–13 мг/л, а на конце канала снизилось до 0,86 мг/л, сопровождаясь ростом концентрации нитратов с 35,5 до 41,2 мг/л. Это говорит о биологическом самоочищении – по мере течения канала аммоний окислялся до нитратов микробиологическими процессами, хотя общая сумма биогенного азота осталась высокой. Тем не менее, нитрат 41 мг/л в конце канала лишь незначительно превысил норматив, что лучше, чем токсичные для рыб высокие уровни аммония. Аммоний особенно опасен для гидробионтов, так как при повышении pH, часть аммония переходит в ядовитую для рыб форму аммиака (NH_3), который может вызывать гибель рыбы даже при концентрациях порядка 1 мг/л. В наших пробах pH воды был преимущественно нейтральным (6,8–7,8), поэтому большая доля аммония присутствовала в ионной форме, менее токсичной, однако при попадании такой во-

ды в более щелочные условия токсичность резко возрастет. В целом же, обилие биогенных элементов (N, P**)** в реке и озере указывает на необходимость мер по уменьшению их поступления. Река Шура -Озень и озеро Буглен-2 могут потерять рыбохозяйственное значение из-за массового развития водорослей и снижения качества воды. На рисунке 4 обобщены максимальные коэффициенты превышения ПДК для ключевых параметров качества воды, выявленных в ходе исследования. Фосфаты и аммоний показывают наибольшие превышения, что выделяет проблему эвтрофикации как самую острую.

Сульфаты в озере превышают норматив почти в 20 раз, отражая проблему минерализации. Сухой остаток в озере и канале – в – 3,5 раза выше нормы, что подтверждает высокую минерализацию, неблагоприятную для большинства пресноводных организмов. Показатели органического загрязнения (ХПК, БПК) хотя и превышают ПДК в несколько раз, имеют меньшие коэффициенты (2–3,5 раза), однако их влияние также серьезно, так как связано с уменьшением кислорода. Сравнивая три водоема между собой, можно сделать выводы, что наихудшее качество воды наблюдается в озере Буглен-2 (высокое содержание солей и сульфатов, значительное органическое загрязнение). Река Шура-Озень страдает главным образом от биогенного загрязнения (удобрения, органика) и в меньшей степени от минерализации. Канал Капчугай характеризуется постепенным ухудшением качества воды по направлению течения. Это обусловлено поступлением загрязнений, которые частично подвергаются процессам самоочищения. В конце канала вода сохраняет повышенную минерализацию и биохимическую потребность в кислороде (рис. 2 и рис. 3).

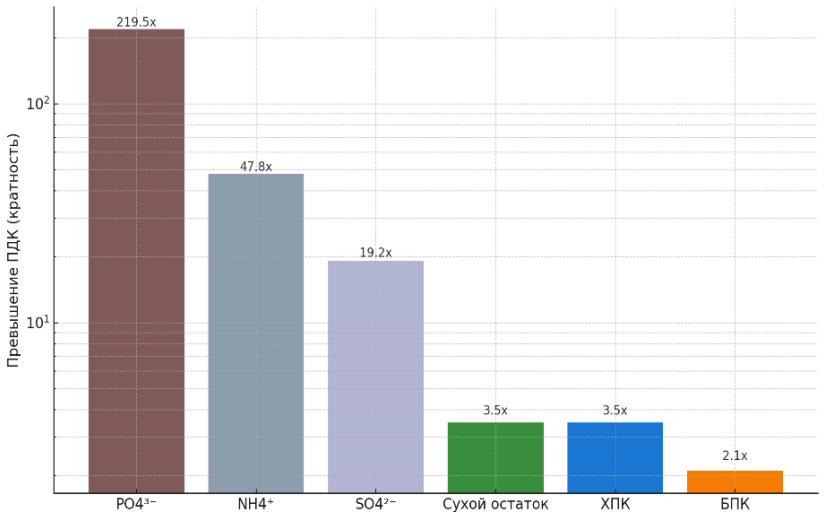


Рисунок 4 – Кратность превышения предельно допустимых концентраций основных загрязняющих веществ в воде исследуемых водоемов.

Таким образом, ни один из исследованных водоёмов не соответствует в полной мере санитарным нормам для рыбохозяйственных вод, а также для водопоя животных в каждом случае есть превышения по нескольким показателям. Это свидетельствует об общих экологических проблемах, связанных с хозяйственной деятельностью человека (скотоводство, земледелие, коммунальные стоки). Особенно уязвимы замкнутые и слабопроточные водоемы (озера, каналы), где загряз-

няющие вещества аккумулируются.

Следует отметить, что pH воды во всех пробах находился в допустимом диапазоне 6,82–7,80, значит отсутствие кислотных стоков или ощелачивающих выбросов в значимых количествах.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Качество воды в изученных водоемах не соответствует рыбохозяйственным стандартам и не пригодна для питья животных. Во всех трех водных объектах зафиксированы значительные превышения ПДК по нескольким ключевым показателям качества. В озере Буглен-2 отмечена самая высокая минерализация (сульфаты до 1920 мг/л, сухой остаток до 3550 мг/л), а в реке Шура-Озень – экстремальные концентрации биогенных элементов (PO_4^3 – до 43,9 мг/л и NH^{4+} до 23,9 мг/л). Эти значения в десятки и сотни раз превышают нормы, допустимые для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Данное исследование представляет собой существенный шаг в направлении углубленного изучения и анализа состояния водных ресурсов Республики Дагестан на современном этапе, формируя научно обоснованную основу для принятия решений в области охраны и рационального использования водных экосистем региона. В дальнейшем целесообразно расширить спектр мониторинга, включая гидробиологические и токсикологические показатели, что позволит более полно оценить влияние загрязнений на биоту и разработать комплексные программы по сохранению биоразнообразия и устойчивости водных систем.

HYDROCHEMICAL MONITORING OF WATER BODIES IN THE FOOTHILL PROVINCE OF DAGESTAN USED FOR IRRIGATION OF PASTURES AND WATERING OF FARM ANIMALS

Ramazanova D.M. – Senior Researcher

Caspian Zonal Research Veterinary Institute - branch of the Federal State Budgetary Institution "Federal Agrarian Research Center of Dagestan Republic», Makhachkala

*ramazanovadm@mail.ru

ABSTRACT

In this study, a comparative analysis of the chemical composition of water in three water bodies in the Buinaksk District of the Republic of Dagestan was carried out: The Shura-Ozen River, Lake Buglen-2 and the Kapchugay irrigation canal. The purpose of the work was to comprehensively assess the water quality based on hydrochemical indicators using regulatory requirements for water bodies of fishery importance, as well as to identify the main factors affecting the state of aquatic ecosystems in the region. Water samples were taken at key points of each object, using standard methods for determining the main physicochemical parameters, including acidity (pH), biochemical (BOD5) and chemical (COD) oxygen consumption, total hardness, mineralization (dry residue) and concentrations of the most important ions: ammonium (NH_4^+), nitrites, nitrates, phosphates, sulfates, chlorides, calcium, magnesium, sodium and potassium. The analytical base was supplemented by a comparison of the results with the maximum permissible concentrations (MPC) established by regulatory documents of the Russian Federation (SanPiN 1.2.3685-21 and the order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552). The results of the analysis indicate a significant anthropogenic impact on the hydrochemical regime of all three water bodies. The most pronounced are the excess of MPC for biogenic elements, organic pollution and mineralization. In particular, the Shura-Ozen River is characterized by extremely high concentrations of ammonium and phosphates (up to 23.9 mg / l and 43.9 mg / l, respectively), which is hundreds of times higher than the standards and indicates severe eutrophication. At the same time, increased biochemical and chemical oxygen consumption is noted, indicating a significant organic loading effect. Recommendations are proposed to strengthen monitoring, identify pollution sources and take measures to improve the ecological state of the studied water bodies.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Ашихмина Т. Я. Экологический мониторинг / под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, И. М. Зарубиной, Л. В. Кондаковой, Е. В. Рябовой. - Киров: ООО «Типография Старая Вятка». – 2012. – С. 95.

2.Другов Ю.С., Родин А.А. Анализ загрязнённой воды: практическое руководство. – М.: Лаборатория знаний. – 2015. – С. 681.

3.Идрисов И.А. Трансформация геосистем береговой зоны Дагестана в связи с падением уровня Каспия // Труды Географического общества Республики Дагестан. – 2013. Вып. 41. – С. 40 – 43.

4.Рамазанова Д.М., Бархалов Р.М., Айгубова С.А. Гидролого-гидрохимический и гидробиологический режимы в северной части Аграханского залива // Актуальные проблемы и перспективы рыболовства, аквакультуры и экологического мониторинга водных экосистем РФ: сб. матер. Всерос. науч. – практ. конф. (с межд. участием). – Махачкала. – 2022. – С. 183-191.

5.Рамазанова Д.М., Анохина А.З., Судакова Н.В. Оценка современного состояния Северного Аграхана по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Рыбное хозяйство. 2023. № 3. – С. 67 – 71.

6.Расулова М.М. Антропогенное загрязнение как фактор повышения трофического уровня малых водоемов на примере озера Ак-Гель // Известия Дагестанского гос. пед. университета. Естественные и точные науки. – 2008. № 3. – С. 89 – 95.

7.Сапожников В.В., Агатова А.И., Аржанова Н.В. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / [и др.]. – М.: ВНИРО, 2008. – С. 202

8.Семенова А.А., Магрицкий Д.В., Самохин М.А. и др. Гидролого-морфологическая деградация Аграханского залива: особенности, причины, пути решения // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: сб. докл. Междунар. науч. конф. памяти Ю.Б. Виноградова. - СПб.: Изд-во ВВМ. – 2020. – С. 524 – 529.

9.Бухтояров О.И., Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В., Методы экологического мониторинга качества сред жизни и оценки их экологической безопасности: учеб. пособие /. [Бухтояров О.И. и др.]. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. – 2015. – С. 239.

10.Рамазанова Д.М., Каспарова М.А., Сайпулаев У.М. Экологическое состояние и гидрохимический анализ озера Аккёль. // в сборнике: Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию учреждения образования "Витебская ордена "Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины". Витебск. – 2024. – С. 325 – 330.

11.Рябова Э.Г., Рябова О.А., Юров А.В., Новиков А.С. Мониторинг состояния водных объектов Соловецких островов по гидрохимическим показателям // в сборнике: Экология и управление природопользованием. Сборник научных трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Томск. – 2023. – С. 90 – 93.

REFERENCE

1. Ashikhmina T. Ya. Environmental monitoring / edited by T. Ya. Ashikhmina, I. M. Zarubina, L. V. Kondakova, E. V. Ryabova. - Kirov: OOO "Tipografiya Staraya Vyatka". - 2012. - P. - 95.

2. Drugov Yu. S., Rodin A. A. Analysis of polluted water: a practical guide. - M.: Laboratory of knowledge. - 2015. - P. - 681.

3. Idrisov I. A. Transformation of geosystems of the coastal zone of Dagestan in connection with the drop in the Caspian Sea level // Transactions of the Geographical Society of the Republic of Dagestan. - 2013. Issue. 41. - P. - 40 - 43.

4. Ramazanova D. M., Barkhalov R. M., Aigubova S. A. Hydrological-hydrochemical and hydrobiological regimes in the northern part of the Agrakhan Bay // Actual problems and prospects of fisheries, aquaculture and environmental monitoring of aquatic ecosys-

tems of the Russian Federation: collection of materials of the All-Russian scientific - practical conference (with international participation). - Makhachkala. - 2022. - Pp. 183 -191.
5. Ramazanova D.M., Anokhina A.Z., Sudakova N.V. Assessment of the current state of Northern Agrakhan by hydrochemical and hydrobiological indicators // Fisheries. 2023. No. 3. - Pp. 67 - 71.
6. Rasulova M.M. Anthropogenic pollution as a factor in increasing the trophic level of small reservoirs on the example of Lake Ak-Gel // Bulletin of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences. – 2008. No. 3. – Pp. 89 – 95.
7. Sapozhnikov V.V., Agatova A.I., Arzhanova N.V. Guide to chemical analysis of sea and fresh waters in environmental monitoring of fishery water bodies and areas of the World Ocean promising for fishing / [and others]. – M.: VNIRO, 2008. – P. 202.
8. Semenova A.A., Magritsky D.V., Samokhin M.A. et al. Hydrological and morphological degradation of the Agrakhan Gulf: features, causes, solutions // The Fourth Vinogradov Readings. Hydrology from knowledge to worldview: collection of reports. Int. scientific conf. in memory of Yu.B. Vinogradov. - St. Petersburg: VVM Publishing House. – 2020. – Pp. 524 – 529.
9. Bukhtoyarov O.I., Nesgovorova N.P., Savelyev V.G., Ivantsova G.V., Methods of environmental monitoring of the quality of living environments and assessment of their environmental safety: textbook /. [Bukhtoyarov O.I. et al.]. – Kurgan: Publishing house of Kurgan State University. – 2015. – P. 239.
10. Ramazanova D.M., Kasparova M.A., Saipulaev U.M. Ecological state and hydrochemical analysis of Lake Akköl. // in the collection: Actual problems of treatment and prevention of diseases of young animals. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the educational institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine". Vitebsk. - 2024. - . Pp 325 - 330.
11. Ryabova E.G., Ryabova O.A., Yurov A.V., Novikov A.S. Monitoring the state of water bodies of the Solovetsky Islands by hydrochemical indicators // in the collection: Ecology and nature management. Collection of scientific papers of the VI All-Russian scientific and practical conference with international participation. Tomsk. - 2023. - Pp. 90 - 93.

УДК: 615.28:616-084/.085
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.290

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМБИНИРОВАННЫХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЛУЖЕБНОМ СОБАКОВОДСТВЕ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В СРАВНИТЕЛЬНОМ АСПЕКТЕ

Анисифоров С.Н. – соискатель; **Никитина А.А.** – канд. ветеринар. наук, доц. каф. клинической диагностики (ORCID 0000-0002-9458-3432); **Белопольский А.Е.*** – д-р ветеринар. наук, доц., зав. каф. ветеринарной гигиены и радиобиологии (ORCID 0000-0002-8566-2390)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*belopolskiy@mail.ru

Ключевые слова: *дезинфекция, служебное собаководство, микробная обсемененность.*

Key words: *disinfection, service dog breeding, microbial contamination.*

Поступила: 10.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Сегодня грамотность и правильность проведения дезинфекции в служебном собаководстве насущная необходимость. Здесь играет важную роль выбор дезинфектанта, его концентрация, температура раствора и помещения, метод нанесения и другие показатели. Главное не нанести поражение обонятельному центру служебных собак, иначе они потеряют свою поисковую ценность. На это направлены исследования эффективности двух дезинфектантов («Кемисепт» и «К-Дез AIR»), при применении их в условиях служебного собаководства уголовно-исполнительной системы методом орошения и протирания различных поверхностей (бетонные стены и пол, металлические решетки и деревянные поддоны). Для исследования, предварительно, получали смывы с необработанных поверхностей и определили, что в контрольных образцах на средах Эндо и XLD-агар выявлен рост колоний энтеробактерий, в том числе кишечной палочки *Escherichia coli* в значительном количестве; на стафилококковом агаре во всех пробах отмечен рост кокковой микрофлоры в большом количестве. На МПА во всех пробах контрольных образцов выявлен рост кокковой микрофлоры и спорообразующих грамположительных палочек *Bacillus spp*. При обработке средством «Кемисепт» и «К-Дез AIR» на кишечных средах (среды Эндо и XLD-агар) отмечено отсутствие роста колоний энтеробактерий во всех исследуемых образцах. На стафилококковом агаре в исследуемых пробах (бетонные стены и пол) отмечен рост меньшего количества кокковой микрофлоры, чем в контрольных образцах, а также установлен рост единичных колоний стафилококков. Выявлен рост меньшего числа кокковой микрофлоры, чем в контроле, отмечен рост лишь единичных колоний кок-

ковой микрофлоры. Таким образом, результаты при проведении дезинфекции поверхностей двумя исследуемыми дезинфектантами (средством «Кемисепт» и «К-Дез AIR») идентичны, свойства обоих можно отнести к бактериостатическим в отношении кокковой микрофлоры и бактерицидным, в отношении кишечной микрофлоры.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

При содержании животных следует уделять важное внимание вопросам, связанным с недопущением и предотвращением проникновения возбудителей массовых болезней в организм животных. Помимо мер иммунологического контроля за распространением особо опасных болезней, важную роль в предотвращении заноса патогенных микроорганизмов и вирусов на объекты, играет применение дезинфицирующих средств, для обеззараживания помещений, инвентаря и прочих средств, с которыми непосредственно могут контактировать животные. При этом дезинфектанты должны быть безопасны, не приводить к порче поверхностей и не снижать рабочих качеств служебных собак, в частности не иметь отрицательного воздействия на органы обоняния. Также стоит учитывать экономическую составляющую при приведении дезинфекции, эффективное дезинфицирующее средство должно быть доступно в необходимых объемах. В настоящее время среди видов дезинфекции в служебном собаководстве в основном применяют механические способы (обработка рук персонала, мытье оборудования, инвентаря, приспособлений для кормления и амуниции) и химические (применение химических дезинфектантов для опрыскивания и протирания контактных поверхностей и оборудования, вымачивание в дезинфекционных растворах). При одновременном содержании животных разных половозрастных групп особенно важно соблюдать принципы профилактической дезинфекции – обработка общих поверхностей, с которыми могут контактировать животные разных групп, а именно: места содержания служебных собак, выгула, площадки для дрессировки, индивидуальный уборочный инвентарь и амуниция.

Стоит учитывать, что эффективность дезинфекции зависит от выработанной биологической резистентности микроорганизмов к различным ранее используемым средствам химического воздействия. В то же время не маловажную роль играет количественные показатели загрязнений, в таком случае предварительно сильно загрязненные поверхности необходимо очистить для более эффективной дезинфекции, в том числе это экономит расход средств. Кроме того, во внимание следует взять и материал обрабатываемых поверхностей – пластмасса, металл, почва, бетон, дерево и др.

Цель настоящей работы – провести сравнительную оценку эффективности нескольких дезинфектантов при нанесении их на различные поверхности методом орошения и протирания. Данный выбор препаратов имеет пониженное количество агрессивных компонентов, которые могут быть потенциально снижать служебные качества собак (обоняние).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для исследования эффективности дезинфектантов «К-Дез AIR» и средства «Кемисепт» был произведен контроль качества обработки ими различных поверхностей (дерево, бетон, металл), в количестве 20 проб. Для нанесения на поверхности применяли способ протирания и орошения с помощью гидропульта с нанесением средств в виде аэрозоля, благодаря чему тонким слоем дезинфектантов покрывали обрабатываемую поверхность. Сравнительную оценку проводили между идентичными поверхностями, обработанными исследуемыми дезинфектантами, а также в сравнении с объектами, где не применяли никаких средств, для обработки (контрольные образцы).

Исследования проведены ФКУ «Исправительная колония №7», в местах содержания служебных собак. Работа в условиях микробиологической лаборатории была проведена в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами СанПиН 3.3686-21 "Санитарно-

эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней" (постановление от 28 января 2021 года N 4), раздел IV «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению безопасности при работе с ПБА». Работа с микроорганизмами проведена в боксе микробиологической безопасности БМБ-II-«Ламинар-С»-1, 2 (221.120) класс II (тип А2) (LamSystems, г. Миасс, Челябинская область) в стерильных условиях. Инкубация посевов смывов с поверхностей проведена в термостате воздушном лабораторном ХТ-3/40 (ЗАО «Пять океанов», Минск). Для посевов использовали простые (мясо-пептонный агар), селективные (стафилококковый агар – для выделения кокковой микрофлоры) и дифференциально-диагностические (среда Эндо, ксилоза-лизин-дезоксихолатный агар (XLD-агар) для выделения кишечной микрофлоры - энтеробактерий) питательные среды производства НИЦФ (Научно-исследовательский центр фармакотерапии, Санкт-Петербург), ФБУН ГНЦ ПМБ (г. Оболенск, Московская область).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Для определения эффективности дезинфектантов «К-Дез AIR» и «Кемисепт» был произведен контроль качества методом протирания и аэрозольной обработки различных поверхностей (дерево, бетон, металл), путём орошения с помощью гидропульта. Важным фактором определения качества проведённой дезинфекции является контроль микробной обсеменённости на поверхностях обработанных помещений. Результаты исследований представлены в таблице 1 и на рисунках 1-4. В контрольных образцах (без обработки) в пробах 1 и 3 (стена бетон и поддон) на средах для выделения кишечной микрофлоры (среды Эндо и XLD-агар) выявлен рост колоний энтеробактерий, в т.ч. кишечной палочки Escherichia coli; на стафилококковом агаре во всех 4-х пробах отмечен рост кокковой микрофлоры, причём в пробах 1 и 3 – рост наибольшего количества колоний. На МПА во всех пробах выявлен рост кокковой микрофлоры и спорообразующих грамположительных палочек Bacillus spp., в пробе 2 (пол бетон) – рост плесневых грибов.

В пробах 5-8 (обработка К-Дез AIRом орошением) на кишечных средах (среды Эндо и XLD-агар) нет роста ни одной колонии энтеробакте-рий ни в одной пробе. На стафилококковом агаре в пробах 5, 6 (стена бетон и пол бетон) отмечен рост меньшего количества кокковой микрофло -ры, чем в контроле. В пробах 7, 8 (поддон и решётка) выявлен рост лишь единичных колоний стафилококков. На МПА во всех пробах выявлен рост Bacillus spp. В пробе 5 (стена бетон) выявлен рост меньшего числа кокковой микрофлоры, чем в контроле, в пробах 6, 7, 8 (пол бетон, поддон, решётка) отмечен рост лишь единичных колоний кокковой микрофлоры.

В пробах 9-12 (обработка К-Дез AIRом протиранием) на кишечных средах (среды Эндо и XLD-агар) нет роста ни одной колонии энтеробакте-рий ни в одной пробе. На стафилококковом агаре в пробе 12 (решётка) отмечен рост меньшего количества кокковой микрофлоры, чем в контроле. В пробах 9, 10, 11 (стена бетон, пол бетон, поддон) выявлен рост лишь единичных колоний стафилококков. На МПА в пробах 9, 10, 11 (стена бетон, пол бетон, поддон) выявлен рост единичных колоний микроорганиз-мов. В пробе 13 выявлен рост одной колонии Bacillus spp.

При исследовании проб 13-16 (обработка Кемисептом орошением) на кишечных средах (среды Эндо и XLD-агар) в пробе 16 (решётка) выявлен рост двух колоний кишечной палочки Escherichia coli. В пробе 13 также выявлен рост на XLD-агаре. На стафилококковом агаре в пробе отме-чен рост кокковой микрофлоры, визуально не отличающийся от контрольных проб. На МПА во всех пробах выявлен рост Bacillus spp. и кокковой микрофлоры.

При исследовании проб 17-20 (обработка Кемисептом протиранием) в пробе 17 выявлен рост на XLD-агаре. В остальных пробах на кишечных средах роста нет. На стафилококковом агаре в

пробах 17, 18, 19 (стена бетон, пол бетон, поддон) отмечен рост меньшего количества кокковой мик-рофлоры, чем в контроле. В пробе 20 (решётка) выявлен рост лишь еди-ничных колоний стафилококков. На МПА в пробах 17, 19, 20 (стена бетон, поддон, решётка) выявлен рост Bacillus spp. и кокковой микрофлоры. В пробе 18 (пол бетон) выявлен рост лишь единичных колоний кокков.

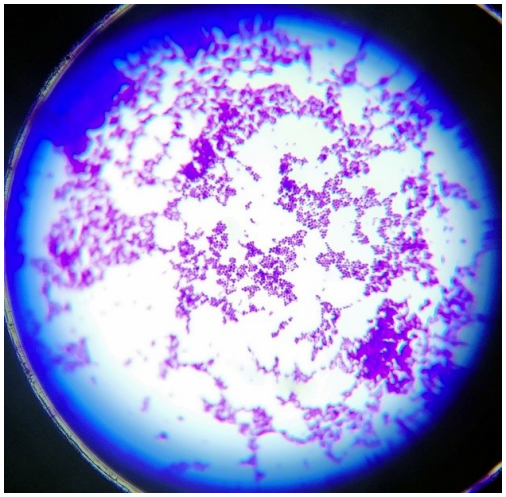


Рисунок 1 – Культура Staphylococcus под микроскопом (из пробы 15 со стаф. агара).

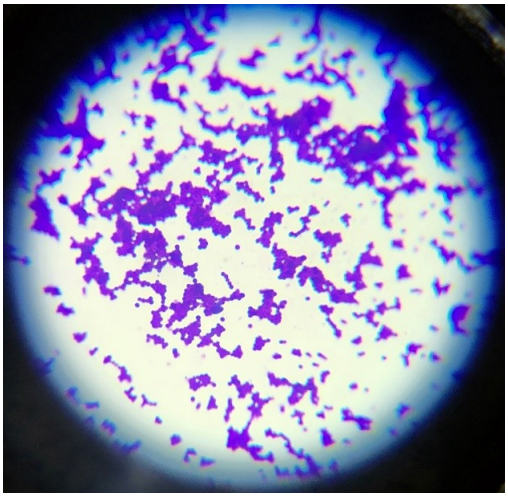


Рисунок 2 – Культура Staphylococcus spp. под микроскопом (из пробы 18 с МПА).

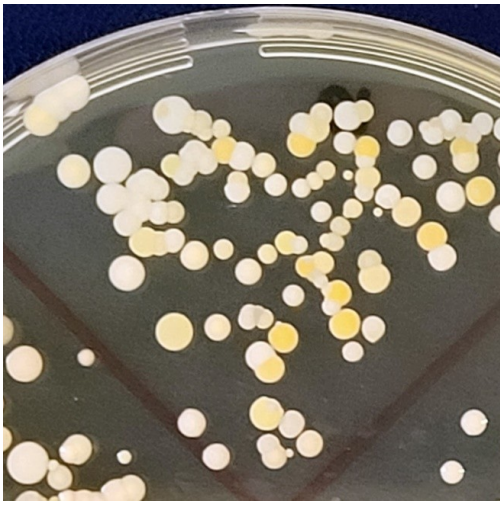


Рисунок 3 – Рост культур разных видов стафилококков – золотистого (Staphylococcus aureus – жёлтые колонии), лимонно-жёлтого (Staphylococcus citreus – зеленоватые колонии), белого (Staphylococcus epidermidis – белые колонии) на стафилококковом агаре из пробы 19 (через 7 дней после посева).

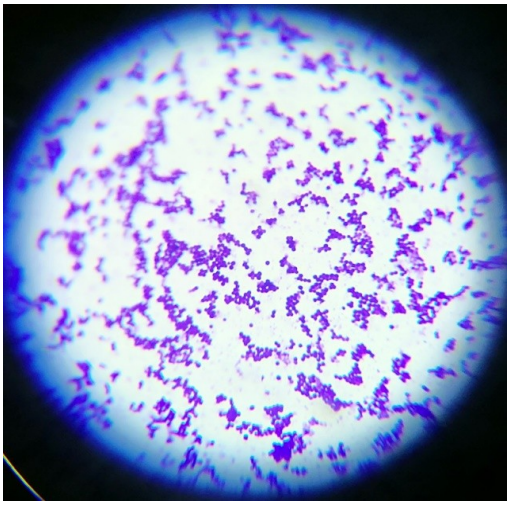


Рисунок 4 – Культура Staphylococcus aureus под микроскопом (из пробы 19).

Таблица 1 – Виды поверхностей и способы нанесения дезсредств

Поверхность	Препарат и вид обработки				
	Контроль	К-Дез AIR орошение	К-Дез AIR протирание	Кемисепт орошение	Кемисепт протирание
Стена бетон	1	5	9	13	17
Пол бетон	2	6	10	14	18
Поддон	3	7	11	15	19
Решётка	4	8	12	16	20

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

При проведении сравнительного анализа представленных в работе результатов исследования роста на специализированных средах микроорганизмов при использовании дезинфектантов методом орошения и протирания в служебном собаководстве уголовно-исполнительной системы, можно сделать следующий вывод: оба испытуемых средства для дезинфекции показали свою эффективность по сравнению с контрольной группой образцов. Рост в практически всех образцах, обработанных как «Кемисептом», так и «К-Дез AIR» был идентичен, скуден или отсутствовал, в отличие от контрольной группы образцов, где не применяли дезинфицирующие средства. Оба препарата можно отнести к средствам с бактерицидным действием в отношении кишечной микрофлоры и с бактериостатическим действием по отношению к кокковой микрофлоре. В свою очередь, дальнейшим этапом работы может стать определение экономической эффективности при применении вышеуказанных дезинфектантов, для определения наиболее эффективного с точки зрения затрат на проведение дезинфекции способа.

COMPARATIVE EFFICIENCY OF DIFFERENT TYPES OF DISINFECTANTS USED IN SERVICE DOG BREEDING

Anisiforov S.N. – applicant; **Nikitina A.A.** – PhD in Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Clinical Diagnostics (ORCID 0000-0002-9458-3432); **Belopolsky A.E.*** – Doctor of Veterinary Sciences, Head of the Department of Veterinary Hygiene and Radiobiology, Associate Professor (ORCID 0000-0002-8566-2390)

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine

*belopolsky@mail.ru

ABSTRACT

Today, literacy and correctness of disinfection in service dog breeding are an urgent need. The choice of disinfectant, its concentration, temperature of the solution and the room, the method of application and other indicators play an important role here. The main thing is not to damage the olfactory center of service dogs, otherwise they will lose their search value. This is the purpose of studying the effectiveness of two disinfectants ("Kemisept" and "K-Dez AIR"), when using them in the conditions of the penal system in service dog breeding by irrigating various surfaces (concrete walls and floors, metal grates and wooden pallets). For the study, preliminarily, swabs were obtained from untreated surfaces and it was determined that in the control samples on Endo and XLD-agar media, the growth of enterobacteria colonies was detected, including Escherichia coli in significant quantities; on staphylococcal agar, a large growth of coccal microflora was noted in all samples. In MPA, growth of coccal microflora and spore-forming gram-positive rods Bacillus spp. was detected in all control samples. When treated with Kemisept and K-Dez AIR on intestinal media (Endo and XLD-agar media), no growth of enterobacteria colonies was observed in all the studied samples. On staphylococcal agar, a smaller growth of coccal microflora was observed in the studied samples (concrete walls and

floor) than in the control samples, and growth of single staphylococcal colonies was also established. Growth of a smaller number of coccal microflora was detected than in the control, growth of only single colonies of coccal microflora was noted. Thus, the results of disinfection of surfaces with two studied disinfectants (Kemisept and K-Dez AIR) are identical, the properties of both can be classified as bacteriostatic in relation to coccal microflora and bactericidal in relation to intestinal microflora.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анисифоров, С. Н. Зоогигиеническая оценка влияния некоторых дезинфектантов на гематологические показатели служебных собак в условиях УИС / С. Н. Анисифоров, А. А. Никитина // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 3. – С. 121-124.
2. Ветеринарная дезинфекция. Ежемесячный научно производственный журнал «Птицеводство» №7 - Москва 2008г.
3. Осипова, В. Л. Дезинфекция / В.Л. Осипова. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. - 136 с.
4. Поляков, А.А. Ветеринарная дезинфекция / А.А. Поляков. - М.: Колос, 2005. - 600 с.
5. Шакирова И. В. Изучение острой токсичности препарата Диксам для птицы при ингаляционном воздействии - М, ВНИИВСГЭ, 2006 Т 118, 125 - 127 с.

REFERENCES

1. Anisiforov, S. N. Zoohygienic assessment of the influence of some disinfectants on hematological parameters of service dogs in the conditions of the penal system / S. N. Anisiforov, A. A. Nikitina // Normative-legal regulation in veterinary medicine. - 2024. - No. 3. - P. 121-124.
2. Veterinary disinfection. Monthly scientific production journal "Poultry" No. 7 - Moscow 2008.
3. Osipova, V. L. Disinfection / V.L. Osipova. - M .: GEOTAR-Media, 2009. - 136 p.
4. Polyakov, A. A. Veterinary disinfection / A.A. Polyakov. - M .: Kolos, 2005. - 600 p.
5. Shakirova I. V. Study of acute toxicity of the drug Dixam for poultry under inhalation exposure - M, VNIIVSGE, 2006 T 118, 125 - 127 p.

БИОХИМИЯ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ

УДК: 636.1:617.3
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.296

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОЖИ МЕЖПАЛЬЦЕВОЙ ОБЛАСТИ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ДЕРМАТИТЕ

Борхунова Е.Н. – д-р биол. н., проф., зав. кафедрой анатомии и гистологии им. проф. А.Ф. Климова (ORCID 0000-0003-2355-8616); **Белогуров В.В.* –** канд. ветеринар. н., доц. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0000-0003-0204-3808); **Позябин С.В. –** д-р ветеринар. н., проф., ректор, зав. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0000-0002-3825-6082); **Качалин М.Д. –** канд. ветеринар. н., доц. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0000-0001-5942-8771); **Кузнецова М.А. –** асс. каф. анатомии и гистологии животных им. проф. А.Ф. Климова (ORCID 0000-0002-2031-12907); **Лясковский И.Д. –** асс. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0009-0000-5299-4172).

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина»

*kalancha123@mail.ru

Ключевые слова: *крупный рогатый скот, кожа, морфология, межпальцевый дерматит.*

Keywords: *cattle, skin, morphology, interdigital dermatitis.*

Финансирование. *Исследования проведены в рамках выполнения работы по гранту Российского научного фонда №23-16-00023 «Метаболические и морфофункциональные взаимосвязи при ортопедических патологиях у высокопродуктивного крупного рогатого скота как научная основа разработки методов их коррекции и профилактики».*

Поступила: 14.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Структурные изменения дистального отдела конечностей у крупного рогатого скота проявляются не только артрозами суставов пальцев, нарушениями роста копытцевого рога, но и деструктивными изменениями кожного покрова в этой области. При этом состояние суставов и копытец описано в ряде работ, в то время как морфологические изменения кожи при дерматитах межпальцевой области недостаточно изучены. При этом хронизация дерматита и постоянное поддержание очага хронического воспаления, несомненно, оказывает негативное влияние на состояние окружающих тканей и, кроме того, является индикатором изменений кожи в области пальцевого органа. В статье представлены результаты исследования морфологических изменений кожи у молочных коров при межпальцевом дерматите.

Цель работы – представить данные о морфологических изменениях кожи межпальцевой области у молочных коров при хроническом дерматите. Изучены препараты кожи межпальцевой области, полученные при исследовании секционного материала от 50-ти молочных коров в возрасте 3-х и 4-х лет, у которых наблюдались признаки хронического межпальцевого дерматита, нарушения роста копытцевого рога, а также артрозы пальцевых суставов. Фрагменты кожи подвергали гистологическому исследованию по общепринятой методике. Микропрепараты изучали с помощью микроскопов Jenamed-2 и MicroScreen. В результате проведенных исследований получены данные о вариантах микроскопических изменений кожи межпальцевой области у молочных коров при хроническом дерматите, показано, что процесс может протекать с аллергическим компонентом, что следует учитывать при лечении больных животных.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Патологии дистального отдела конечностей широко распространены у крупного рогатого скота, отличаются сочетанным течением артрозов, межпальцевого дерматита, нарушения роста копытцевого рога; они сопровождаются, в частности, развитием болевого синдрома и приводят к значительному снижению продуктивности животных [4, 7, 9, 10, 11]. Инцидентность межпальцевого дерматита может достигать 70% среди поголовья, при этом нередко он с трудом поддается лечению, что обусловливает необходимость изучения морфологических изменений, возникающих в коже при данной патологии [3].

Несмотря на многочисленные исследования в области патологий дистального отдела конечностей у молочных коров, сведения о морфологических изменениях кожи межпальцевой области при межпальцевом дерматите фрагментарны и касаются, главным образом, описания клинической картины [1, 2, 3]. В этой связи изучение особенностей морфологической картины при межпальцевых дерматитах у коров имеет значение для совершенствования лечебно-профилактических мероприятий, которые должны базироваться на современных данных об этиологии и патогенезе заболевания [5, 6, 8].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ / MARTERIALS AND METHODS

Исследования проведены на кафедрах ветеринарной хирургии и анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина. В работе использовали изолированные конечности от 50-ти коров молочного направления продуктивности в возрасте 3-х - 4-х лет. Секционный материал подвергали осмотру, при этом у всех животных регистрировали признаки хронического межпальцевого дерматита, нарушения роста копытцевого рога, а при дальнейшем препарировании определяли признаки артрозов суставов пальцев. Для гистологических исследований отбирали фрагменты кожи из межпальцевой области. Исследования проводили по общепринятой методике: материал фиксировали в 10%-м растворе формалина, заливали в парафин, готовили срезы, которые окрашивали гематоксилином и эозином для оценки общей морфологической картины и изучали с помощью микроскопов Jenamed-2 и MicroScreen.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При исследовании кожи межпальцевой области во всех случаях выявлены признаки хронического дерматита, который в одних случаях протекал с аллергическим компонентом, в других – без него.

В случаях хронического дерматита, в которых при микроскопических исследованиях признаки аллергической реакции не были выявлены, клинически наблюдали утолщенную кожу с гладкой, блестящей поверхностью (слабо выражен рельеф), лишенную волос, без покраснений и явлений гиперкератоза (рис.1 А). В случаях с аллергическим компонентом наблюдали более выраженный отек и покраснение кожи (рис.1 Б). У многих животных наблюдали явления гиперкератоза (рис.1 В, Г).

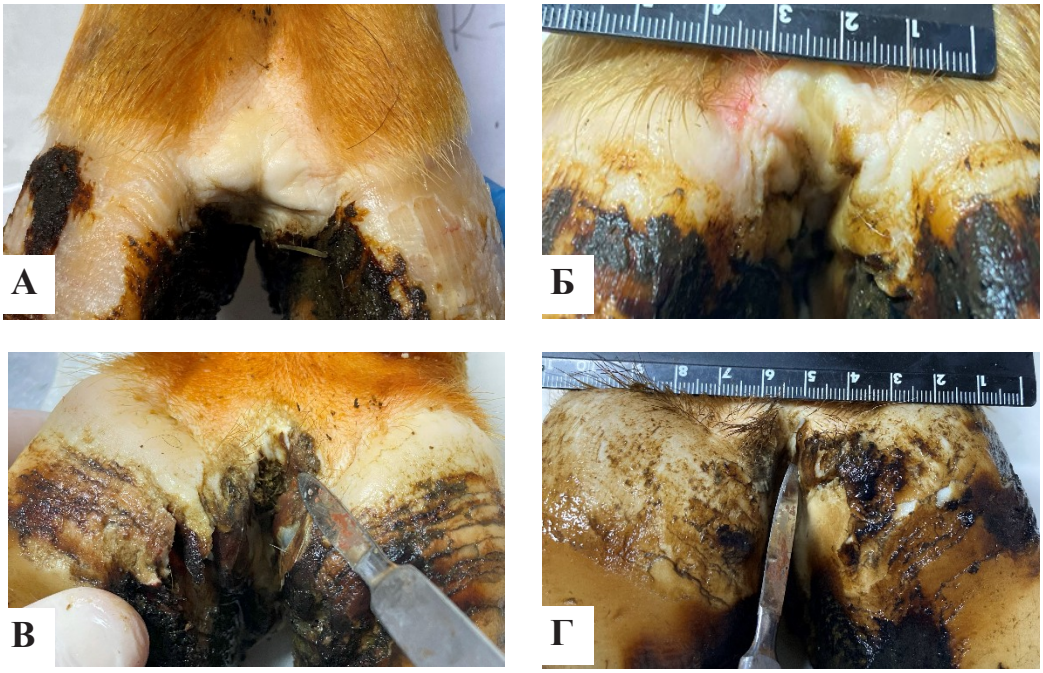


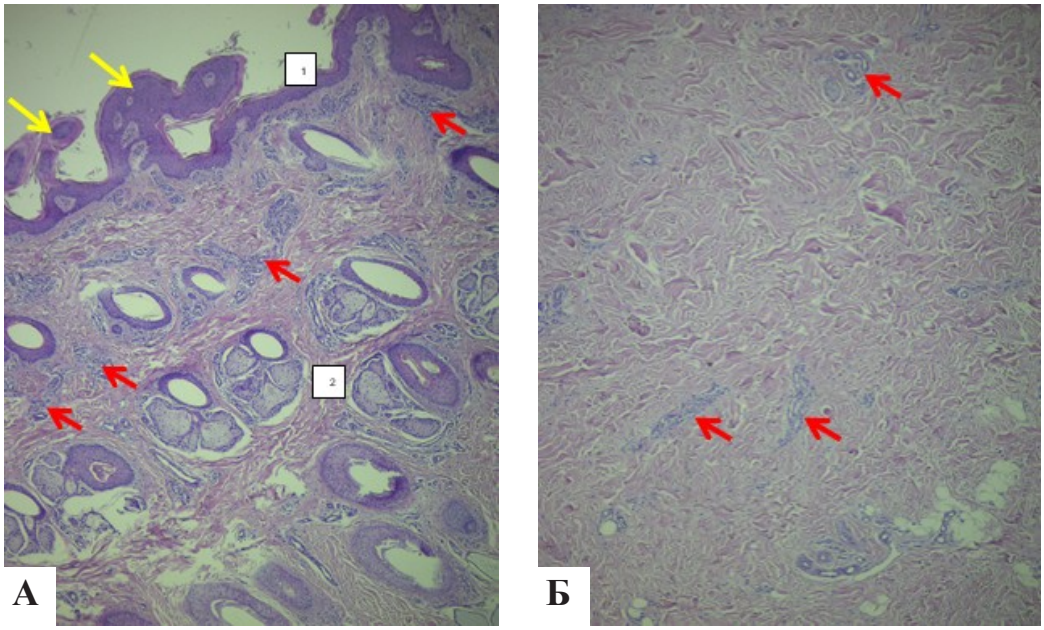
Рисунок 1 – Варианты клинического проявления хронического дерматита в межпальцевой области у крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. А – кожа утолщена, папиллярный рисунок сглажен, рост волос отсутствует, что указывает на рубцовые изменения; Б – утолщение кожи, трещины, локальная гиперемия; В – утолщение кожи, явления гиперкератоза; Г – явления гиперкератоза, трещины в межпальцевой области.

Эпидермис в одних случаях был истончен, имел сглаженные гребешки, роговой слой был тонок. При этом иногда наблюдали папилломатозные разрастания и инфильтрацию лимфоцитами (рис. 2, 3). Кератиноциты базального слоя имели призматическую форму, некоторые из них находились в состоянии вакуольной белковой дистрофии. В клетках шиповатого слоя идентифицировались филаменты кератина, ядра некоторых клеток были пикнотичны. В этом слое наблюдали разъединение клеток за счет отека с формированием межклеточных пространств – спонгиоз. Зернистый слой в одних случаях отсутствует, что указывает на дискератоз. В других случаях идентифицируются клетки, содержащие немногочисленные зерна кератогиалина. В роговом слое наблюдается слоистое расположение рогового вещества, контуры роговых чешуек в большинстве случаев не определяются (должны быть четко видны). Все это указывает на дискератоз.

Рисунок сосочкового слоя дермы также был не выражен, в нем наблюдали признаки склероза и диффузную лимфоидно-макрофагальную инфильтрацию. Кровеносные сосуды расширены, с паравазальной лимфоидно-макрофагальной инфильтрацией.

Сетчатый слой дермы с признаками склероза, видна умеренная паравазальная лимфоидно-макрофагальная инфильтрация и очаги мукоидного набухания с макрофагальной резорбцией.

Подкожная жировая клетчатка не имела видимых изменений.



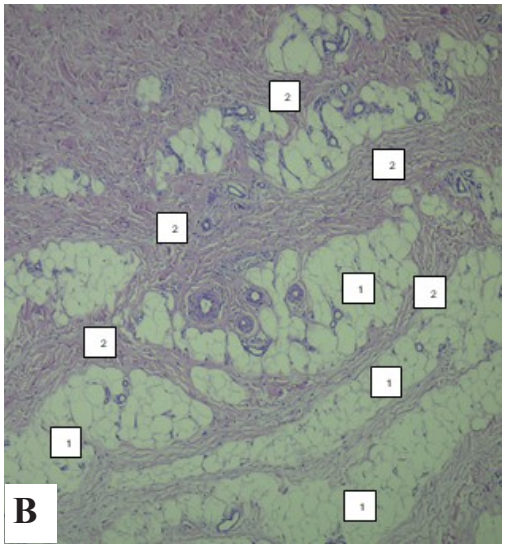


Рисунок 2 – Микроструктура кожи при хроническом межпальцевом дерматите у лактирующей коровы 3-хлетнего возраста.
А – эпидермис (1) истончен, сосочковый рисунок сглажен, видны папилломатозные выросты (желтые стрелки).
В сосочковом слое дермы (2) склероз, паравазальные клеточные инфильтрат (красные стрелки). Гематоксилин и эозин, х40.
Б – сетчатый слой дермы с признаками склероза, видны небольшие паравазальные инфильтраты (стрелки). Гематоксилин и эозин, х40.
В – подкожная жировая клетчатка, 1 – дольки адипоцитов, 2 – соединительнотканная строма. Гематоксилин и эозин, х40.

В случаях хронического дерматита с гистологически подтвержденным аллергическим компонентом клинически наблюдали утолщенную кожу с покраснениями, трещинами, нередко кожа была покрыта корочками (рис. 1 Б, В, Г).

При микроскопических исследованиях в эпидермисе регистрировали акантоз, вакуольную белковую дистрофию кератиноцитов, явления деструкции кератиноцитов базального слоя, признаки паракертоза и дискератоза (рис. 6).

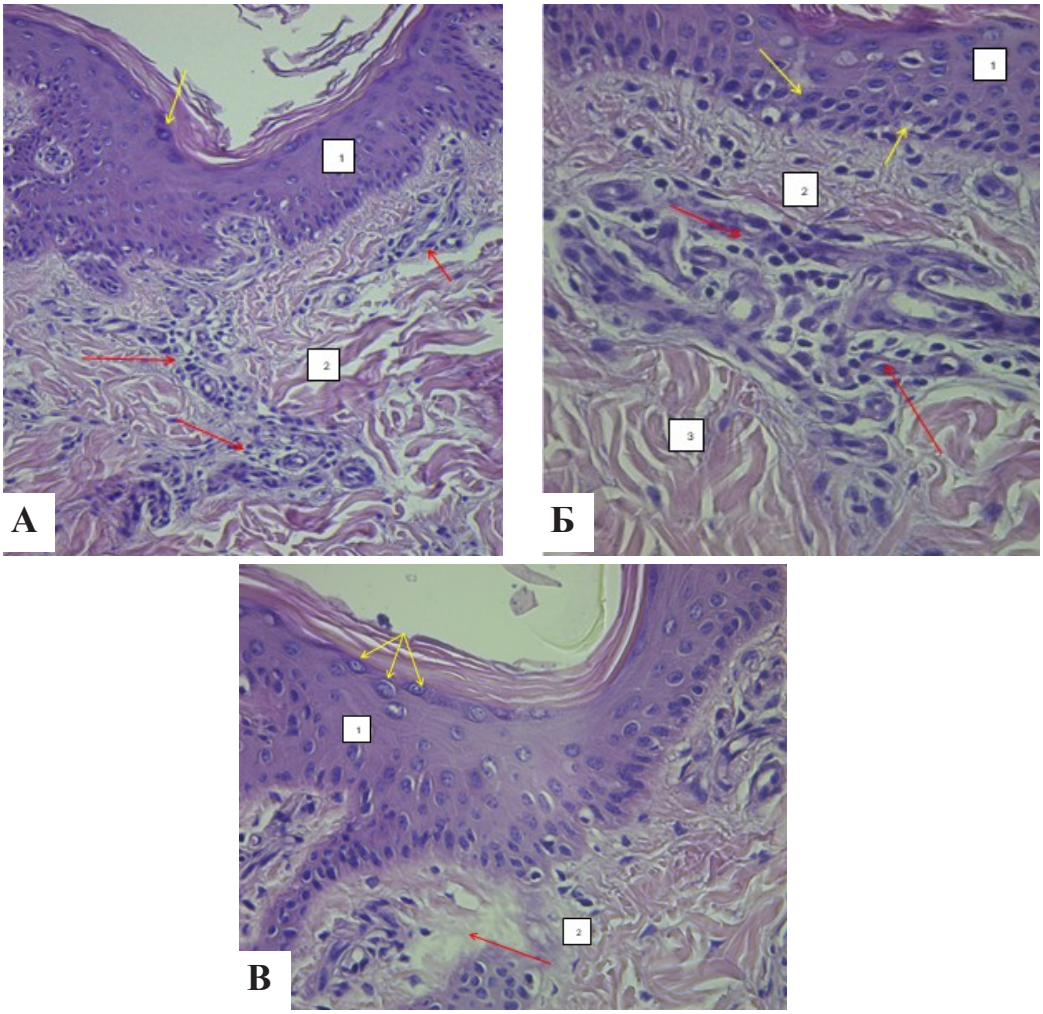


Рисунок 3 – Микроструктура кожи при хроническом межпальцевом дерматите у лактирующей коровы 3-х летнего возраста.
А – эпидермис (1) со сглаженным сосочковым рисунком, виден очаговый дискератоз (стрелка), в дерме (2) отек, паравазальная клеточная инфильтрация (стрелки). Гематоксилин и эозин, х100.
Б – в эпидермисе (1) некоторые кератиноциты базального слоя в состоянии некроза (стрелки), виден спонгиоз, среди кератиноцитов наблюдаются лимфоциты. 2 – сосочковый слой содержит уплотненные пучки коллагеновых волокон (склероз), виден диффузный макрофагальный инфильтрат. 3 – в сетчатом слое дермы регистрируются признаки отека (увеличение межволоконных пространств), умеренный паравазальный лимфоидно-макрофагальный инфильтрат (стрелка). Гематоксилин и эозин, х200.
В – в эпидермисе (1) дискератоз (зернистый слой эпидермиса отсутствует, стрелками показаны кератиноциты с нарушениями процесса ороговения). 2 - сосочковый слой дермы с признаками отека, стрелкой показана субэпидермальная булла. Гематоксилин и эозин, х200.

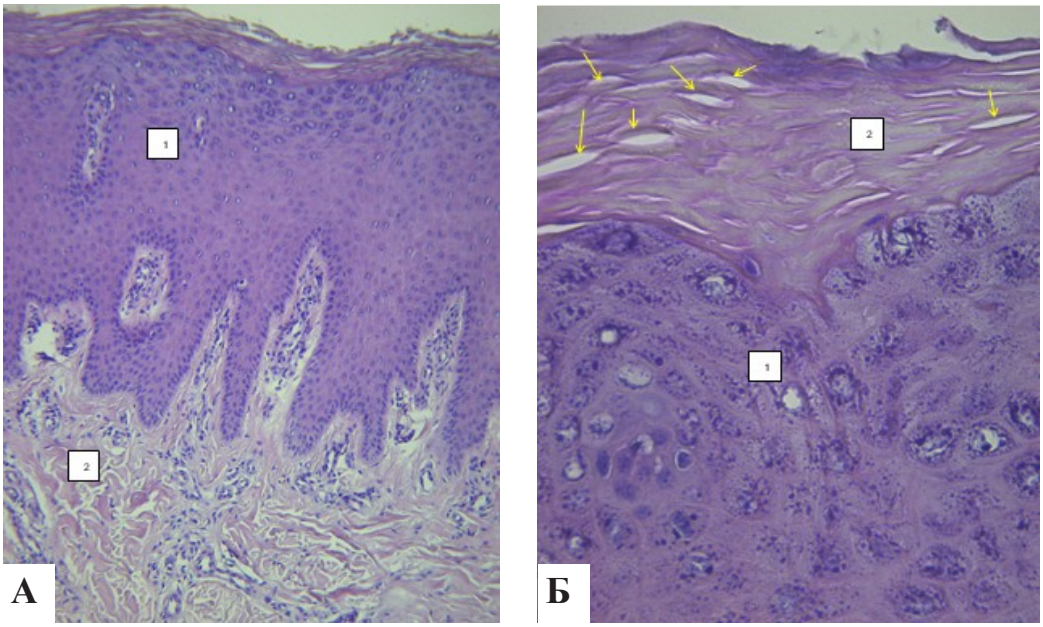


Рисунок 4 – Состояние эпиедрмиса при хроническом межпальцевом дерматите у 3-х летней лактирующей коровы.
А – эпидермис (1) с признаками акантоза, в дерме (2) видны признаки склероза, наблюдается умеренный паравазальный клеточный инфильтрат. Гематоксилин и эозин, х100.
Б – в эпидермисе кератиноциты зернистого слоя (1) содержат незначительное количество зерен кератогиалина, что указывает на дискератоз. 2 – в роговом слое наблюдается расслоение рогового вещества (стрелками показаны трещины). Гематоксилин и эозин, х400.

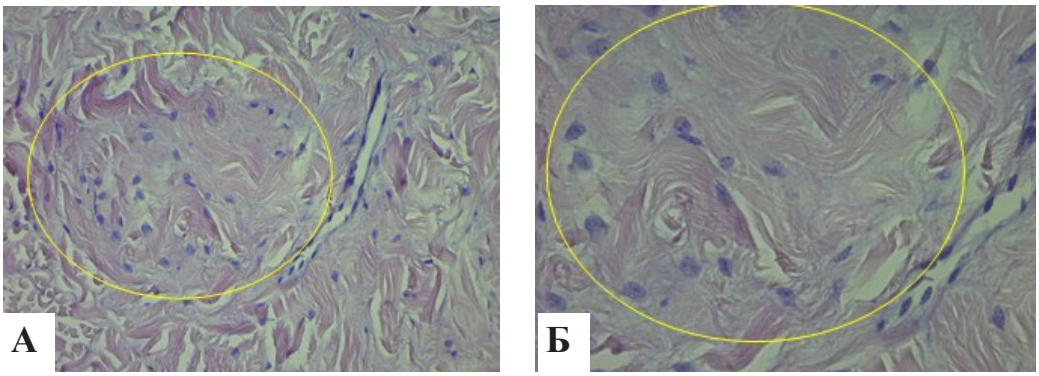


Рисунок 5 – Очаг мукоидного набухания (обведен) в сетчатом слое дермы у лактирующей коровы 3-х летнего возраста. Гематоксилин и эозин, А – х100, Б – х400.

В некоторых случаях при хроническом течении дерматита в эпидермисе отмечали признаки акантоза и гиперкератоза (рис. 4), дерма и подкожная жировая клетчатка имели признаки склероза, при этом в дерме регистрируются очаги мукоидного набухания с макрофагальной инфильтрацией (рис. 5).

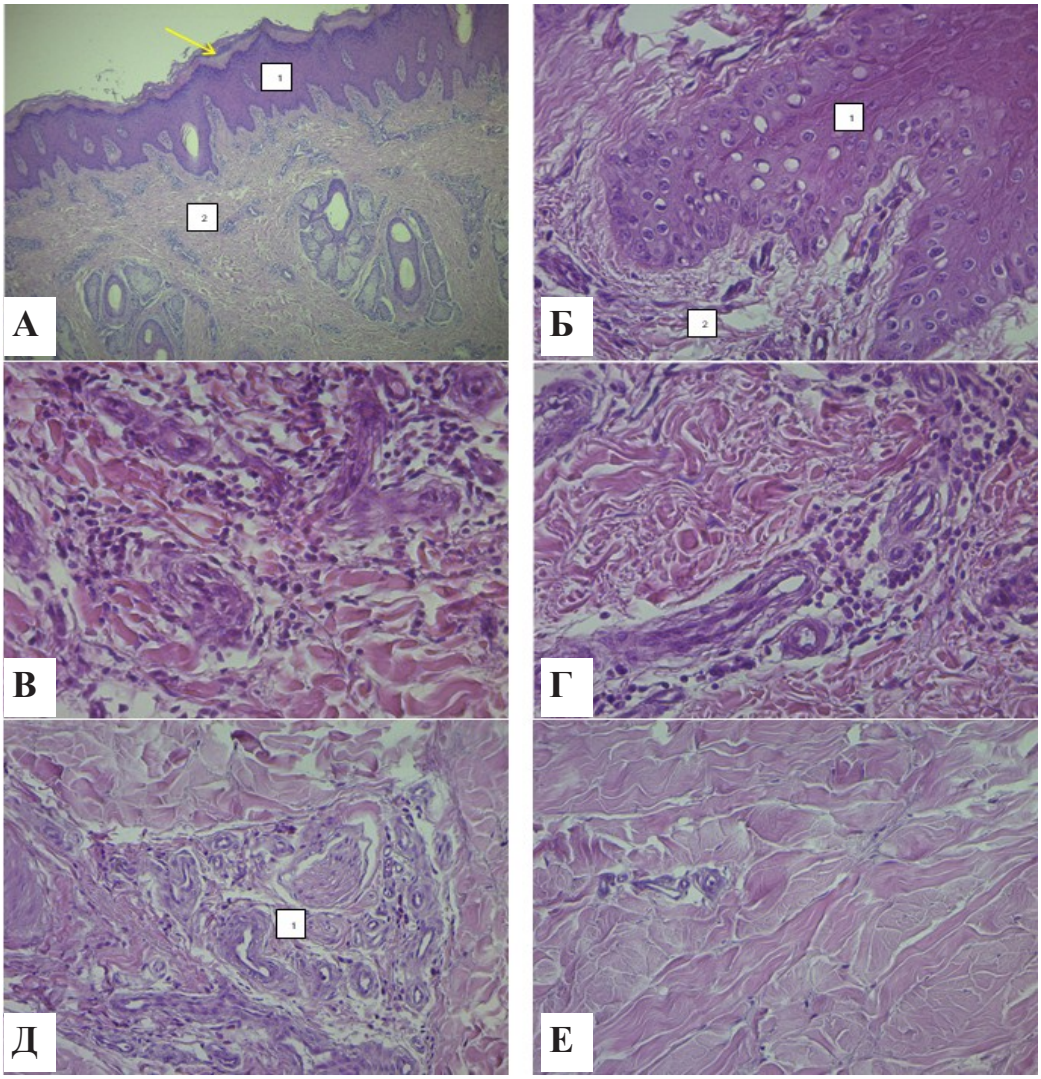


Рисунок 6 – Микроструктура кожи при хроническом межпальцевом дерматите с аллергическим компонентом у лактирующей коровы 4-х летнего возраста. А – эпидермис (1) с признаками акантоза, роговой слой (стрелка) неравномерно окрашен, что указывает на дискератоз. 3 – дерма с признаками умеренной паравазальной инфильтрации. Гематоксилин и эозин, х40. Б – в эпидермисе (1) наблюдается белковая вакуольная дистрофия, спонгиоз, в сосочковом слое дермы (2) выражен отек. Гематоксилин и эозин, х200.

В – диффузный и паравазальный лимфоидно-макрофагально-эозинофильный инфильтрат в сосочковом слое дермы. Гематоксилин и эозин, х200. Г – паравазальный лимфоидно-макрофагально-эозинофильный инфильтрат в сетчатом слое дермы. Гематоксилин и эозин, х200. Д – очаги склероза в глубоких слоя сетчатого слоя дермы, 1 – сосудисто-нервный пучок. Гематоксилин и эозин, х100. Е – глубокие слои сетчатого слоя дермы склерозированы: пучки коллагеновых волокон толстые, расположены плотно. Гематоксилин и эозин, х200.

В сосочковом слое дермы наблюдали явления фиброза, наряду с этим - отек, паравазальные и диффузные лимфоидно-макрофагальные инфильтраты с большим содержанием эозинофилов.

В сетчатом слое дермы видны паравазальные инфильтраты, менее обильные, чем в сосочковом слое. При этом определяются выраженные признаки фиброза: утолщение и плотная упаковка пучков коллагеновых волокон.

Подкожная жировая клетчатка имеет обычное строение, однако в соединительнотканной строме визуализируются сосуды с умеренной паравазальной инфильтрацией.

ВЫВОДЫ/CONCLUSION

Деструктивные изменения в области дистального отдела конечности у крупного рогатого скота характеризуются хроническим течением и вовлечением в патологический процесс комплекса структур. В наших исследованиях установлено, что нарушение формирования копытцевого рога во всех исследованных случаях сочетались с хроническим межпальцевым дерматитом. У одних животных дерматит сопровождался значительным склерозом дермы, сглаживанием рельефа эпидермиса, исчезновением волосяных фолликулов, тогда как у других протекал с аллергическим компонентом, проявляясь значительными отеками и наличием в клеточном инфильтрате большого количества эозинофилов. Этот фактор может, среди прочих, обусловливать хронизацию дерматитов и отсутствие положительной динамики при проведении лечения. Выявленные особенности морфологической картины при межпальцевых дерматитах у коров дополняют систему знаний о патогенезе данной патологии, в связи с чем их целесообразно учитывать при выборе схемы лечения животных.

MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE SKIN OF THE INTERDIGITAL AREA IN CATTLE WITH CHRONIC DERMATITIS

Borkhunova E.N. – D.Biol.N., Professor, Head of the Department of Anatomy and Histology named after Prof. A.F. Klimov https://orcid.org/0000-0003-2355-8616; **Belogurov V.V. * –** K. Vet N., Associate Professor of Veterinary Surgery https://orcid.org/0000-0003-0204-3808**; Pozyabin S.V.** – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Rector of the K.I. Scriabin Moscow State Medical University, Head of the Department of Veterinary Surgery https://orcid.org/0000-0002-3825-6082; **Kachalin M.D. –** Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of Veterinary Surgery https://orcid.org/0000-0001-5942-8771; **Kuznetsova M.A.** – ass. kaf. anatomy and histology of animals named after Prof.A.F. Klimov https://orcid.org/0000-0002-2031-12907; ***Lyaskovsky I.D.*** – ass. of the Department of Veterinary Surgery https://orcid.org/0009-0000-5299-4172

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin»

*kalancha123@mail.ru

Financing. *The research was carried out as part of a grant from the Russian Science Foundation №23-16-00023 "Metabolic and morphofunctional relationships in orthopedic pathologies in highly productive cattle as a scientific basis for the development of methods for their correction and prevention."*

ABSTRACT

Structural changes in the distal part of the limbs in cattle are manifested not only by arthrosis of the finger joints, but also by destructive changes in the skin in this area. At the same time, the condition of the hooves and signs of damage to the hoof horn have been described in a number of studies, while the condition of the skin in the interdigital area has not been sufficiently studied at the microscopic level. However, the chronicity of dermatitis and the constant presence of a chronic inflammatory focus undoubtedly have a negative impact on the surrounding tissues and serve as an indicator of changes

in the skin in the hoof area. This article presents the results of a study of morphological changes in the skin of dairy cows. The purpose to present data on morphological changes in the skin of the interdigital area in dairy cows with chronic dermatitis. The skin preparations of the interdigital area were studied in the study of the sectional material from 50 cows aged 3 and 4 years, which had signs of chronic interdigital dermatitis, disorders of the growth of the hoof horn, as well as arthrosis of the finger joints. The skin fragments were subjected to histological examination according to the generally accepted methodology. The micropreparations were studied using Jenamed-2 and MicroScreen microscopes. As a result of the conducted research, data was obtained on the variants of microscopic changes in the skin of the interdigital area in dairy cows with chronic dermatitis. It was shown that the process can occur with an allergic component, which should be taken into account when treating sick animals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Журба, В. А. Деформация копытец и дефектов копытцевого рога у крупного рогатого скота / В. А. Журба, В. М. Руколь, И. А. Ковалев // Современные технологии сельскохозяйственного производства: Сборник научных статей по материалам XXIV Международной научно-практической конференции, Гродно, 14–20 мая 2021 года / Министерство Сельского Хозяйства И Продовольствия Республики Беларусь; Учреждение Образования «Гродненский Государственный Аграрный Университет». – Гродно: ГГАУ, 2021. – С. 29-31. – EDN LVAAVK.

2.Веремей, Э. И. Уход за копытцами / Э. И. Веремей, В. А. Журба, В. М. Руколь, А. А. Стекольников, Б. С. Семенов // Животноводство России. – 2018. – № 2. – С. 67-69.

3.Марьин, Е. М. Характеристика ортопедических патологий у крупного рогатого скота / Е. М. Марьин, В. А. Ермолаев, О. Н. Марьина, И. С. Раксина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 66-69.

4.Позябин, С. В. Сравнительная характеристика структуры ортопедических патологий коров голштино-фризской и голштинизированной черно-пестрой пород / С. В. Позябин, Ю. И. Филиппов, М. Д. Качалин, В. В. Белогуров, М. С. Борисов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2018. – № 11. –С. 19-24.

5.Волотко, И. Профилактика и лечение болезней дистального отдела конечностей коров / И. Волотко, А. Безин, Н. Бутакова // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2015. – № 1-2. – С. 40-45. – EDN VWPHNK.

6.Руколь, В. М. Профилактика и лечение коров при болезнях конечностей / В. М. Руколь, А. А. Стекольников // Ветеринария. – 2011. – № 11. – С. 50-53. – EDN OIJJLN.

7.Позябин С.В., Белогуров В.В., Азарнова Т.О., Качалин М.Д. Оксидативный стресс и реализация продуктивных качеств дойных коров при патологии копытец. Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2023, №6 (108). С., 190-196, DOI 10.21515/1999-1703-108-190-196.

8.Гимранов, В. В. Распространенность, ущерб от болезней в области пальцев у крупного рогатого скота в Республике Башкортостан / В. В. Гимранов, Р. Р. Вахитов, Н. В. Фисенко // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2015. – № 1. – С. 12-14. – EDN TFBMHF.

9.Amory, J. R. Associations between sole ulcer, white line disease and digital dermatitis and the milk yield of 1824 dairy cows on 30 dairy cow farms in England and Wales from February 2003 –November 2004 / J. R. Amory, Z. E. Barker, J. L. Wright, S. A. Mason, R. W. Blowey, L. E. Green. // Preventive veterinary medicine. – 2008. – V. 83 (3-4). – P. 381-391, DOI: 10.1016/ j.prevetmed.2007.09.007.

10. Bicalho, R. C. Strategies to analyze milk losses caused by diseases with potential incidence throughout the lactation: a lameness example / R. C. Bicalho, L. D. Warnick, C. L. Guard // Journal of dairy science. – 2008. – V. 91. – No. 7. – 2653-

2661, DOI: 10.3168/jds.2007-0744.
11. Warnick, L. D. The effect of lameness on milk production in dairy cows / L. D. Warnick, D. Janssen, C. L. Guard, Y. T. Grцhn // Journal of dairy science. – 2001. – V. 84. – No. 9. – P. 1988-1997, DOI:10.3168/jds.S0022-0302(01)74642-5.

REFERENCES

1.Zhurba, V. A. Deformation of Hooves and Defects of Hoof Horn in Cattle / V. A. Zhurba, V. M. Rukol, and I. A. Kovalev // Modern Technologies of Agricultural Production: Collection of scientific articles based on the materials of the 24th International Scientific and Practical Conference, Grodno, May 14–20, 2021 / Ministry of Agriculture and Food of The Republic of Belarus; Grodno State Agrarian University. – Grodno: GSAU, 2021. – Pp. 29-31. – EDN LVAAVK.
2.Veremey, E. I. Foot care / E. I. Veremey, V. A. Zhurba, V. M. Rukol, A. A. Stekolnikov, and B. S. Semenov // Animal Husbandry of Russia. – 2018. – №. 2. – Pp. 67-69.
3.Maryin, E. M. Feature of orthopedic pathologies in cattle / E. M. Maryin, V. A. Ermolaev, O. N. Maryina, I. S. Raksina // Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. – 2012. – №. 4. – P. 66-69.
4.Pozyabin, S. V. Comparative characteristics of the structure of orthopedic pathologies of Holstein-Friesian and Holsteinized Black-Beast cows / S. V. Pozyabin, Yu. Belogurov, M. S. Borisov // Veterinariya, zootekhniya i biotekhnologiya. – 2018. – №. 11. – P. 19-24.
5.Volotko, I. Prevention and Treatment of Diseases of the Distal Limb of Cows / I. Volotko, A. Bezin, N. Butakova // Veterinary Medicine of Farm Animals. – 2015. – №. 1-2. – Pp. 40-45. – EDN VWPHNK.
6.Rukol, V. M. Prevention and Treatment of Cows with Limb Diseases / V. M. Rukol, A. A. Stekolnikov // Veterinary Medicine. – 2011. – №. 11. – Pp. 50-53. – EDN OIJJLN.
7.Pozyabin, S. V. Oxidative stress and realization of productive qualities of dairy cows in hoof pathology / Pozyabin S.V., Belogurov V.V., Azarnova T.O., Kachalin M.D.// Proceedings of the Kuban State Agrarian University, 2023, №.6 (108). pp. 190-196. [in Russ.], DOI 10.21515/1999-1703-108-190-196.
8.Gimranov, V. V. Prevalence and Damage Caused by Finger Diseases in Cattle in the Republic of Bashkortostan / V. V. Gimranov, R. R. Vakhitov, and N. V. Fisenko // Veterinaria, Zootechnia, and Biotechnology. – 2015. – №. 1. – Pp. 12-14. – EDN TFBMHF.
9.Amory, J. R. Associations between sole ulcer, white line disease and digital dermatitis and the milk yield of 1824 dairy cows on 30 dairy cow farms in England and Wales from February 2003 – November 2004 / J. R. Amory, Z. E. Barker, J. L. Wright, S. A. Mason, R. W. Blowey, L. E. Green. // Preventive veterinary medicine. – 2008. – V. 83(3-4). – P. 381-391, DOI: 10.1016/ j.prevetmed.2007.09.007.
10. Bicalho, R. C. Strategies to analyze milk losses caused by diseases with potential incidence throughout the lactation: a lameness example / R. C. Bicalho, L. D. Warnick, C. L. Guard // Journal of dairy science. – 2008. – V. 91. – №. 7. – 2653-2661, DOI: 10.3168/jds.2007-0744.
11. Warnick, L. D. The effect of lameness on milk production in dairy cows / L. D. Warnick, D. Janssen, C. L. Guard, Y. T. Grцhn // Journal of dairy science. – 2001. – V. 84. – №. 9. – P. 1988-1997, DOI:10.3168/jds.S0022-0302(01)74642-5.

УДК: 636.592+535
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.306

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КРАСНОГО СПЕКТРА НА ЛИНЕЙНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭМБРИОНОВ ИНДЕЙКИ В ПРОЦЕССЕ ИНКУБАЦИИ

Галиуллина С.А.* – асп. каф. ветеринарии (ORCID 0009-0002-8601-689X); **Хохлов Р.Ю.** – д-р биол. наук, проф., проф. каф. ветеринарии (ORCID 0000-0003-3957-2375)

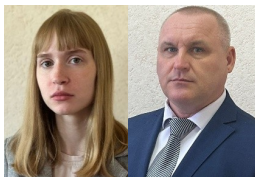
ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

*galiullina.s.a@pgau.ru

Ключевые слова: *красный спектр света, эмбрионы индейки, линейные параметры роста, инкубация.*

Keywords: *red light spectrum, turkey embryos, linear growth parameters, incubation.*

Поступила: 04.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Актуальность темы определяется растущим интересом науки к роли фотобиологической регуляции процессов эмбрионального развития домашней птицы. Красный спектр видимого света способен оказывать влияние на линейные параметры эмбрионов сельскохозяйственной птицы, скорость формирования органов и обмен веществ. Оптимизация факторов внешней среды, в частности условий освещения, становится важным направлением научных исследований, направленных на увеличение выхода здорового и жизнеспособного потомства. В современных хозяйствах широко применяется искусственная инкубация яиц, однако традиционные методы контроля окружающей среды часто игнорируют влияние спектра освещения на морфологические и биохимические аспекты развития эмбрионов. Таким образом, углубленное изучение влияния красного спектра света на рост и развитие эмбрионов индюшат представляется актуальным для практического внедрения в современные технологии промышленного разведения птицы и повышения экономической эффективности производства мяса индейки. Цель данной работы заключается в изучении влияния оптического воздействия красного спектра на линейные параметры длины эмбрионов индейки в процессе инкубации. Исследование посвящено анализу воздействия красного монохроматического света (длина волны 660 нм) на рост эмбрионов индейки в течение эмбрионального развития с 13 по 27 сутки. Измерения длины эмбрионов проводились на 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 и 27 сутки инкубации, что позволило отследить динамику изменений длины под влиянием светового воздействия. По результатам исследования определено, что красный монохроматический свет проявил влияние на величину длины индюшиных эмбрионов в 13, 15 и 21 сутки эмбриогенеза.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Птицеводство занимает одно из ведущих мест в структуре аграрного сектора экономики, обеспечивая население доступными и питательными продуктами — мясом и яйцами, которые служат источником белка для людей. Эта отрасль отличается высокой рентабельностью и быстрой окупаемостью, что делает её важным драйвером экономического развития, особенно в сельских регионах. Индейководство, как специализированное направление, занимает особое место благодаря высокой питательной ценности мяса индейки. Мясо индейки пользуется растущим спросом в условиях глобального тренда на здоровое питание, что открывает новые рынки для производителей. Индейки отличаются быстрым набором массы, что делает их разведение экономически выгодным при правильной организации кормовой базы и условий содержания. Отходы индейководства могут быть переработаны в органические удобрения, способствуя устойчивому земледелию и сокращению использования химикатов. Научные исследования в области генетики и селекции индеек позволяют улучшать продуктивные качества птиц, адаптируя их к различным климатическим условиям. В условиях роста населения и изменения климата инновации в птицеводстве становятся критически важными для обеспечения устойчивого производства пищи.

Современное птицеводство сталкивается с необходимостью оптимизации технологических процессов для повышения продуктивности и улучшения качества продукции. Одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на физиологию и развитие птиц, является освещение [1, 2, 3]. Его роль выходит за рамки простого обеспечения видимости, затрагивая регуляцию метаболизма, поведенческие реакции и эндокринные процессы. Особый интерес представляет изучение монохроматического света, который, благодаря узкому спектральному диапазону, позволяет целенаправленно воздействовать на биологические системы птиц [4, 5, 6, 7].

В постэмбриональный период световые условия определяют такие параметры, как скорость роста, иммунный статус, яйценоскость и стрессоустойчивость. Однако избыточная интенсивность или неправильный спектр могут провоцировать агрессию и каннибализм, что подчеркивает необходимость точного контроля параметров освещения.

Не менее значимым остается изучение влияние света на эмбриональное развитие сельскохозяйственной птицы [8, 9]. Исследования демонстрируют, что воздействие монохроматического освещения во время инкубации способно модулировать морфометрические показатели эмбрионов. Например, красный свет в инкубаторах коррелирует с увеличением длины и массы эмбрионов кур. Эти данные указывают на то, что эмбриональный период является важнейшим этапом для программирования продуктивных качеств будущего поголовья.

Интеграция знаний о роли света в оба периода развития – эмбриональный и постэмбриональный – позволяет разрабатывать комплексные стратегии управления ростом и здоровьем птиц. Такие подходы не только повышают экономическую эффективность производства, но и соответствуют трендам на устойчивое сельское хозяйство, улучшая благополучие сельскохозяйственной птицы. Дальнейшие исследования в этой области необходимы для раскрытия молекулярных механизмов световой регуляции и внедрения инновационных решений в промышленное птицеводство.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось на базе ФБОУ ВО Пензенский ГАУ, на кафедре «Ветеринария». Материалом исследования служили индюшиные эмбрионы. Инкубационное яйцо было разделено на 2 группы: контрольную и опытную. В опытной группе инкубация индюшиных эмбрионов проводилась под воздействием красного монохроматического света длиной волны 660 нм круглосуточно на про-

тяжении всей инкубации. Для измерения длины индюшат отбор проводили в 13-, 15-, 17-, 19-, 21-, 23-, 25-, 27 сутки в количестве 5-6 штук. Длину тела эмбрионов измеряли штангенциркулем.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В возрасте 13 суток средняя абсолютная длина эмбрионов в контрольной группе достигла величины 42,7±3,0 мм, в то время как аналогичный показатель в опытной группе оказался выше на 10,8% и составил 47,4±1,3 мм. Рост длины эмбрионов с 13 до 15 суток составил 34,5% в контрольной группе и 30,6% в опытной. Несмотря на меньший прирост, абсолютная длина эмбрионов в опытной группе на 15-е сутки была на 7,6% выше, чем в контрольной группе.

Длина эмбрионов продолжала возрастать и к 17-м суткам, увеличилась относительно 15-суточного возраста на 24,1% (контроль) и 15,7% (опыт). При этом различие в длине эмбрионов между опытной и контрольной группами к 17-м суткам было несущественным, составляя лишь 0,4%.

К 19-суточному возрасту наблюдалось увеличение длины эмбрионов индеек: на 12,5% в контрольной и на 12,2% в опытной группе, без выявления существенных межгрупповых различий по данному параметру.

К 21-м суткам эмбрионального развития прирост абсолютной длины индюшиных эмбрионов относительно 19-суточного возраста составил 7,7% в контрольной группе и существенно больше – 13,0% в опытной. Примечательно, что в этом возрасте длина эмбрионов в опытной группе была почти на 5% выше, чем в контрольной.

На следующем этапе эмбрионального развития, а именно на 23 сутки, констатируем, что значение длины эмбрионов превысило показатели 21-суточного возраста в контрольной группе на 17,2%, в опытной на 11,6%, при этом на 23 сутки разница в значениях абсолютной длины между контрольной и опытной группами сократилась до уровня менее одного процента.

За период с 23 по 25 сутки абсолютная длина эмбрионов индейки возросла на 3,3% в контрольной группе и на 5,1% в опытной. К 25-му дню длина эмбрионов в опытной группе превышала показатель контрольной группы на 1,7%.

На завершающем этапе эмбриогенеза (27 суток) прирост длины эмбрионов индеек относительно 25 суток составил 5,5% для контрольной и 6,0% для опытной группы. Это обусловило превышение значения длины в опыте над контролем на 2,2% к данному сроку.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведённое исследование показало, что воздействие красного монохроматического света оказывает положительное влияние на длину эмбрионов индейки в процессе инкубации. Особенно заметные изменения наблюдались на сроках в 13, 15 и 21 сутки, когда длина эмбрионов опытной группы была больше таковой контрольной группы на 10,8%; 7,6% и 5,0%, соответственно. Вероятно, это обусловлено способностью красного спектра активизировать метаболизм и энергетические процессы, способствуя росту и развитию тканей. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения контролируемого освещения в инкубаториях для улучшения показателей роста и жизнеспособности молодняка птицы. Перспективы проведенного исследования заключаются в разработке новых технологических решений для оптимизации условий инкубации яиц индейки. Учитывая положительные эффекты воздействия красного спектра света на развитие эмбрионов, можно предположить, что внедрение управляемого освещения в инкубатории повысит производительность инкубации, увеличит жизнеспособность и однородность полученного поголовья.

OPTICAL EFFECT OF THE RED SPECTRUM ON THE LINEAR PARAMETERS OF TURKEY EMBRYOS DURING INCUBATION

Galiullina S.A.* – postgraduate student of the Department of Veterinary Medicine (ORCID 0009-0002-8601-689X); **Khokhlov**

R.Yu. – Doctor of Biology, Prof., Prof. of the Department of Veterinary Medicine (ORCID 0000-0003-3957-2375)
Penza State Agrarian University

*galiullina.s.a@pgau.ru

ABSTRACT

The relevance of the topic is determined by the growing scientific interest in the role of photobiological regulation of the processes of embryonic development of poultry. The red spectrum of visible light is able to influence the linear parameters of poultry embryos, the rate of organ formation and metabolism. Optimization of environmental factors, in particular lighting conditions, is becoming an important area of scientific research aimed at increasing the yield of healthy and viable offspring. Artificial egg incubation is widely used in modern farms, but traditional environmental control methods often ignore the influence of the lighting spectrum on the morphological and biochemical aspects of embryo development. Thus, an in-depth study of the effect of the red light spectrum on the growth and development of turkey embryos is relevant for practical implementation in modern technologies of industrial poultry breeding and increasing the economic efficiency of turkey meat production. The purpose of this work is to study the effect of the optical effect of the red spectrum on the linear length parameters of turkey embryos during incubation. The study is devoted to the analysis of the effect of red monochromatic light (wavelength 660 nm) on the growth of turkey embryos during embryonic development from 13 to 27 days. Embryo length measurements were performed on 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 and 27 days of incubation, which made it possible to track the dynamics of length changes under the influence of light exposure. According to the results of the study, it was determined that red monochromatic light had an effect on the length of turkey embryos on the 13th, 15th and 21st days of embryogenesis.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Влияние использования источников освещения различного типа в промышленном птицеводстве на продуктивные качества кур-несушек / О. Ю. Ежова, А. Я. Сенько, Ю. Ю. Астахова, В. Г. Борулько // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5(79). – С. 268-269. – EDN JHUSDU.
2. Дубровский, А. А. Использование светодиодного освещения с различной цветовой температурой при выращивании родительского стада птицы / А. А. Дубровский, В. В. Смирнова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4(63). – С. 188-195. – EDN TQKGCY.
3. Гладин, Д. В. Влияние пульсации освещенности при использовании современных источников света в птицеводстве / Д. В. Гладин, А. Ш. Кавтарашвили // Птица и птицепродукты. – 2021. – № 3. – С. 18-20. – DOI 10.30975/2073-4999-2021-23-3-18-20. – EDN LKSFKR.
4. Киселев, А. И. Светодиодное освещение цыплят - не всё так однозначно / А. И. Киселев // Наше сельское хозяйство. – 2023. – № 16(312). – С. 53-57. – EDN KHCVMS.
5. Ястребова, О. Н. Эффективность выращивания цыплят-бройлеров при использовании светодиодных ламп различного спектрального состава / О. Н. Ястребова, А. Н. Добудько, В. А. Сыровицкий // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – № 4(12). – С. 186-193. – EDN YULSAL.
6. Сиянова, И. В. Монохроматическое освещение в птичнике / И. В. Сиянова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 1(50). – С. 161-170. – DOI 10.31677/2072-6724-2019-50-1-161-170. – EDN TLDCJR.
7. Гудкин, А. Монохроматическое освещение для содержания молодняка яичных кур / А. Гудкин, И. Сиянова // Птицеводство. – 2011. – № 7. – С. 15-16. – EDN OPVVWL.
8. Челнокова, М. И. Закономерности ро-

ста эмбрионов кур яичного кросса "ломанн браун" в разные периоды эмбриогенеза при красном светодиодном освещении яиц во время инкубации / М. И. Челнокова, Ф. И. Сулейманов, А. А. Челноков // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2(35). – С. 45-56. – EDN UBAGYU.
9. Челнокова, М. И. Особенности роста эмбрионов кур яичного кросса «ломанн браун» в разные периоды эмбриогенеза при красном светодиодном освещении яиц во время инкубации / М. И. Челнокова, Ф. И. Сулейманов, А. А. Челноков // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика : Сборник трудов всероссийской (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. 237-241. – EDN VKMYEA.

REFERENCES

1. The influence of the use of lighting sources of various types in industrial poultry farming on the productive qualities of laying hens / O. Yu. Ezhova, A. Ya. Senko, Yu. Yu. Astakhova, V. G. Borulko // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. – 2019. – № 5(79). – PP. 268-269. – EDN JHUSDU.
2. Dubrovsky, A. A. The use of LED lighting with different color temperatures in the cultivation of the parent flock of birds / A. A. Dubrovsky, V. V. Smirnova // Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. – 2020. – № 4(63). – PP. 188-195. – EDN TQKGCY.
3. Gladin, D. V. The influence of light pulsation when using modern light sources in poultry farming / D. V. Gladin, A. S. Kavtarashvili // Poultry and poultry products. - 2021. – №. 3. – PP. 18-20. - DOI 10.30975 / 2073-4999-2021-23-3-18-20. – EDN LKSFKR.
4. Kiselev, A. I. LED lighting of chickens is not so clear / A. I. Kiselev // Our agriculture. – 2023. – № 16(312). – PP. 53-57. – EDN KHCVMS.
5. Yastrebova, O. N. Efficiency of broiler chicken rearing using LED lamps of various spectral composition / O. N. Yastrebova, Dobudko A. N., Syrovitsky V.A. Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2016. – № 4(12). – PP. 186-193. – EDN YULSAL.
6. Siyanova, I. V. Monochromatic lighting in the poultry house / I. V. Siyanova // Bulletin of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). – 2019. – № 1(50). – PP. 161-170. – DOI 10.31677 / 2072-6724-2019-50-1-161-170. – EDN TLDCJR.
7. Gudkin, A. Monochromatic lighting for keeping young egg chickens / A. Gudkin, I. Siyanova // Poultry farming. – 2011. – № 7. – PP. 15-16. – EDN OPVVWL.
8. Chelnokova M. I. Patterns of embryo growth in Lohmann Brown egg cross chickens during different periods of embryogenesis under red LED lighting of eggs during incubation / M. I. Chelnokova, F. I. Suleymanov, A. A. Chelnokov // Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. – 2021. – № 2(35). – C. 45-56. – EDN UBAGYU.
9. Chelnokova, M. I. Features of embryo growth of Lohmann Brown eggcross chickens in different periods of embryogenesis under red LED lighting of eggs during incubation / M. I. Chelnokova, F. I. Suleymanov, A. A. Chelnokov // Morphology in the XXI century: theory, methodology, practice: Proceedings of the All-Russian (national) scientific and Practical Conference conferences, 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. 237-241. – EDN VKMYEA.

УДК: 636.4.084.639
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.311

ВЛИЯНИЕ ДЕГИДРАТИРОВАННОГО И ОБОГАЩЁННОГО АМИНОКИСЛОТАМИ ДИАТОМИТА НА ГОМЕОСТАЗ И МЕТАБОЛИЗМ У ПОДСВИНКОВ

Дежаткина С.В.[2*] – д-р биол. наук, доц., зав. каф. морфологии и физиологии, кормления, разведения и частной зоотехнии (ORCID 0000-0001-5573-0383); **Дежаткин М.Е.**[2] – канд. тех. наук, доц. каф. эксплуатации мобильных машин и технического оборудования (ORCID 0009-005-0453-9841); **Зирук П.В.**[2] – соис. каф. морфологии и физиологии, кормления, разведения и частной зоотехнии (ORCID 0009-0004-7430-6333); **Копчекчи М.Е.**[1] – канд. ветеринар. наук, доц. каф. морфологии, патологии животных и биологии (ORCID 0000-0002-2593-7022); **Копчекчи К.А.**[1] – студ. 5 курса специальности ветеринария (ORCID 0000-0002-8073-1553)

[1] ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова
[2] ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ им. П.А. Столыпина

[*]dsw1710@yandex.ru

Ключевые слова: *свиньи, кровь, печень, диатомит, аминокислоты, гомеостаз, метаболизм, кормовые добавки, эритроциты, гемоглобин, ферменты, общий белок.*

Key words*: pigs, blood, liver, diatomite, amino acids, homeostasis, metabolism, feed additives, erythrocytes, hemoglobin, enzymes, total protein.*

Финансирование: *Материалы подготовлены в рамках научно-исследовательской работы соискателя.*

Поступила: 28.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Важнейшим направлением развития современного АПК является увеличение продуктивности сельскохозяйственных животных. Научные работники сферы животноводства активно занимаются поиском действенных российских кормовых добавок, способных регулировать пищеварительные процессы, метаболизм и, как следствие, продуктивность животных. Одной из важнейших задач данной отрасли является разработка и апробация кормовых добавок. Особое внимание в научных исследованиях уделяется разработке и тестированию кормовых добавок на основе дегидратированных и обогащенных аминокислотами диатомитов для подсвинков. Производственные испытания и физиологические опыты проведены на 900 свиньях ООО «Агрофирмы «Рубеж» в Саратовской области. В рацион животных опытных групп добавляли 2 и 3 % от сухого вещества рациона дегидратированный диатомит, обогащённый натуральными аминокислотами «ВитаАмин». В услови-

ях ФГБОУ ВО Вавиловский университет были проведены гематологические и биохимические исследования, гистологический и морфометрический анализ образцов печени подсвинков. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии негативного влияния изучаемой добавки. Установлено, что применение добавки приводит к нормализации гомеостаза и усилению метаболизма в организме свиней. Это подтверждается повышением эритропоэза, интенсивности белкового обмена, активности ферментов переаминирования, улучшением структуры печени и морфологического состояния гепатоцитов. Наибольший эффект наблюдали при скармливании добавки в дозе 2 % от СВ рациона.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION. Одним из важнейших условий обеспечения эффективного производства высококачественной свинины является выращивание животных, обладающих крепким костяком и высоким иммунитетом [1, 3-4, 17-18]. Это связано с поступление в организм свиней полноценного корма, богатого минеральными элементами, аминокислотами и витаминами [2, 5-7]. Многочисленные исследования [9-10, 14, 19] свидетельствуют о том, что необходимым условием обеспечения высокой продуктивности и нормальной метаболической функции организма сельскохозяйственных животных является введение в их рацион в биологически усвояемой форме макро- и микроэлементов, витаминов. Больший интерес для решения этой проблемы вызывают использование природных кремнийсодержащих минералов: алюмосиликатов, цеолитов, диатомитов, бентонитов, трепела и пр., обладающих свойствами ионнообменников, адсорбентов, молекулярных сит и катализаторов процессов в организме [8, 11-12, 15-16]. Научный поиск направлен на разработку и испытание кормовых добавок на основе дегидратированного диатомита, обогащённого аминокислотами для свиней.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Поставленная задача решалась посредством разработки и создания кормовой добавки для нормализации метаболизма у свиней, включающей дегидратированный диатомит и аминокислотный комплекс «ВитаАмин», воду при следующем соотношении компонентов, мас. % (табл. 1).

Карьерный диатомит представляет собой мягкую лёгкую тонкопористую породу из окаменевших раковинок диатомовых водорослей (размер створок от 0,005 до 0,2 мм) створки имеют размеры отдельных частей порядка 100 нм и обладают нанопористой поверхностью, что позволяет диатомит считать наноструктурированным природным материалом. Диатомит обладает низкой плотностью, высокой адсорбционной способностью, химической стойкостью, высокой удельной поверхностью, не слеживается, легко диспергируется. Диатомиты Шарловского месторождения Ульяновской области характеризуются высоким содержанием (96 %) водного кремнезёма (опала), большая часть которого представлена аморфным кремнием, не содержат тяжелых металлов и радионуклидов, металломагнитных примесей.

Нативное сырьё в производственных условиях подвергли разной степени дегидратации, применяя термомеханический способ, в результате на выходе получили дегидратированный диатомит, без посторонних примесей и жидкостей, термо- и кислотоустойчивый активный материал, который стал носителем кормовой добавки. В состав дегидратированного диатомита входят: SiO_2 - 74,85 %; Al_2O_3 - 5,85 %; CaO - 2,87 %; K_2O - 1,16 %; Fe_2O_3 - 2,97 %; FeO - 0,12 %; MgO - 0,78 %; Na_2O - 0,43 %; TiO_2 - 0,62 %; MnO - 0,022 %; P_2O_5 - 0,11 %.

В качестве наполнителя мы использовали аминокислотный комплекс «ВитаАмин», который представляет собой гидролизат крови продуктивных животных и включает 17 аминокислот: аспарагиновую кислоту, глутаминовую кислоту, серин, гистидин, глицин, треонин, аргинин, аланин, тирозин, цистин, валин, метионин, фенилаланин, изолейцин, лейцин, лизин, пролин. Доля общего белка

составляет 35…37 %. А также включает витамины: А (ретинол) - 8 300±2 000 МЕ/л, D_3 (колекальциферол) - 510 000±120 000 МЕ/л, B_1 (тиамин) - 4,31±0,26 г/л, B_2 (рибофлавин) - 3,2±0,26 г/л, Е (токоферол) - 3,5±0,5 г/л. Для технического процесса ферментации использовались ферменты натурального происхождения, в результате комплекс сохраняет из сырья все аминокислоты и пептиды, хорошо растворяется в воде, безупречный в гигиеническом отношении, безвреден для человека, растений и животных. Аминокислоты имеют высокую биологическую активность, быстро всасываются в пищеварительном тракте, синергизм на ультрамолекулярном уровне с диатомитом способствует усвоению составных минеральных элементов диатомита. Производитель аминокислот - фирма «Семирамида», г. Москва РФ.

Научно-производственный эксперимент организовали в условиях ООО Агрофирма «Рубеж» Пугачевского района Саратовской области. Объектом исследования выбрали подсвинков крупной белой породы 3…7 месяцев. Сформировали три группы в каждой по 300 голов. Первая группа служила контрольной, а две другие – опытными. Для физиологического эксперимента в каждую группу отбирали по 15 свиней-аналогов, учитывая их породу, живую массу, возраст и продуктивность. Подсвинкам опытных групп ежедневно вводили в рацион добавку - дегидратированный диатомит, обогащенный аминокислотным комплексом «ВитаАмин» в количестве 2 и 3 % от сухого вещества рациона, согласно представленным данным в таблице 2.

Таблица 1 – Состав кормовой добавки

Компоненты	мас. %
диатомит дегидратитрованный	93,5
аминокислотный комплекс «ВитаАмин»	0,5
отфильтрованная вода	6,5

Таблица 2 – Схема опыта

Наименование	1-группа контроль	2-группа опыт	3-группа опыт
Количество подсвинков, гол	300	300	300
Условия кормления	ОР	ОР+КД 2 % от СВ	ОР+ КД 3 % от СВ
Продолжительность опыта, дн.	120	120	120

Во время опыта все животные содержались в стандартных условиях агрофирмы. Рацион контрольной и опытной группы был представлен комбикормом агрофирмы (ОР), сбалансированным по всем питательным веществам, но имел недостаток по отдельным макро- и микроэлементам (Cu, Zn, Mn, Fe и др.).

В ходе работы нами были проанализированы гематологические и биохимические показатели у животных. Для исследования состава крови забор крови у свиней осуществляли из ярёмной вены: в начале, середине и в конце опыта. В конце эксперимента осуществлялся контрольный убой с целью забора образцов для морфологического анализа. Морфобиохимические исследования крови свиней проводили на специализированном оборудовании в лаборатории кафедры «Морфология, патология животных и биология» и ветеринарной клиники ФГБОУ ВО «Вавиловский университет». Изучение морфологических препаратов проводили в несколько этапов: обезвоживание и уплотнение материалов, изготов-

ление срезов с помощью микротома, окраска гематоксилином и эозином, консервация и электронная микроскопия.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

На протяжении эксперимента в контрольной и опытных группах отрицательных изменений обнаружено не было, все изучаемые показатели находились в референсных значениях, и соответствовали физиологической и возрастной норме (табл. 3).

В начале опытного периода концентрация эритроцитов у подсвинков всех подопытных групп находилась в пределах стабильных значений, соответствовала 7,6…7,8*1012/л (рис. 1). К концу эксперимента отмечали положительную динамику роста показателя красной крови и к концу опыта, у подсвинков 8 месячного возраста число эритроцитов повысилось до значений 7,4±0,02 и 7,7±0,06 *1012/л, что на 19,3 % в 1-ой опытной группе и на 24,1 % во 2-ой опытной группе, по сравнению с контролем.

Таблица 3 – Показатели морфо-биохимического профиля крови подсвинков

Показатели	Возраст подсвинков								
	4 мес.			6 мес.			8 мес.		
	Группы								
	Контроль	1-я опытная	2-я опытная	Контроль	1-я опытная	2-я опытная	Контроль	1-я опытная	2-я опытная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Эритроциты, $*10^{12}$/л	7,6± 0,06	7,5± 0,11	7,8± 0,03	7,8± 0,07	7,3± 0,02	7,7± 0,05	6,2± 0,07	7,4± 0,02	7,7± 0,06
Гемоглобин, г/л	118± 0,49	130± 0,83*	125,1±0 ,63*	117,0 ± 0,45	132± 0,71	128,9±0 ,61*	103± 0,64	135± 0,83*	133,0± 0,93*
Гематокрит, %	48,7± 0,67	50,0± 0,65	51,0± 0,42*	44,1± 0,69	63,1± 0,71*	67,2± 0,83*	47,9± 0,71	67,1± 0,73*	68,6± 0,65*
Лейкоциты, $*10^{9}$/л	23,8± 0,21	18,7± 0,17	17,7± 0,21	22,0± 0,15	15,8± 0,16*	17,0± 0,17*	19,8± 0,17	15,5± 0,19*	16,9± 0,13*
Креатинин, ммоль/л	90,5± 0,64	87,0± 0,82	84,6± 0,53	86,6± 0,67	88,2± 0,61	81,8± 0,53	101± 0,64	107± 0,65	108,0± 0,87*
Мочевина, ммоль/л	4,1± 0,02	3,7± 0,08	3,1± 0,03	5,7± 0,09	5,8± 0,10	5,9± 0,02	5,2± 0,07	5,6± 0,08	5,7± 0,02
Общ. белок, г/л	68,1± 0,66	60,8± 0,69	59,7± 0,51	70,1± 0,88	71,2± 0,97	70,6± 0,84	72,4± 0,86	69,0± 0,67	70,4± 0,59

*Примечание: * p≤ 0,05 по сравнению с контролем.*

Это указывает на усиление процесса эритропоэза и подтверждается динамикой гемоглобина и гематокрита, которая у подсвинков опытных групп при добавлении в их рацион испытуемой добавки шла в сторону повышения. Так уровень гемоглобина в крови молодняка 1-й опытной группы увеличился на 30,3 %, во 2-й - на 28,4 % при p<0,05 по сравнению с аналогами, показатель гематокрита также достоверно возрастал до значений 67,1±0,73 и 68,6±0,65 (p<0,05) %. Повышение количества красных кровяных телец, концентрации гемоглобина и уровня гематокрита приводит к улучшению кислородной емкости крови и к более эффективному

снабжению тканей кислородом, тем самым способствую более интенсивному течению обмена веществ. Данный факт указывает на то, что применение дегидратированного диатомита, обогащённого аминокислотами «ВитАмин» в дозе 2 и 3 % от сухого вещества рациона не оказывает отрицательного воздействия на морфологические показатели крови молодняка свиней и напротив, способствует поддержанию гомеостаза в их организме и усилению окислительно-восстановительных процессов, способствующих повышению дыхательной функции крови.

В специфической и неспецифической защите организма от внешних и внутренних патогенных агентов ведущая роль принадлежит лейкоцитам. На протяжении эксперимента наблюдали стабильное количественное содержание лейкоцитов в крови животных. Исследуемые показатели приведены на рисунке 2.



*Рисунок 1 – Количество эритроцитов в крови подсвинков, *10^{12}/л.*

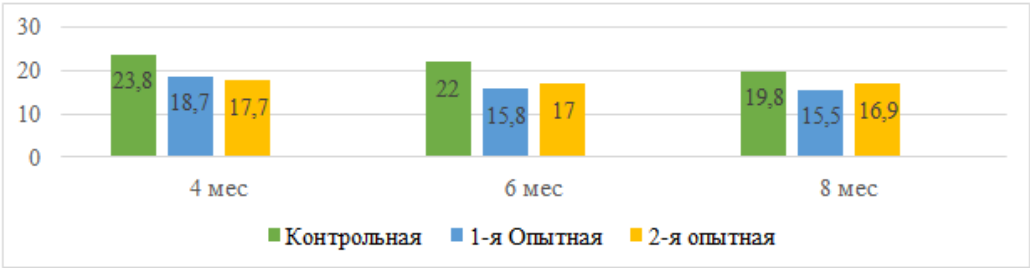


*Рисунок 2 – Количество лейкоцитов в крови подсвинков, *109/л.*

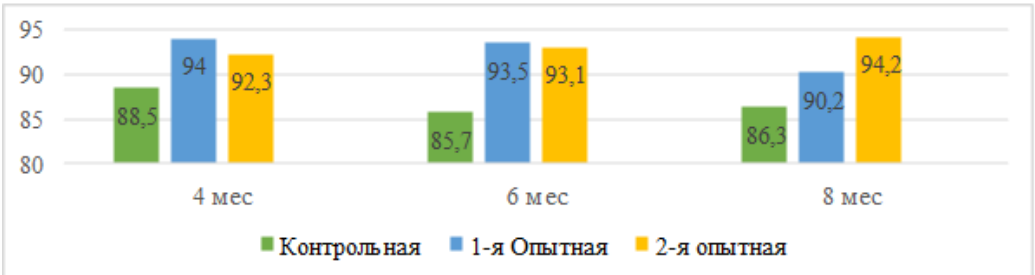


Рисунок 3 – Количество АСТ в крови подсвинков исследуемых групп, ед/л.

Представленные данные свидетельствуют о том, что на фоне исследуемой добавки происходили изменения в сторону снижения общего количества лейкоцитов у животных опытных групп до уровня нормативных значений. Так в контрольной группе содержание лейкоцитов было выше физиологической нормы и составило в 4 мес. возрасте подсвинков 23,8±0,21*10^9/л, в 6 мес. - 22,0±0,15*10^9/л и в 8 мес. - 19,8±0,17*10^9/л. Скармливание диатомитовой добавки способствовало приведению к норме данного показателя у животных опытных групп, что свидетельствует о регуляции гомеостаза и поддержания общей резистентности их организма.

Аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспартатаминотрансфераза (АСТ) представляют собой два эндогенных фермента, отражающих функциональное состояние организма. Эти энзимы, присутствующие в различных тканях, в особенности в печени, сердце и мышцах, играют ключевую роль в метаболизме аминокислот. В ходе анализа активности данных ферментов было установлено, что их значение было стабильным, соответствовало физиологической норме для животных данной возрастной группы (рис. 3 и 4), что говорит о усилении процессов переаминирования аминокислот и повышении интенсивности белкового обмена. У подсвинков 4 мес. возраста опытных групп соответственно отмечали повышение активности фермента белкового обмена АСТ на 6,21 и 4,3 %; у животных 6 мес. – на 9,1 и 8,63 % ($p<0,05$); у молодняка свиней 8 мес. – на 4,52 и 9,15 % ($p<0,05$) по сравнению с контролем.

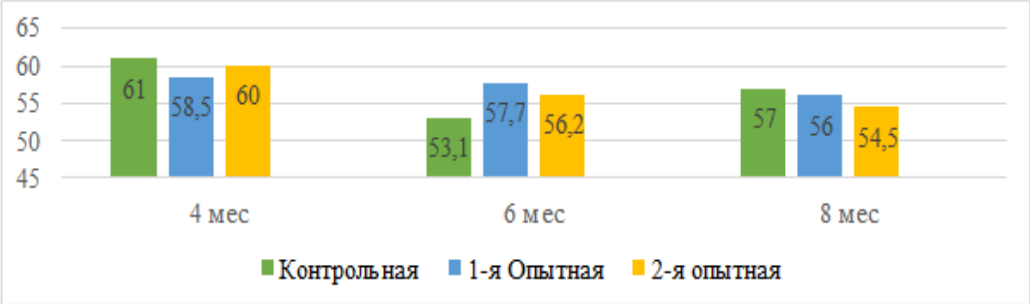


Рисунок 4 – Количество АСТ в крови подсвинков исследуемых групп, ед/л.

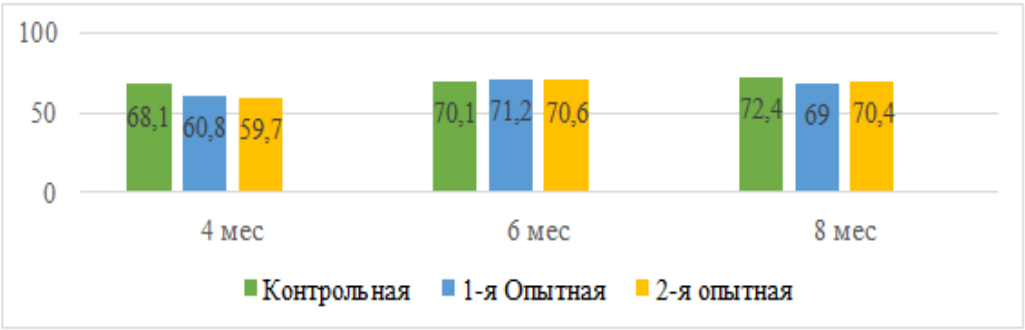


Рисунок 5 – Концентрация общего белка в сыворотке крови подсвинков исследуемых групп, г/л.

Из рисунка 4 видно, что динамика АЛТ под влиянием применения дегидратированного диатомита, обогащённого аминокислотами для подсвинков, шла в сторону: снижения в 4 мес. возрасте на 4,1 и 1,64 %; повышения в 6 мес. - на 8,66 и 5,84 % ($p<0,05$); уменьшения активности в 8 мес. - на 1,75 и 4,39 % относительно контроля.

Эффективность энергетического метаболизма и азотистого баланса в организмах животных находится в прямой зависимости от концентраций креатинина и мочевины в сыворотке крови. Так, на протяжении опытного периода изучаемые показатели находились на границе физиологической и возрастной нормы. В начале опытного периода концентрация креатинина и мочевины в сыворотке крови животных опытных групп в среднем составляла 87,3±0,71 ммоль/л и 3,6±0,04 ммоль/л, соответственно. К концу эксперимента наблюдали увеличение показателей креатинина и мочевины в исследуемых группах, но они также находились в пределах нормы согласно возрасту, и составили 105,5±0,72 ммоль/л и 5,5±0,05 ммоль/л. Анализируемые данные свидетельствуют о стабильном функциональном состоянии почек подсвинков и повышение их мышечной массы при включении добавки в рацион молодняка.

Определение концентрации общего белка в сыворотке крови служит важным индикатором, отражающим интенсивность процессов роста в организме животных. На величину данного показателя влияют различные факторы: кормление животных, уровень содержания, видовые и породные особенности. На протяжении эксперимента мы наблюдали достаточно стабильные показатели общего белка в сыворотке крови, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния изучаемой кормовой добавки на данный показатель гомеостаза. Исследуемые данные приведены на рисунке 5.

Анализ морфологических и морфометрических данных печени подсвинков подопытных групп показал, что масса их печени после убоя в 6-и и 8-и месячном возрасте заметно увеличилась (табл. 4.).

Средняя масса печени у животных контрольной и опытных групп в возрасте 8-и месяцев имела различия. Так, масса печени животных 1-ой опытной группы была выше на 18,4 % ($p<0,05$), животных 2-ой опытной группы на 11,6 % ($p<0,05$), по сравнению с аналогами в 1-й группе. Оценка морфологического строения печени подсвинков на протяжении всего опытного периода показала отсутствие отклонений в структуре органа. Так, у подсвинков групп с добавлением в рацион дегидратированного и обогащённого аминокислотами диатомитом паренхима печени была лучше развита, в виде многогранных долек. Балки долек направлены прямолинейно к центральным венам, гепатоциты шестигранной формы, их структура не изменена. Междольковые триады хорошо визуализируются, их стенки четкие. В то время у подсвинков контроля отмечали декомплексацию балок, триады междольковой соединительной ткани нечёткие, их стенки деформированы. Гепатоциты у животных 1-й группы были сформированы небольшими группами, их ядра локализованы ближе к стенке, перисинусоидальное пространство больше развито, чем площадь клеток. У животных групп с применением 2 и 3 % добавки границы гепатоцитов были более чёткие, перисинусоидальное пространство минимально. Ядра округлой формы, централизованы, их кариолемма четкая. У интактных животных внеклеточный матрикс недостаточно развит. Интерпретация морфометрические параметров паренхимы печени у животных в период опыта показала, что радиус от центральной вены до стенки дольки у подсвинков к 8-и месячному возрасту варьировал: в контроле до 37,54±0,71 мкм, в 1-й опытной группе – до 42,14±0,78 мкм, во 2-ой – до 42,07±0,63 ($p<0,05$). Следовательно, морфометрические параметры паренхимы печени у подсвинков 1-й и 2-й опытных групп к концу исследования были выше аналогов на 10,1 и 12,9 %($p<0,05$). Исходя из выше представленных данных следует,

что применение в кормлении подсвинков кормовой добавки, включающей дегидратированный диатомит и аминокислотный комплекс «ВитаАмин», оказывает положительное влияние на структуру печени молодняка свиней и способствует более интенсивному течению метаболических процессов в их органиме.

Таблица 4 – Показатели веса печени подсвинков после убоя

Орган	8 мес.		
	Контроль	1-я опытная	2-я опытная
Печень, г	1558,52±9,55	1845,23±16,11*	1740,55±11,31*

*Примечание: * p≤ 0,05 по сравнению с контролем.*

ВЫВОДЫ / CONCLUSION. Включение в рацион подсвинков дегидратированного диатомита, обогащённого аминокислотами «ВитаАмин» в дозировке 2 и 3 % от сухого вещества рациона не оказывает отрицательного влияния на морфологический и биохимический состав их крови, напротив нормализует гомеостаз и усиливает процессы метаболизма. Это подтверждается повышением эритропоэза, интенсивности белкового обмена, активности ферментов переаминирования, улучшением структуры печени и морфологического состояния гепатоцитов. Наибольший эффект наблюдали при скармливании добавки в дозе 2 % от СВ рациона.

THE EFFECT OF DEHYDRATED AND AMINO ACID-ENRICHED DIATOMITE ON HOMEOSTASIS AND METABOLISM IN PIGGIES

Dezhatkina S.V.[2]* – Doctor of Biology, Associate Professor, Head of the Department of Morphology and Physiology, Feeding, Breeding and Private Animal Husbandry (ORCID 0000-0001-5573-0383); **Dezhatkin M.E.**[2] – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Mobile Machines and Technical Equipment (ORCID 0009-005-0453-9841); **Ziruk P.V.**[2] – candidate of the Department of Morphology and Physiology, feeding, breeding and Private Animal Husbandry (ORCID 0009-0004-7430-6333); **Kopchekchi M.E.**[1] – PhD, Associate Professor of the Department of Morphology, Animal Pathology and Biology (ORCID 0000-0002-2593-7022); **Kopchekchi K.A.**[1] – 5th year student of the specialty of veterinary medicine (ORCID 0000-0002-8073-1553)

[1] FSBEI VO FSBEI Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

[2] Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

*dsw1710@yandex.ru

ABSTRACT

The most important direction in the development of the modern agro-industrial complex is to increase the productivity of farm animals. Animal husbandry researchers are actively searching for effective Russian feed additives capable of regulating digestive processes, metabolism and, as a result, animal productivity. One of the most important tasks of this industry is the development and testing of feed additives. Special attention in scientific research is paid to the development and testing of feed additives based on dehydrated and amino acid-enriched diatomites for piglets. Production tests and physiological experiments were conducted on 900 pigs of LLC Agrofirma Rubezh in the Saratov region. Dehydrated diatomite enriched with natural amino acids "VitaAmin" was added to the diet of animals of the experimental groups, 2 and 3 % of the dry matter of the diet. Hematological and biochemical studies, histological and morphological examinations were carried out at the Vavilov University.

Hematological and biochemical studies, histological and morphometric analysis of piglet liver samples were carried out at the Vavilov University. The data obtained indicate that there is no negative effect of the studied additive. It has been established that the use of the supplement leads to normalization of homeostasis and increased metabolism in pigs. This is confirmed by an increase in erythropoiesis, the intensity of protein metabolism, the activity of transamination enzymes, an improvement in liver structure and the morphological state of hepatocytes. The greatest effect was observed when the supplement was fed at a dose of 2% of the total diet.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Улитько В.Е. Биодобавки нового поколения в системе оптимизации питания и реализации биоресурсного потенциала животных / В.Е. Улитько, Л.А. Пыхтина, О.А. Десятов, Ю.В. Семёнова, А.В. Корниенко, О.Е. Ерисанова, С.П. Лифанова, А.В. Бушов, А.Л. Игнатов, Н.И. Стенькин: монография. Ульяновск, 2015. - 512 с. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vldlet

2. Зирук И.В. Влияние пищевой добавки е415 на микроструктуру печени крыс / И.В. Зирук, Г.Е. Рысмухамбетова, К.Е. Белоглазова, М.Е. Копчекчи, А.А. Тарасова //Аграрная наука. - 2021. - № 10. - С. 14-16. Режим доступа: https://www.vetpress.ru/jour/article/view/1863

3. Копчекчи М.Е. Динамика роста и развития подсвинков в зависимости от количества аспарагинатов в их рацион / И.В. Зирук, М.Е. Копчекчи, А.В. Егунова, С.П. Скляров, П.В. Мирошниченко // Ветеринарный врач. - 2020. - № 4. - С. 20-25. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-rosta-i-razvitiya-podsvinkov-v-zavisimosti-ot-kolichestva-asparaginatov-v-ih-ratsiona

4. Копчекчи М.Е. Динамика накопления минеральных веществ в организме подсвинков / В.В. Салаутин, Г.П. Дёмкин, И.В. Зирук, А.В. Лукьяненко, А.В. Егунова, М.Е. Копчекчи // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. - 2017. - № 4.- С. 126-127. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30793488

5. Зирук, И.В. Изучение влияния хелатов на морфометрию гепатоцигов подсвинков / И.В. Зирук // Иппология и ветеринария. - 2019. - № 3 (33). - С. 112-116. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vvugsv

6. Зирук, И.В. Влияние комплекса хелатов на уровень резистентности и белковый обмен подсвинков / И.В. Зирук // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. - 2016.- С. 134-137. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26749967

7. Зялалов Ш.Р. Морфологический состав крови у поросят при добавлении обогащённого аминокислотами цеолита / Ш.Р. Зялалов, А.З. Мухитов // В сб.: Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве. Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием. Ульяновск, 2021. - С. 179-182. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45606407

8. Зялалов Ш.Р. Показатели азотистого обмена у молочных коров при использовании модифицированного и обогащённого аминокислотами цеолита / Ш.Р. Зялалов, Е.С. Салмина, Н.А. Феоктистова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2023. - № 3(63). – С. 90-96. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54665140

9. Зялалов Ш.Р. Влияние аминокислотного комплекса "ВИТААМИН" на биохимические показатели крови мышей / Ш.Р. Зялалов, М.А. Ильинская, Н.В. Шаронина, С.В. Дежаткина, А.З. Мухитов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2021. Т. 246. № 2. С. 88-93. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45847259

10. Зялалов Ш.Р. Изучение острой токсичности аминокислотного комплекса "ВИТААМИН" на лабораторных живот-

ных / Ш.Р. Зялалов, Н.В. Шаронина // В сб.: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2020. С. 287-290. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43101483
11. Зялалов Ш.Р. Эффективность производства молока путём введения в рацион коров Шарловского диатомита / Ш.Р. Зялалов, С.В. Дежаткина, В.А. Исайчев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2 (58). С. 191-196. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49161598
12. Зялалов Ш.Р. Разработка и приготовление кормовой добавки на основе технологически модифицированного и обогащённого цеолита / Ш.Р. Зялалов, И.М. Дежаткин, Н.В. Шаронина, М.Е. Дежаткин // В сб.: Наука и инновации в высшей школе. Материалы международной научно-практической конференции. Ульяновск, 2024. С. 117-127. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68632361
13. Короткий В.П. Применение кормовых добавок на основе хвои и диатомита в рационах телят / В.П. Короткий, О.А. Десятов, Ю.В. Семенова, Е.В. Савина, Л.А. Пыхтина, В.А. Рыжов // Зоотехния. – 2024. – № 2. – С. 10-15. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59991714
14. Фролов В.В. Морфология гастроцитов свиней под влиянием комплекса микроэлементов / В.В. Фролов, И.В. Зирук, А.В. Егунова, М.Е. Копчекчи // Морфология. - 2018. - Т. 153. - № 3. - С. 288-288а. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35593807
15. Дежаткин И.М. Обеспечение биологической безопасности молока путём добавления в рацион коров активированных и обогащённых агроминералов /И.М. Дежаткин, Ш.Р. Зялалов, Н.А. Феоктистова, Л.П. Пульчеровская, С.В. Мерчина, Н.А. Проворова //Национальная научно-практической конференция: Фундаментальные аспекты и практические вопросы современной микробиологии и биотехнологии. Ульяновск, 2022. - С. 278-289. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49917853
16. Дежаткин И.М. Влияние дегидратированного диатомита, обогащённого аминокислотами на физиолого-биохимический статус молочных коров / И.М. Дежаткин, О.А. Десятов, Ю.В. Семёнова, Л.П. Пульчеровская, Е.В. Савина, С.Н. Хохлова, А.В. Чурбанов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. - 2024. - Т. 257. - № 1. - С. 61-66. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63290192
17. Савина Е.В. Оптимизация микробиоценоза толстого отдела кишечника свиноматок посредством использования в рационе сорбционно-пробиотических добавок / Е.В. Савина, А.В. Корниенко, О.А. Десятов // В сб.: Аграрная наука и образование на современном этапе развития. Материалы XIII Международной научно- практической конференции, посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ. Ульяновск, 2023. - С. 424-431. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54497365
18. Савина Е.В. Использование местных природных сорбентов в кормлении свиноматок для коррекции процессов пищеварения, метаболизма и повышения их продуктивности / Е.В. Савина, О.А. Десятов, Л.А. Пыхтина, Ю.В. Семёнова // В сб.: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы XI Международной научно-практической конференции. Ульяновск, 2021. - С. 346-356. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46398424
19. Desyatov O.A. Productivity of cows, quality of their milk, and improvement of its technological properties as a result of including the biopinnular sorption–probiotic supplement in their diet / O.A. Desyatov, S.P. Lifanova, L.A. Pykhtina, O.E. Erisanova
// Russian Agricultural Sciences. - 2024. - Т. 50. - № 5. - С. 550-554. Режим доступа

https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80498200

REFERENS

1. Ulitko V.E. New generation dietary supplements in the system of optimizing nutrition and realizing the bioresource potential of animals / V.E. Ulitko, L.A. Pykhtina, O.A. Desyatov, Yu.V. Semenova, A.V. Kornienko, O.E. Yerisanova, S.P. Lifanova, A.V. Bushov, A.L. Ignatov, N.I. Stenkin: the monograph. Ulyanovsk, 2015. 512 p. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vldlet
2. Ziruk I.V. The effect of the food additive e415 on the microstructure of the rat liver / I.V. Ziruk, G.E. Rysmukhambetova, K.E. Beloglazova, M.E. Kopchekchi, A.A. Tarasova //Agricultural science. - 2021. - No. 10. - P. 14-16. URL: https://www.vetpress.ru/jour/article/view/1863
3. Kopchekchi M.E. Dynamics of growth and development of piglets depending on the amount of asparaginates in their diet / I.V. Ziruk, M.E. Kopchekchi, A.V. Egunova, S.P. Sklyarov, P.V. Miroshnichenko // Veterinarian, 2020. - No. 4. - P. 20-25. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-rosta-i-razvitiya-podsvinkov-v-zavisimosti-ot-kolichestva-asparaginatov-v-ih-ratsiona
4. Kopchekchi M.E. Dynamics of accumulation of mineral substances in the body of piglets / V.V. Salautin, G.P. Demkin, I.V. Ziruk, A.V. Lukyanenko, A.V. Egunova, M.E. Kopchekchi // Issues of regulatory regulation in veterinary medicine. - 2017. - No. 4.- P. 126-127. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30793488
5. Ziruk, I.V. Study of the effect of chelates on the morphometry of podvinkov hepatocytes / I.V. Ziruk // Hippology and veterinary medicine. - 2019. - № 3 (33). - Pp. 112-116. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vvugsv
6. Ziruk, I.V. The influence of the chelate complex on the level of resistance and protein metabolism of piglets / I.V. Ziruk // Young scientists in solving urgent problems of science. Materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists. - 2016.- pp. 134-137. URL URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26749967
7. Zialalov Sh.R. Morphological composition of blood in piglets with the addition of zeolite enriched with amino acids / Sh.R. Zialalov, A.Z. Mukhitov // In collection: Silicon and life. Siliceous rocks in agriculture. Materials of the National Scientific and Practical Conference with International participation. Ulyanovsk, 2021. - P. 179-182. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45606407
8. Zialalov Sh.R. Indicators of nitrogen metabolism in dairy cows using modified and amino acid-enriched zeolite / Sh.R. Zialalov, E.S. Salmina, N.A. Feoktistova //Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2023. - № 3(63). – P. 90-96. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54665140
9. Zialalov Sh.R. The influence of the amino acid complex "VITAAMIN" on the biochemical parameters of mouse blood / Sh.R. Zialalov, M.A. Ilyinskaya, N.V. Sharonina, S.V. Dezhatkina, A.Z. Mukhitov // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. - 2021. - Vol. 246. - No. 2. - P. 88-93. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45847259
10. Zialalov Sh.R. Study of acute toxicity of the amino acid complex "VITAAMIN" in laboratory animals / Sh.R. Zialalov, N.V. Sharonina // In: Agricultural science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them. Materials of the X International Scientific and Practical Conference. In 2 volumes. - 2020. - P. 287-290. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43101483
11. Zialalov Sh.R. Efficiency of milk production by introducing Sharlovsky diatomite into the diet of cows / Sh.R. Zialalov, S.V. Dezhatkina, V.A. Isaichev // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2022. - № 2(58). - P. 191-196. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49161598
12. Zialalov Sh.R. Development and preparation of feed additives based on technologically modified and enriched zeolite / Sh.R.

Zialalov, I.M. Dezhatkin, N.V. Sharonina, M.E. Dezhatkin // In: Science and Innovation in Higher Education. Materials of the international scientific and practical conference. Ulyanovsk, 2024. - P. 117-127. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68632361
13. Korotkiy V.P., Desyatov O.A., Semenova Yu.V., Savina E.V., Pykhtina L.A., Ryzhov V.A. The use of feed additives based on needles and diatomite in calf diets. - 2024. – No. 2. – P. 10-15. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59991714
14. Frolov V.V. Morphology of porcine gastrocytes under the influence of a complex of trace elements / V.V. Frolov, I.V. Ziruk, A.V. Egunova, M.E. Kopchekchi // Morphology. - 2018. - Vol. 153. - No. 3. - P. 288-288a. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35593807
15. Dezhatkin I.M. Ensuring the biological safety of milk by adding activated and enriched agrominerals to the diet of cows /I.M. Dezhatkin, Sh.R. Zialalov, N.A. Feoktistova, L.P. Pulcherovskaya, S.V. Merchina, N.A. Provorova //National Scientific and Practical Conference: Fundamental aspects and practical issues of modern microbiology and Biotechnology. Ulyanovsk, 2022. - P. 278-289. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49917853
16. Dezhatkin I.M. The effect of dehydrated diatomite enriched with amino acids on the physiological and biochemical status of dairy cows / I.M. Dezhatkin, O.A. Desyatov, Yu.V. Semenova, L.P. Pulcherovskaya, E.V. Savina, S.N. Khokhlova, A.V. Churbanov // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine.By E. Bauman. - 2024. - Vol. 257. - No. 1. - P. 61-66. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63290192
17. Savina E.V. Optimization of microbiocenosis of the large intestine of sows through the use of sorption-probiotic additives in the diet / E.V. Savina, A.V. Kornienko, O.A. Desyatov // In the collection: Agrarian science and education at the present stage of development. Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Ulyanovsk State Agrarian University. Ulyanovsk, 2023. - P. 424-431. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54497365
18. Savina E.V., Desyatov O.A., Pykhtina L.A., Semenova Yu.V. The use of local natural sorbents in feeding sows to correct digestive processes, metabolism and increase their productivity. // In: Agricultural science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them. Materials of the XI International Scientific and Practical Conference. Ulyanovsk, 2021. - pp. 346-356. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46398424
19. Desyatov O.A. Productivity of cows, quality of their milk, and improvement of its technological properties as a result of including the biopinnular sorption–probiotic supplement in their diet / O.A. Desyatov, S.P. Lifanova, L.A. Pykhtina, O.E. Erisanova // Russian Agricultural Sciences. - 2024. - Т. 50. - № 5. - С. 550-554. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80498200

УДК: 636.4.033:636.06
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.323

АНАТОМО-ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФАСЦИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЯГОДИЧНО-БЕДРЕННОЙ ОБЛАСТИ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Слесаренко Н.А. * – д-р биол. наук, проф. каф. анатомии и гистологии животных им. профессора А.Ф. Климова (ORCID 0000-0002-8350-5965); **Оганов Э.О.** – канд. ветеринар. наук, доц. каф. анатомии и гистологии животных им. профессора А.Ф. Климова (ORCID 0000-0003-1206-4397); **Широкова Е.О.** – канд. биол. наук, доц. каф. анатомии и гистологии животных им. профессора А.Ф. Климова (ORCID 0000-0003-4891-5405)

ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА им. К.И. Скрябина

* slesarenko2009@yandex.ru

Ключевые слова: *крупный рогатый скот, телята, скелетные мышцы, тазовая конечность, тазобедренный сустав, фасции, область бедра.*
Keywords: *cattle, calves, skeletal muscles, pelvic limb, hip joint, fascia, hip area*

Поступила: 17.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В статье представлены анатомо-топографические особенности мио-фасциальных образований ягодично-бедренной области у крупного рогатого скота, которые не отражены в доступной литературе. Показано, что глубокая бедренная фасция между подлежащими мышцами формирует свои фасциальные узлы, от которых вглубь отходят «межмышечные фасциальные пластины», представленные в виде перегородок из плотной соединительной ткани, проходящие между мышцами. Глубокая фасция бедра плотно облегает структуры бедра, и при этом, между её наружным и внутренним листами заключены ягодично-двуглавая, стройная и портняжная мышцы. Наружный лист глубокой фасции, с латеральной поверхности покрывает напрягатель широкой фасции бедра, срастается с поверхностью ягодично-двуглавой мышцы, а на границе с полусухожильной мышцей он формирует мощный каудо-латеральный фасциальный узел. Материалом для исследований служил секционный материал – тазовые конечности (n=10), отобранные от телят черно-пестрой голштинизированной породы, без внешних признаков патологий опорно-двигательного аппарата. Использовали методы тонкого макро- и микроанатомического препарирования под контролем бинокулярной лупы «Микромед HR 350 S», биомеханическое моделирование с последующим функциональным анализом изучаемых структур, а также изготовления замороженных распилов по Н. И. Пирогову. Полученные оригинальные данные целесообразно использовать в вопросах ветеринарно-санитарной экспертизы при морфологическом обосновании качества получаемого мясного сырья.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

На сегодняшний день очень важной задачей для обеспечения продовольственной безопасности России является именно обеспечение населения мясом, особенно говядиной. Мясное скотоводство является важнейшей отраслью АПК России, но для увеличения объемов общероссийского производства говядины до 3-5 млн. т. в год имеющегося поголовья крупного рогатого скота крупного рогатого скота недостаточно. На данный момент потребность населения в мясе удовлетворяется только на 39%, тогда как рекомендуемая норма составляет 82 кг в год на душу населения. Важно понимать, что имеющееся на сегодняшний день в России поголовье молочного стада может обеспечить население молоком, но не в состоянии обеспечить даже минимальные потребности в говядине. Поэтому важно развивать мясное скотоводство, что подтверждается зарубежным опытом решения данной проблемы. Вместе с тем, до настоящего времени не разработаны морфологические критерии для совершенствования методов ветеринарно-санитарной экспертизы мясной продукции у крупного рогатого скота, которые могут явиться базовыми при определении биологической ценности мяса.

В связи с вышеизложенным изучение анатомо-топографических особенностей мышц и их фасциальные взаимосвязи у крупного рогатого скота различных направлений продуктивности является одной из актуальных задач в области сравнительной анатомии и практической ветеринарии [1-7].

Исходя из вышеизложенного, цель настоящего исследования – установить анатомо-топографические взаимосвязи фасциальных образований в ягодичной и бедренной областях у крупного рогатого скота и оценить функциональную значимость изучаемых структур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования выполнены на кафедре анатомии и гистологии животных им. профессора А.Ф. Климова ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина». Материалом для исследований служил секционный материал – тазовые конечности (n=10), отобранные от телят черно-пестрой голштинизированной породы, без внешних признаков патологий опорно-двигательного аппарата. Использовали методы тонкого макро- и микроанатомического препарирования под контролем бинокулярной лупы «Микромед HR 350 S», биомеханическое моделирование с последующим функциональным анализом изучаемых структур, а также изготовления замороженных распилов по Н. И. Пирогову [8-12].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате проведенных исследований, нами установлено, что под поверхностной фасцией, на тазовой конечности, в ягодичной, бедренной областях и на голени, располагается соответственно глубокая ягодичная и глубокая бедренная фасции, а также глубокая фасция голени (Д). Между листами глубокой фасции заключены ягодично-двуглавая мышца бедра, портняжная и стройная мышцы, формирующие «третий – мышечный пласт», а в промежутках между этими мышцами – его фасциальные листы также формируют «фасциальные узлы».

Мышцы, действующие на тазобедренный сустав расположены в ягодичной и бедренной областях. Они представлены мощными и крупными мышцами заднебедренной группы разгибателей тазобедренного сустава, ягодичной группой мышц, мышцами – сгибателями, а также – абдукторами и аддукторами, супинаторами и пронаторами данного сустава.

В состав заднебедренной группы мышц входят ягодично-двуглавая, полусухожильная, полуперепончатая и квадратная мышцы, которые формируют каудо-латеральный и каудальный контур бедра. Мышцы этой группы действуют на тазобедренный, коленный и заплюсневый суставы. Согласно литературным источникам, ягодично-двуглавая мышца, у большинства парнокопытных сформиро-

вана за счёт слияния двуглавой мышцы бедра и поверхностной ягодичной мышцы в одну мышцу, занимающую большую часть ягодичной, каудолатеральную часть бедренной областей и покрывает голень на ее латеральной поверхности.

Среди ягодичных мышц, средняя и добавочная ягодичные мышцы послойно расположены в краниальной половине ягодичной области. Глубокая ягодичная мышца имеет две части – подвздошную (краниальная) и седалищную (каудальная), расположенную под средней и добавочной ягодичными мышцами.

С целью уточнения и подтверждения полученных данных, мы произвели распилы замороженных тазовых конечностей в ягодичной и бедренной областях в сегментальной и фронтальной плоскостях, по методу Пирогова.

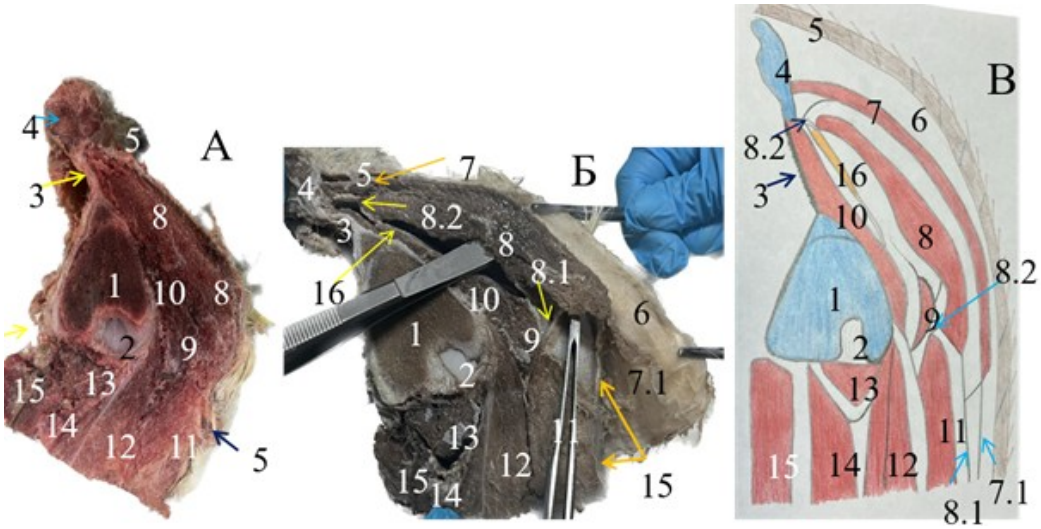


Рисунок 1 – Макропрепарат и схема поперечного распила в ягодичной области левой конечности у телёнка: А – оригинальный сегментальный распил ягодично-бедренной области; Б – то же, но фиксированный и отпрепарированный препарат; В – то же, схема распила: 1 – подвздошная кость; 2 – головка бедренной кости (внутри тазобедренного сустава) 3 – крестцово-седалищная связка (широкая тазовая связка); 4 – пятый крестцовый позвонок; 5 – кожа; 6 – поверхностная ягодичная фасция; 7 – ягодичн-хвостобедренная часть ягодично-двуглавой мышцы; 7.1 – глубокая ягодично-бедренная фасция; 8 – средняя ягодичная мышца; 8.1 – напрягатель фасции бедра; 8.2 – «сухожильная пластина»; 9 – добавочная ягодичная мышца; 10 – глубокая ягодичная мышца; 11 – латеральная головка; 12 – прямая головка; 13 – медиальная головка; 14 – промедуточная головка четырёхглавой мышцы бедра; 15 – портняжная мышца; 16 – седалищный нерв.

Ягодичная область у крупного рогатого скота представляет особый интерес, так как в ветеринарной практике большинство внутримышечных инъекций производится именно в этой области.

На сегментальном распиле ягодичной области (рис. 1), установлено, что кожа (5) достаточно плотно соединяется с поверхностной фасцией (6), которая отделяется от глубокой ягодичной фасции межфасциальным пространством, заполненным тонким слоем рыхлой соединительной ткани. Ягодично-двуглавая мышца заключена между листами глубокой фасции (7). В краниальном направлении (в краниальной ягодичной области) мышца

продолжается в свою фасциальную часть (в глубокую ягодичную фасцию), которая срастается с перимизием средней ягодичной мышцы (8).

Средняя ягодичная мышца в дистальном направлении своим перимизием срастается с напрягателем широкой фасции бедра (8.1), а медиально со средней и добавочной ягодичными мышцами формируя *«сухожильную пластину»* (8.2), которая закрепляется на кранио-латеральном гребне подвздошной кости. Грушевидная мышца срастается со средней ягодичной мышцей, поэтому как самостоятельная мышца не выделяется. Под средней ягодичной мышцей проходит мощный «седалищный нерв» (16), а под ним, непосредственно на латеральной поверхности кости, в области седалищной ости,лежит глубокая ягодичная мышца (10).

С целью уточнения взаиморасположения и определения взаимосвязи фасций и фасциальных узлов бедренной области между собой, нами выполнен поперечный распил замороженной левой тазовой конечности телёнка на уровне проксимальной трети бедра (рис.2), на котором хорошо визуализируются мышцы и соединительнотканные структуры.

Так, снаружи бедро покрыто кожей с волосяным покровом (14). С ней, посредством тонкой подкожной клетчатки соединяется поверхностная фасция бедра (15), которая на кранио-медиальном и каудо-медиальном краях бедра раздваивается на медиальную фасцию бедра и фасцию живота. В свою очередь, последняя отдаёт поверхностную фасцию вымени.

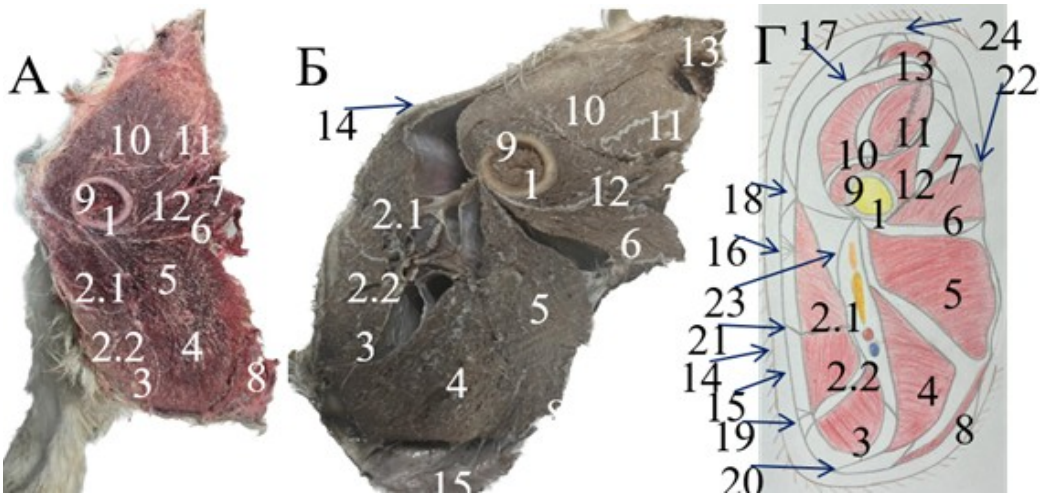


Рисунок 2 – Макропрепарат распила левого бедра телёнка на уровне её верхней трети: А – оригинальный распил бедра со стороны конечности; Б – тоже, фиксированный и отпрепарированный препарат; В – схема структур в области распила: 1 – бедренная кость; 2 – ягодично-двуглавая мышца; 2.1 – её позвоночная и 2.2 – седалищная головки; 3 – полусухожильная мышца; 4 – полуперепончатая мышца; 5 – приводящая мышца; 6 – гребешковая мышца; 7 – портняжная мышца; 8 – стройная мышца; 9 – промежуточная, 10 – латеральная, 11 – прямая, 12 – медиальная головки четырёхглавой мышцы бедра; 13 – мышечное брюшко напрягателя широкой фасции бедра; 14 – кожа; 15 – поверхностная фасция; 16 – латеральный фасциальный узел; 17 – широкая фасция бедра; 18 – латеро-краниальный фасциальный узел; 19 – каудо-латеральный фасциальный узел; 20 – каудальный фасциальный узел; 21 – латеро-каудальный фасциальный узел; 22 – медиальный фасциальный узел; 23 – срединная межмышечная фасциальная пластина; 24 – краниальный фасциальный узел.

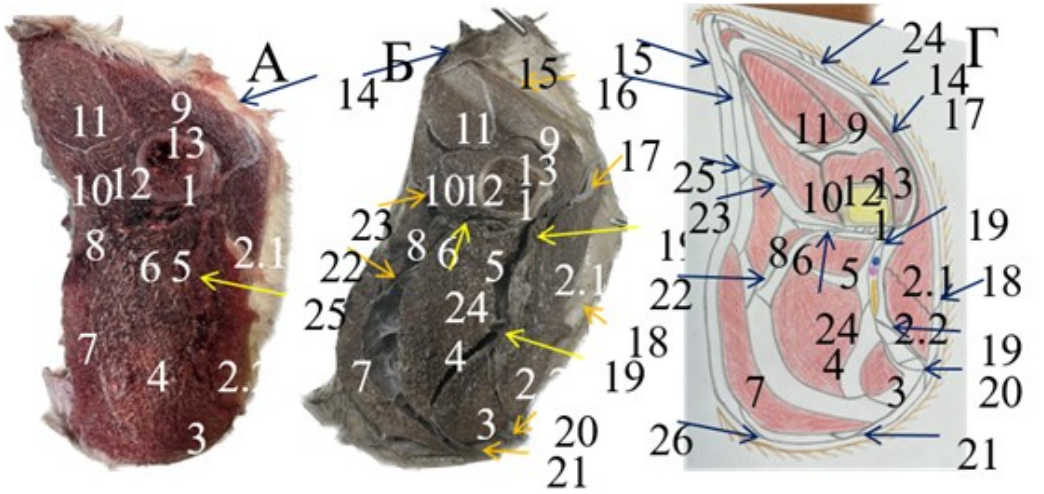


Рисунок 3 – Макропрепарат распила левого бедра телёнка на уровне её нижней трети: А – оригинальный распил бедра с проксимальной стороны распила; Б – тоже, фиксированный и отпрепарированный препарат; В – схема структур в области распила: 1 – бедренная кость; 2 – ягодично-двуглавая мышца; 2.1 – её позвоночная и 2.2 – седалищная головки; 3 – полусухожильная мышца; 4 – полуперепончатая мышца; 5 – приводящая мышца; 6 – гребешковая мышца; 7 – стройная мышца; 8 – портняжная мышца; 9 – латеральная, 10 – медиальная, 11 – прямая, 12, 13 – промежуточная головки четырёхглавой мышцы бедра; 13 – мышечное брюшко напрягателя широкой фасции бедра; 14 – кожа; 15 – поверхностная фасция; 16 – глубокая фасция; 17 – сухожилие хвостобедренной части ягодично-двуглавой мышца; 18 – латеральный фасциальный узел; 19 – «межмышечная срединная фасциальная пластина»; 20 – каудо-латеральный фасциальный узел; 21 – каудальный фасциальный узел; 22 – фасциальная пластина от глубокой фасции к гребешковой мышце; 23 – фасциальная пластина от медиального фасциального узла к напрягателю широкой фасции бедра и далее к медиальной головке ч.м.б, и затем к медиальной губе бедренной кости; 24 – кранио-латеральный фасциальный узел; 25 – медиальный фасциальный узел; 26 – каудо-медиальный фасциальный узел.

Необходимо различать мелкие фасциальные узлы и общие (крупные) фасциальные узлы поверхностной фасции, связанные с глубокой фасцией, от которых (от последних) отходят межмышечные фасциальные пластины.

Поверхностная фасция бедра плотно облегает бедро, по всей её окружности, однако, мы обнаружили, что поверхностная фасция формирует с глубокой фасцией бедра по всей окружности бедра несколько «фасциальных узлов. Выявлено, что фасциальные узлы фиксируют поверхностную и глубокую фасции относительно друг друга, а между этими бедренными фасциями располагается тонкое межфасциальное пространство, заполненное рыхлой соединительной (или жировой) тканью.

Нами установлено, что глубокая бедренная фасция между подлежащими мышцами формирует свои фасциальные узлы, от которых вглубь отходят «межмышечные фасциальные пластины», представленные в виде перегородок из плотной соединительной ткани, проходящие между мышцами. Глубокая фасция бедра плотно облегает структуры бедра, и при этом, между её наружным и внутренним листами заключены ягодично-двуглавая, стройная и портняжная мышцы, формирующие «третий пласт» в обла-

сти бедра. Наружный лист глубокой фасции, с латеральной поверхности покрывает напрягатель широкой фасции бедра, срастается с поверхностью ягодично-двуглавой мышцы, а на границе с полусухожильной мышцей он формирует мощный каудо-латеральный фасциальный узел (19), от которого отходит и вклинивается между этими мышцами «срединная межмышечная пластина» (23), в которую в межмышечном пространстве вливаются более тонкие межмышечные пластинки от окружающих мышц (от полусухожильной, полуперепончатой, ягодично-двуглавой и приводящей). Кроме этого, между её листами заключён «сосудисто-нервный пучок бедренных кровеносных сосудов и седалищный нерв» (между третьим и четвёртым пластами с латеральной поверхности). Сама же пластина, доходит до латеральной губы бедренной кости, на которой и закрепляется.

В краниальной части бедра, поверхностная фасция бедра покрывает напрягатель широкой фасции бедра снаружи, тогда как глубокая фасция бедра заключает его между своими листами и далее продолжается на медиальную головку четырёхглавой мышцы бедра, и формирует фасциальный узел с гребешковой мышцей, а сама продолжается до медиальной губы бедренной кости. От внутренней поверхности латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра отходят соединительнотканные пучки разного колибра к медиальной головке, тем самым формируя соединительнотканную пластину под прямой головкой данной мышцы (рис. 2; рис. 3).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Нами установлены анатомо-топографические особенности миофасциальных образований ягодично-бедренной области у крупного рогатого скота, которые не отражены в доступной литературе. Полученные данные являются нормативными в вопросах диагностики и лечебной коррекции миопатий и миофибралгий. Результаты исследований целесообразно использовать в вопросах ветеринарно-санитарной экспертизы при морфологическом обосновании качества получаемого мясного сырья.

ANATOMICAL AND TOPOGRAPHIC FEATURES OF FASCIAL FORMATIONS OF THE GLUTEAL-FEMORAL REGION IN CATTLE

Slesarenko N.A.* – Doctor of Biology, Prof. kaf. anatomy and histology of animals named after Professor A.F. Klimov (ORCID 0000-0002-8350-5965); Oganov E.O. – PhD. Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department. Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov (ORCID 0000-0003-1206-4397); **Shirokova E.O.** – Candidate of Biology, Associate Professor of the Faculty. Anatomy and histology of animals named after Professor A.F. Klimov, (ORCID 0000-0003-4891-5405)

K.I. Scriabin Moscow State Medical University

* slesarenko2009@yandex.ru

ABSTRACT

The article presents anatomical and topographic features of the myofascial formations of the gluteal-femoral region in cattle, which are not reflected in the available literature. It has been shown that the deep femoral fascia between the underlying muscles forms its fascial nodes, from which the "intermuscular fascial plates" extend into the depths, represented by partitions of dense connective tissue passing between the muscles. The deep fascia of the thigh tightly fits the structures of the thigh, and at the same time, the gluteal-biceps, slender and tailor muscles are enclosed between its outer and inner sheets. The outer sheet of the deep fascia, from the lateral surface, covers the tensor of the wide fascia of the thigh, fuses with the surface of the gluteal biceps muscle, and on the border with the semi-tendon muscle it forms a powerful caudo-lateral fascial node. The material for the research was sectional material – pelvic limbs (n=10), selected from calves of the black-and-white Holstein breed, without external signs of pathologies of the musculoskeletal system. The methods of fine macro- and microana-

tomic preparation under the control of a Micromed HR 350 S binocular magnifier, biomechanical modeling followed by functional analysis of the studied structures, as well as the manufacture of frozen cuts according to N. I. Pirogov were used. It is advisable to use the original data obtained in matters of veterinary and sanitary expertise in the morphological substantiation of the quality of the meat raw materials obtained.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Слесаренко Н.А. Морфофункциональные особенности строения мышц коленного сустава в зависимости от механизма статолокомоторного акта / Слесаренко Н.А., Широкова Е.О., Иванцов В.А. // Иппология и ветеринария. – 2022. - № 1 (43). – С. 160-167.

2.Слесаренко Н.А. Макроморфологическая характеристика мышц тазобедренного сустава у благородного пятнистого оленя / Слесаренко Н.А., Оганов Э.О., Широкова Е.О. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. - № 1 – С. .63-71.

3.Стратонов, А. С. Морфофункциональная характеристика мускулатуры стило и зейгоподия у свиней породы ландрас в период новорожденности / Стратонов А.С., Щипакин М.В. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2016. – № 4. – С. 262-264.

4.Кровоснабжение области бедра и голени кролика породы немецкий великан / А. В. Прусаков, Н. В. Зеленевский, М. В. Щипакин [и др.] // Иппология и ветеринария. – 2018. – № 2(28). – С. 100-103.

5.Стратонов, А. С. Морфометрическая характеристика пояса тазовой конечности у новорождённых свиней породы ландрас и йоркшир / А. С. Стратонов, М. В. Щипакин // Иппология и ветеринария. – 2018. – № 2(28). – С. 104-109.

6.Сравнительная морфология скелета бедра кошки домашней и кролика / А. В. Прусаков, М. В. Щипакин, С. В. Вирунен [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2016. – № 3. – С. 80-83.

7.Широкова Е.О. Анатомо-топографические особенности четырёхглавой мышцы бедра у благородного пятнистого оленя /Широкова Е. О., Слесаренко Н. А., Оганов Э. О.// Ветеринария, зоотехния и биотехнология. - 2023. - № 2. - С. 50-59.

8.Яволовская, Я. О. Скелет пояса тазовой конечности соболя черной пушкинской породы в возрастном аспекте / Я. О. Яволовская, М. В. Щипакин // Иппология и ветеринария. – 2023. – № 1(47). – С. 118-128.

9. Щипакин, М. В. Анатомо-топографические особенности оттока хода и ветвления вен от ягодичных мышц свиней породы йоркшир / М. В. Щипакин // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения : Материалы Всероссийской научно-практической конференции имени Заслуженного деятеля науки КБР, почетного работника виноградарской и винодельческой отраслей Ставропольского края, академика МАНЭБ, д. с -х. н., профессора М.Н. Фисуна, Нальчик, 09 ноября 2023 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2023. – С. 387-389.

10. Мамедкулиев, А. К. Анатомическая характеристика мышц области пальцев у овец породы дорпер / А. К. Мамедкулиев, М. В. Щипакин // Актуальные проблемы ветеринарной медицины: сборник научных трудов № 150. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, 2019. – С. 25-26.

11. Былинская Д.С. Область стопы крупного рогатого скота: кости и сухожилия/ Былинская Д.С., Щипакин М.В., Зеленевский Н.В., Прусаков А.В., Васильев Д.В.// Иппология и ветеринария. 2018 № 2 (28). С. 19-24.

12. Щипакин, М. В. Возрастные закономерности васкуляризации органов тазовой конечности и тазовой полости хоря золотистого: специальность 06.02.01 "Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных»: диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Щипакин Михаил Валентинович. –

Санкт-Петербург, 2007. – 148 с.

13. Мамедкулиев, А. К. Анатомо-топографические особенности костей пояса тазовой конечности овец породы дорпер / А. К. Мамедкулиев, М. В. Щипакин // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 2. – С. 165-169. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2020.2.165.

REFERENCES

1.Slesarenko N.A. Morphofunctional features of the knee joint muscle structure depending on the mechanism of the statolocomotor act / Slesarenko N.A., Shirokova E.O., Ivantsov V.A. // Hippology and veterinary medicine. – 2022. - № 1 (43). – Pp. 160-167.

2.Slesarenko N.A. Macromorphological characteristics of the hip joint muscles in the red spotted deer / Slesarenko N.A., Oganov E.O., Shirokova E.O. // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. – 2023. - No. 1 – S. .63-71.

3. Stratonov, A. S. Morphofunctional characteristics of the muscles of the stylo and zeigopodia in pigs of the Landrace breed during the newborn period / Stratonov A.S., Shchipakin M.V. // Issues of regulatory regulation in veterinary medicine. 2016. No. 4. pp. 262-264.

4. Blood supply to the thigh and shin area of the German giant rabbit / A.V. Prusakov, N. V. Zelenevsky, M. V. Shchipakin [et al.] // Hippology and Veterinary Medicine. – 2018. – № 2(28). – Pp. 100-103.

5. Stratonov, A. S. Morphometric characteristics of the pelvic limb girdle in newborn pigs of the Landrace and Yorkshire breed / A. S. Stratonov, M. V. Shchipakin // Hippology and veterinary medicine. – 2018. – № 2 (28). – Pp. 104-109.

6. Comparative morphology of the femoral skeleton of domestic cats and rabbits / A.V. Prusakov, M. V. Shchipakin, S. V. Virunen [et al.] // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2016. – No. 3. – pp. 80-83.

7.Shirokova E.O. Anatomical and topographic features of the quadriceps femoral muscle in the red spotted deer /Shirokova E. O., Slesarenko N. A., Oganov E. O.// Veterinary medicine, animal science and biotechnology. - 2023. - No. 2. - pp. 50-59.

8.Yavolovskaya, Ya. O. The skeleton of the pelvic limb belt of the sable of the black Pushkin breed in the age aspect / Ya. O. Yavolovskaya, M. V. Shchipakin // Hippology and veterinary medicine. – 2023. – № 1 (47). – Pp. 118-128.

9. Shchipakin, M. V. Anatomical and topographic features of the outflow of veins and branching from the gluteal muscles of Yorkshire pigs / M. V. Shchipakin // Modern problems of agricultural science and ways to solve them : Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference named after the Honored Scientist of the KBR, honorary worker of the viticultural and winemaking industries of the Stavropol Territory, academician of the MANEB, Doctor of Agricultural Sciences, Professor M.N. Fisun, Nalchik, November 09, 2023. Nalchik: V.M. Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University, 2023, pp. 387-389.

10. Mammadkuliyev, A. K. Anatomical characteristics of the muscles of the finger area in Dorper sheep / A. K. Mammadkuliyev, M. V. Shchipakin // Actual problems of veterinary medicine: collection of scientific papers No. 150. – St. Petersburg: St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, 2019. - pp. 25-26.

11. Bylinskaya D.S. The area of the foot of cattle: bones and tendons/Bylinskaya D.S., Shchipakin M.V., Zelenevsky N.V., Prusakov A.V., Vasiliev D.V.//Hippology and veterinary medicine. 2018 No. 2 (28). pp. 19 -24.

12. Shchipakin, M. V. Age-related patterns of vascularization of the organs of the pelvic limb and pelvic cavity of the golden horus: specialty 02/06/2011 "Diagnosis of diseases and therapy of animals, pathology, oncology and morphology of animals": dissertation for the degree of Candidate of veterinary Sciences / Shchipakin Mikhail Valentinovich. – St. Petersburg, 2007. – 148 p.

13. Mammadkuliyev, A. K. Anatomical and topographic features of pelvic limb girdle bones of Dorper sheep / A. K. Mammadkuliyev, M. V. Shchipakin // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2020. – No. 2. – pp. 165-169. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2020.2.165.

УДК: 636.7:619:591.431.4
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.331

КЛИНИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗУБНОГО ОРГАНА СОБАК ПРИ ОДОНТОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

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

[1] ФГБОУ ВО Вавиловский университет
[2] ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина

* ivancov@mgavm.ru

Ключевые слова: *ветеринарная стоматология, назубные отложения, одонтогенные образования, собаки, зубочелюстной аппарат, зубной налет.*
Keywords: *veterinary dentistry, dental deposits, odontogenic masses, dogs, dentoalveolar apparatus, plaque.*

Поступила: 20.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ
В данной публикации представлена клинико-морфологическая характеристика зубов у собак при различных одонтогенных отложениях. Исследования выполнялись на базе кафедр болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО Вавиловского университета и анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, а также ветеринарной клинике «Центральная на Московской» (г. Саратов). Объектом для исследования являлись собаки мелких пород с мезоцефалической формой головы (n=300) в возрасте от 1 до 10 лет. Материалом для исследования служили экстирпированные зубы. При использовании комплексного методического подхода, включающего в себя клиническое исследование ротовой полости и световую микроскопию шлифов зубов установлено, что эмаль зуба имеет специфические поверхностные образования, которые имеют строгую последовательность. Переход из одного состояния в другое зависит от процессов, протекающих в ротовой полости, породных особенностей, условий кормления и содержания. В начале, зуб всегда имеет биологическую пленку – пелликулу, далее происходит ее переход в следующее состояние определяющиеся внешними факторами, которые приводят к изменению интероорального баланса, благодаря которому этот процесс ускоряется или же замедляется. Выявлено, что каждое назубное образование имеет характерные признаки, благодаря которым определяется их четкая последовательность. Из всех форм приобретённых назубных образований наиболее патогенным является назубный монолит, приводящий к необратимому состоянию одонтона животного.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Традиционно в ветеринарной стоматологии принято выделять, что приобретенное в процессе жизни собак органическое, а затем минерализованное в конгломерат образование на поверхности зуба как зубной камень [1-5, 7, 10, 11, 12]. Первоначально находящийся на коронке зуба зубной камень будет разрастаться, и минерализоваться, с дальнейшим проникновением на поверхность корня, увеличивая тем самым площадь собственной локализации [1, 2, 4-12]. В конечном итоге это приводит к разрушению опорно-удерживающей системы зуба, влекущее за собой необратимую пародонтопатию, ведущую к утрате зуба [2, 5, 7-12]. Таким образом, одонтогенное отложение имеет не только особенность приобретенной патологии, но и всегда находится на поверхности коронки и корня зуба [1, 2, 4-12]. Зубной камень не входит в морфологическое строение зубного органа, что не может соответствовать классификации и номенклатуре патологий, поэтому на наш взгляд неуместно обозначать его как зубной [1, 2, 3, 4]. С учетом выше сказанного считаем, что его стоит обозначать назубным камнем, как один из видов одонтогенных отложений.

Анализ доступной литературы показал, что назубные образования имеют длительный патологический путь развития, однако, клиническое и морфологическое их описание у собак не до конца изучено [1, 2, 4-12].

Исходя из вышеизложенного, целью наших исследований являлось – представить клинико-морфологическую характеристику зубов у собак при одонтогенных образованиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводились на базе кафедры болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО Вавиловского университета, ветеринарной клинике «Центральная на Московской» (г. Саратов, ул. Московская д. 37) и кафедре анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина. Объектом для исследования являлись собаки-мезоцефалы мелких пород (n=300) в возрасте от 1 до 10 лет. Материалом для исследования служили экстирпированные зубы. Комплексный методический подход включал в себя клиническое исследование ротовой полости и световую микроскопию шлифов зубов на цифровом микроскопе LEICA LMD 7000 (Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При визуальном осмотре, эмалевый покров коронки зубного органа без назубных образований имел ровный и гладкий вид, белый, с незначительным блеском. Однако при микроскопическом исследовании установлено, что на всех ее участках поверхность имела резко выраженную рельефность, которая образовывалась за счет наличия бугорков, ямок, различных поверхностных наслоений эмали со следами неравномерной механической стираемости (рисунок 1, 2).

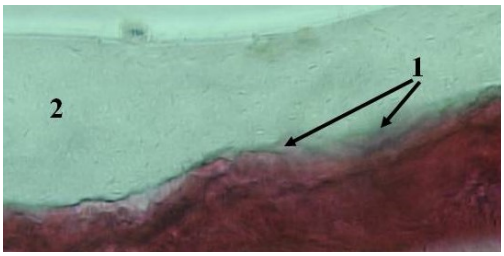


Рисунок 1 – Микроморфология эмали зуба собаки. Шлиф зуба собаки: 1 – наружная поверхность; 2 – пелликула. х 100.

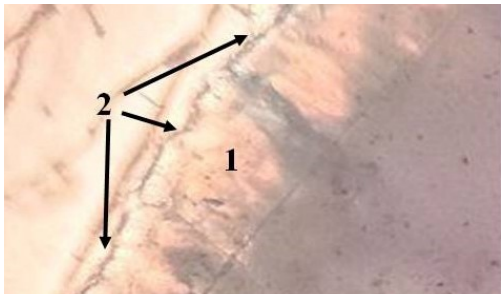


Рисунок 2 – Микроморфология внешнего слоя эмалевой ткани. Шлиф зуба собаки: 1 – эмалевый слой; 2 – наружная поверхность эмали. х 100.

При изучении микрокартины зубов собак в возрасте одного года нами установлено наличие пленки – пелликулы во всех случаях. Она выделялась на поверхности эмали зубов незначительно темным цветом. Ее толщина подвергалась различным вариациям: наиболее широкой она была в области шейки зуба, а наименьшей на жевательной поверхности зуба. Внутренняя сторона пелликулярной пленки, соприкасающаяся с эмалевым покровом зуба полностью повторяла ее рельефность. Внешняя поверхность была ровной, но при этом повторяла наиболее значительные анатомические выпуклости коронки зуба: основной гребень, дополнительные гребешки, жевательные бугры и прочие элементы рельефа.

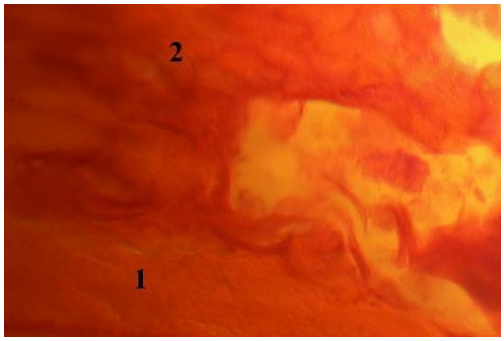


Рисунок 3 – Микроморфология эмалевой ткани с назубным налетом. Шлиф зуба собаки: 1 – эмалевый покров; 2 – назубный налет. х 100.

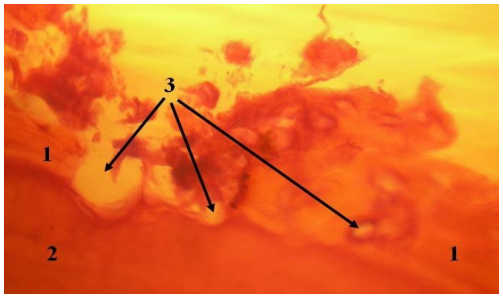


Рисунок 4 – Микроморфология эмали зуба собаки после санации ротовой полости. Шлиф зуба собаки: 1 – эмаль, 2 – дентин, 3 – участки резорбции эмали. х 100.

В толще пелликулы зубов 2-летних собак мы выявили значительное количество так называемых включений. Основная часть из них была плотно адгезирована к поверхности эмали зуба. Другая, менее значительная часть слабо соприкасалась с ее поверхностью и была подразделена на множество мелких конгломератов, которые располагались в различных местах пелликулы (рисунок 3).

В пришеечной области коронки зуба нами выявлены признаки назубного налета и его минерализацию. Сам налет выглядел в виде белой, рыхлой массы, в то время как процесс минерализации характеризовался более плотной, темной, слоистой структурой, где площадь его соприкосновения с эмалью значительно превосходила толщину. Отмечались участки биологической пленки зуба, которые были, не только полностью замещены минерализованным назубным налетом, но и возвышались над соприкасающейся с ними пелликулой. Таким образом, в этой возрастной группе собак отмечается активный процесс формирования назубного камня, который собой замещает как пелликулу, так и налет.

При микроскопическом исследовании зубов собак 3-4-летнего возраста установлено, что все выявленные нами назубные образования имели явно выраженный процесс минерализации, благодаря которому мы их классифицируем как назубные камни.

При удалении назубных камней с поверхности эмали визуализируется ее первоначальный вид – гладкой и белой поверхности. Однако микроморфологические исследования показали, что минерализованные назубные камни у собак приводят к возникновению участков резорбции эмалевого покрова. Так, отмечаются участки резорбции эмалевого покрова зубного органа, которые визуализируются в виде каверн и имеют разную локализацию. Ряд из них сообщался с внешней средой, другие же наоборот были замкнутыми. По расположению они проецировались в центре эмалевого слоя, а также на его периферии. Наиболее крупные из них

превосходили собой весь эмалевый слой, тем самым приводя к участкам оголения дентина (рисунок 4).

Как показали наши клинические исследования зубочелюстного аппарата у собак, все назубные образования имели строгую последовательную очередность собственного развития. Время их образования и переход из одного состояния в другое зависело от многих факторов, ключевыми из которых мы выделили бы морфотип головы, а также особенности кормления и содержания. Предрасполагающим фактором нами была отдельно выделена индивидуальная особенность структуры зубочелюстной системы, заключающейся в положении зубов в зубной аркаде, наличии дистопии, адонтии, фиктивнвной нормодонтия или полидонтии и т.д.

При клиническом исследовании ротовой полости животных в возрасте одного года визуально не были зарегистрированы назубные отложения (рисунок 5). Исключением были три собаки породы йоркширский терьер, у которых отмечали незначительный, локализованный в области шейки зуба, налет.



Рисунок 5 – Фронтальная группа зубов собаки-мезоцофала (1 год). Одонтогенные отложения не визуализируется.

После годовалого возраста мы наблюдали на поверхности зубов следующие образования: они локализовались в пришеечной части коронки фронтальных зубов, реже премоляров. В данном случае отмечалось два клинических вида назубных отложений: в первом случае они были представлены в виде тонкой полосы 2-3 мм, коричневого или темно-коричневого цвета, покрывающей собой шейку зуба с плотным прилеганием к эмали с вестибулярной поверхности зуба. Во втором случае - значительные по объему и площади назубные отложения белого цвета, которые имели рыхлую структуру и рельефную поверхность, легко удаляющиеся с поверхности зуба и свидетельствующие о мягком назубном налете (рисунок 6).

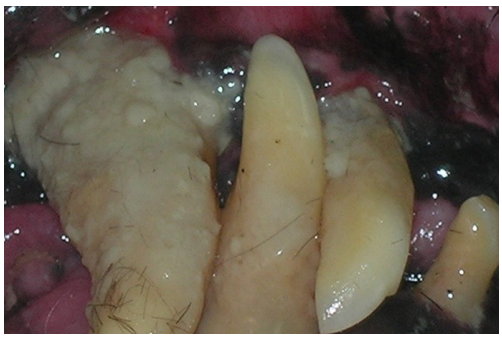


Рисунок 6 – Фронтальная группа зубов собаки 2-х лет с мягким зубным налетом.

После удаления мягкого налета с поверхности коронки зуба на поверхности эмали всегда оставался, хорошо адгезированный, имеющий различные оттенки коричневого цвета назубный камень в виде тонкой пришеечной полосы. По этой причине мы считаем, что в основе образования мягкого назубного налета лежат минерализованные одонтогенные образования, создающие благоприятные условия для формирования мягких и рыхлых конгломератов. Этот процесс может значительно усиливаться при кормлении животного мягкими кормами, при котором физиологический процесс самоочистки зубов сведен к минимуму.

После двухлетнего возраста собак мы отмечали усиленный процесс минерализации всех назубных отложений. Эти образования отмечались на различных поверхностях коронок зубов. Однако их преобладание было на вестибулярной поверхности, где они покрывали собой до 80 % ее площади (рисунок 7).



Рисунок 7 – Фронтальная группа зубов собаки-мезоцофала (3 года). Минерализованные назубные отложения.



Рисунок 8 – Внутренняя поверхность минерализванного назубного камня собаки: стрелками указана зона соприкосновения минерализованного назубного камня с десной.

Подсчет количества зубов имеющих назубные камни показал, что все без исключения зубы имели их на своей поверхности. Они характеризовались различной степенью выраженности и площадью покрытия эмали. Таким образом, количество минерализованных назубных камней соответствовал количеству зубов, что свидетельствует о развитии генерализованной формы приобретенных образований, которые до этого носили локальный характер.

Цвет назубного камня был различен. Та его часть, которая соприкасалась с десной, имела темно коричневый цвет. Периферическая область была окрашена в желтый или светло коричневый цвет. По нашим исследованиям разница цвета минерализованного камня зависела от степени соприкосновения его с десной. При росте камня он способен не только давить на край десны, но и ее травмировать, что приводит к постоянному кровотечению. Благодаря этому, контактирующий с ней край назубного камня пропитывается кровью и приобретает темный цвет. Это хорошо видно на внутренней поверхности минерализованного камня, когда его целиком удалить с поверхности зуба (рисунок 8).

После 3-х летнего возраста у собак процесс минерализации одонтогенного отложения усиливался. Усиление данного процесса приводит к росту камня, который, по нашему наблюдению, одновременно осуществляется в двух направлениях: по собственному объему и по своей площади покрытия. По этой причине камень вдоль шейки зуба, далее по поверхности корня, проникает под десну, тем самым не только разрушает опорно-удерживающий аппарат зуба, но и служит местом проникновения микрофлоры в ее десны. В таком случае наддесневая форма минерализованного назубного камня переходит в поддесневую форму. Без проведения соответствующей санации ротовой полости развитие минерализованных назубных образований приводит к выпадению зубов.

При исследовании 10-летних собак мелких пород выявлено, что у всех изученных животных отмечались минерализованные назубные камни. По этой причине мы предполагаем, что данный процесс приобретает хроническую форму.

Однако, в этом возрасте, минерализованные назубные камни имели другую количественную, качественную и патологическую характеристику, благодаря которым данное образование мы выделили не как камень, а минерализованный назубный монолит.

В первую очередь разница выделялась в количестве назубных образований. Если количество камня соответствует количеству зубов собаки, то количество назубно-

го монолита в 2–3 раза меньше, чем зубов. Данная разница возникает по причине особенностей патогенеза этого назубного минерализованного вида. После того, как пародонт зуба полностью поражен камнем, его поддесневой рост приостанавливается. При этом, отмечается только увеличение объема наддеснего камня, который сливаясь между собой, образуют единую монолитную форму. Этот процесс приводит к вовличению монолитом соседних зубов и таким образом, что они полностью теряют контакт с внешней средой. Визуально вместо зубного ряда возникает ряд минерализованного назубного монолита, который может охватывать до четырех зубов. Границами между назубными монолитами являлись ровные, соприкасающиеся между собой поверхности, что возникает за счет люфта зубов, благодаря которому одонтогенные отложения между собой не могут плотно срастись (рисунок 9).

На поверхности назубного монолита всегда отмечается скопление слюны с гноем, а его цвет имеет темно-серый оттенок. Процесс санации ротовой полости при назубном монолите всегда сопровождается потерей зубов.

Для полноты клинических различий назубного камня и монолита нами представлена следующая классификация в таблице 1.



Рисунок 9 – Зубочелюстной аппарат собаки-мезоцофала (10 лет) года). Минерализованный назубный монолит.

Таблица 1 – Клиническая классификация минерализованных одонтогенных образований

№	Критерий	Назубный камень	Назубный монолит
1.	Количество	Соответствует количеству зубов	В 2-3 раза меньше по сравнению с количеством зубов
2.	Локализация	Наддесневой (коронка) и/или поддесневой (корень)	Поверхность всего зуба
3.	Цвет	Светло или темно коричневый	Серый
4.	Болезненность	Локальное	Отсутствует
5.	Атрофия альвеолярного отростка	Отсутствует или начальная стадия	Полная атрофия
6.	Рецессия десны	Может достигать до 2/3 десны	Полная рецессия
7.	Состояние периодонтальной связки	Способна утрачиваться до 2/3	Полностью утрачивается
8.	Наличие гноя в ротовой жидкости	При генерализованной форме	Постоянно
9.	Периодонтит	При генерализованной форме	Всегда
10.	Периостит	При генерализованной форме, реже при локальной	Всегда
11.	Люфт зуба	При генерализованной форме, реже при локальной	Всегда
12.	Визуализация коронки зуба	Имеется	Отсутствует

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Как показали наши исследования, эмалевый покров зуба имеет специфические поверхностные образования, которые имеют строгую последовательность. Переход из одного состояния в другое зависит от процессов, протекающих в полости рта, породных особенностей, условий кормления и содержания. В начале, зуб всегда имеет биологическую пленку – пелликулу. Ее переход в следующее качественное состояние определяется внешними факторами, которые приводят к изменению интероорального баланса, благодаря которому этот процесс ускоряется или же замедляется.

Микроморфологические и клинические исследования показали, что каждое назубное образование имеет характерные признаки, благодаря которым определяется четкая их последовательность. Из всех форм приобретённых назубных образований наиболее патогенным является назубный монолит, приводящий к необратимому состоянию одонтона собаки.

CLINICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DENTAL ORGAN OF DOGS WITH ODONTOGENIC FORMATIONS

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;

[1] Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering by N.I. Vavilov

[2] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin

* ivancov@mgavm.ru

ABSTRACT

This publication presents the clinical and morphological characteristics of the teeth of dogs with various odontogenic deposits. The research was carried out in the Departments of Animal Diseases and Veterinary and Sanitary Expertise Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering by N.I. Vavilov, and in the Department of Animal Anatomy and Histology named after Professor A.F. Klimov at the Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin and Veterinary Clinic «Tsentralnaya na Moskovskaya» (Saratov). The study focused on small-breed dogs with a mesocephalic head shape (n=300), aged between one and ten years. The material used in the study was extracted teeth. A comprehensive methodological approach was used, including a clinical examination of the oral cavity and light microscopy of tooth surfaces. This established that the enamel of the tooth has specific surface formations that occur in a set order. The transition from one state to another depends on processes occurring in the oral cavity, breed characteristics, and feeding and housing conditions. Initially, the tooth is always covered by a biological film, or pellicle, which then transitions to the next state as a result of external factors. These factors can accelerate or slow down this process by altering the balance within the oral cavity. Each dental formation has characteristic features that determine their clear sequence. Of all the acquired enamel formations, the enamel monolith is the most pathogenic, leading to an irreversible odontone state in animals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Бузмакова Е.Д. Кормление собак для предотвращения образования зубного камня / Е.Д. Бузмакова, Е.В. Болтачева // Вестник Вятского ГАТУ. – 2024. – № 3 (21). – С. 81-87.

2.Ветеринарная стоматология: учебно-методическое пособие для вузов / Н.А. Слесаренко, А.В. Красников, В.А. Иванцов [и др.]. – 3-е издание стереотипное. – Санкт-Петербург: ООО Издательство "Лань", 2025. – 131 с.

3.Колесников Л.Л. Международная анато-

мическая терминология (с официальным списком русских эквивалентов) / Под ред. Л.Л. Колесникова // М.: Медицина, 2003. – 424 с.
4. Потапов С.С. Зубные камни собаки / С.С. Потапов, А.А. Каздым, Д.С. Потапов // Минералогия техногенеза. – 2006. – Т. 7. – С. 152-159.
5. Фролов В.В. Дентиция и генерации зубов у собак (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений) / В.В. Фролов // М.: ИКЦ «Колос – С». – 2020. – 255 с.
6. Фролов В.В. Изменение микрокристаллизирующего рисунка ротовой жидкости у собак /В.В. Фролов// Доклады ТСХА: Сборник статей. Выпуск 292. Часть IV. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва: Издательство РГАУ МСХА, 2020. – С. 584–588.
7. Фролов В.В. Местное влияние одонтогенных образований на состояние тканей зубов у собак / В.В. Фролов // Материалы XV международного московского конгресса по болезням мелких домашних животных 2007. – М., 2007. – С. 89–91.
8. Фролов В.В. Остеомиелит челюстей у собак / В.В. Фролов // Ветеринарная медицина. Современные проблемы и перспективы развития. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции 2006. Саратов: Изд-во Латанова В.П., 2006. – С. 348–350.
9. Фролов В.В. Новый взгляд на проблему одонтогенных образований. / В.В. Фролов // Ветеринарная медицина. Современные проблемы и перспективы развития. Материалы IX Всероссийской научно -практической конференции. Саратов: ИЦ «Наука». – 2009. – С. 339–343.
10. Фролов В.В. Породная предрасположенность собак к одонтогенным образованиям/ В.В. Фролов // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 1 (2). – С. 81 – 83.
11. Brooke A. Nemec. Veterinary Periodontology / Brooke A. Nemec. - Wiley-Blackwell, 2013 – 358 p.
12. Heidi B. Lobprise Wiggs's Veterinary Dentistry / Heidi B. Lobprise Wiggs's, Johnathon R. Dodd - Wiley-Blackwell, 2019 – 522 p.

REFERENCES

1. Buzmakova E.D. Feeding dogs to prevent tartar formation / E.D. Buzmakova, E.V. Boltacheva // Vestnik Vyatsky GATU. - 2024. - № 3(21). - P. 81-87.
2. Veterinary stomatology: textbook for universities / N.A. Slesarenko, A.V. Krasnikov, V.A. Ivantsov [et al]. - 3rd edition stereotyped. - St. Petersburg: LLC Publishers "Lan", 2025. - 131 p.
3. Kolesnikov L.L. International anatomical terminology (with the official list of Russian equivalents) / Edited by L.L. Kolesnikov // M.: Medicine, 2003. - 424 p.
4. Potapov, S.S. Toothstones of a dog / S.S. Potapov, A.A. Kazdym, D.S. Potapov // Mineralogy of technogenesis. - 2006. - VOL. 7. - P. 152-159.
5. Frolov V.V. Dentition and generation of teeth in dogs (Textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions) / V.V. Frolov. Frolov // M.: ICC "Kolos - S". - 2020. - 255 p.
6. Frolov V.V. Changes in the microcrystallizing pattern of oral fluid in dogs / V.V. Frolov // Doklady TSKHA: Collection of articles. Issue 292. Part IV. K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University - MSHA. - Moscow: Publishing house of the Russian State Agrarian University - MSHA, 2020. - P. 584-588.
7. Frolov V.V. Local influence of odontogenic formations on the state of dental tissues in dogs / V.V. Frolov. Frolov // Proceedings of the XV International Moscow Congress on diseases of small pets 2007. - M., 2007. - P. 89-91.
8. Frolov V.V. Osteomyelitis of the jaws in dogs / V.V. Frolov // Veterinary medicine. Frolov // Veterinary medicine. Modern problems and prospects of development. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference 2006. Saratov: Latanov V.P. Publishing House, 2006. - P. 348-350.
9. Frolov V.V. A new look at the problem of odontogenic formations. / V.V. Frolov // Veterinary Medicine. Modern problems and

prospects of development. Proceedings of the IX All-Russian scientific-practical conference. Saratov: IC “Nauka”. - 2009. - P. 339-343.
10. Frolov V.V. Pedigree predisposition of dogs to odontogenic formations / V.V. Frolov. Frolov // Vestnik SGAU named after N.I. Vavilov. - 2007. - № 1 (2). - P. 81 - 83.
11. Brooke A. Nemec. Veterinary Periodontology / Brooke A. Nemec. - Wiley-Blackwell, 2013 – 358 p.
12. Heidi B. Lobprise Wiggs’s Veterinary Dentistry / Heidi B. Lobprise Wiggs’s, Johnathon R. Dodd - Wiley-Blackwell, 2019 – 522 p.

УДК: 611.146:611.65:599.731.1
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.340

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХОДА И ВЕТВЛЕНИЯ ВЕН В ТАЗОВОЙ ПОЛОСТИ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЙОРКШИР

Щипакин М.В. – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0002-2960-3222); **Мельников С.И.** – канд. ветеринар. наук, доц. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0002-0963-8751)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*m.shchipakin@yandex.ru

Ключевые слова: *вена, дренаж, тазовая полость, свиньи, пренатальный и постнатальный онтогенез, морфометрические показатели.*

Key words: *vein, drainage, pelvic cavity, pigs, prenatal and postnatal ontogenesis, morphometric parameters.*

Поступила: 26.08.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Особое значение в контексте воспроизводства приобретают фундаментальные знания о репродуктивной системе животных, в частности, анатомические особенности строения тазовой полости свиней. Именно правильное анатомическое строение и объем тазовой полости обеспечивают нормальное развитие и функционирование этих органов, создавая условия для успешного оплодотворения, беременности и последующего опороса. Любые отклонения в развитии таза могут напрямую влиять на репродуктивный потенциал животного. Знание архитектоники венозного русла в тазовой полости свиней имеет критически важное прикладное значение для ветеринарии. Цель исследования – установить возрастные особенности хода и ветвления некоторых вен тазовой полости свиней породы йоркшир, определить их морфометрические показатели и дать пояснение взаимосвязи увеличения длины и диаметра сосудов в пренатальном и постнатальном периодах. При исследовании двух возрастных групп у плодов и поросят 30 дневного возраста значительное увеличение линейных и объемных параметров венозных сосудов является прямым следствием комплексной адаптации сосудистой системы к новым условиям постнатальной жизни: радикальному изменению гемодинамики, быстрому соматическому росту, увеличению объема циркулирующей крови и необходимости обеспечения эффективного венозного возврата в условиях гравитации. Превалирование увеличения диаметра над увеличением длины почти у всех сосудов подчеркивает, что ключевым адаптивным механизмом является именно расширение просвета сосуда для увеличения его пропускной способности и емкости. При исследовании двух возрастных групп поросят 30 и 60 дневного возраста происходит незначительное увеличение показателей венозных сосудов, это свидетельствует не о замедлении развития, а о переходе от этапа острой адаптации к фазе стабильного и пропорционального роста, когда сосудистая система плавно и синхронно развивается вместе со всем организмом.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Свиноводство – считается одной из важных отраслей животноводства и агропромышленного комплекса в России. В современных условиях объективный процесс сокращения численности местных пород сельскохозяйственных животных требует грамотного управления и точного прогнозирования. Без этого под угрозой исчезновения оказываются уникальные генетические ресурсы – редкие породы, создававшиеся методами народной селекции на протяжении столетий. Ключевым направлением в решении задачи их воспроизводства является активная разработка и внедрение современных репродуктивных технологий. Эти методы позволяют не только бессрочно сохранять генофонд исчезающих видов, но и рационально его использовать для выведения новых высококонкурентных селекционных форм. Особое значение в контексте воспроизводства приобретают фундаментальные знания о репродуктивной системе животных, в частности, анатомические особенности строения тазовой полости свиней. Таз самки свиньи имеет ряд специфических особенностей: он относительно широкий и объемный, что обусловлено необходимостью вынашивания многочисленного потомства. Костная основа, которая представлена тазовыми костями формирует надежный каркас, защищающий внутренние половые органы – матку, яичники, маточные трубы. Именно правильное анатомическое строение и объем тазовой полости обеспечивают нормальное развитие и функционирование этих органов, создавая условия для успешного оплодотворения, беременности и последующего опороса. Любые отклонения в развитии таза могут напрямую влиять на репродуктивный потенциал животного. Знание архитектоники венозного русла в тазовой полости свиней имеет критически важное прикладное значение для ветеринарии. Прежде всего, оно абсолютно необходимо для проведения безопасных хирургических вмешательств, таких как кесарево сечение или кастрация, где некомпетентность врача и незнание анатомических структур может привести к тяжелому кровотечению из венозных сплетений. Кроме того, понимание венозного оттока является жизненно важным для диагностики и профилактики послеродовых осложнений, поскольку во время опороса происходит колоссальная нагрузка на сосуды. Нарушение венозного кровообращения также тесно связано с патогенезом воспалительных заболеваний половых органов и может привести к венозному застою, гипоксии тканей и, как следствие, к ранней эмбриональной смертности, напрямую влияя на репродуктивную функцию свиноматки. Таким образом, без детального понимания венозной системы тазовой любые лечебные, диагностические и хирургические процедуры сопряжены с высоким риском для животного и ведут к прямым экономическим потерям [1-5].

Одной из наиболее острых проблем в животноводстве, в том числе и в свиноводстве бесплодие. Это сложное биологическое состояние, проявляющееся в неспособности взрослых самок к воспроизводству потомства. Его основными причинами часто выступают погрешности в кормлении, в частности неполноценное питание, не учитывающее физиологическое состояние особи. Например, значительная потеря веса свиноматки после опороса закономерно приводит к временной невозможности оплодотворения на период до пяти месяцев. Помимо этого, на репродуктивную функцию негативно влияет комплекс неблагоприятных внешних факторов: нарушения в условиях содержания, ошибки при осеменении, эксплуатационная нагрузка, а также различные заболевания половой и других систем организма, врожденные аномалии и возрастные дегенеративные изменения. Без глубокого понимания физиологии и анатомии репродуктивной системы, включая особенности строения тазовой области, эффективное планирование лечебно-диагностической и исследовательской базы в данной области представляется крайне затруднительным [6-9].

Цель исследования – установить воз-

растные особенности хода и ветвления некоторых вен тазовой полости свиней породы йоркшир, определить их морфометрические показатели и дать пояснение взаимосвязи увеличения длины и диаметра сосудов в пренатальном и постнатальном периодах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Материалом для нашего исследования послужили трупы свиней породы йоркшир, полученные со свинокомплекса Ленинградской области. Исследования проводились на кафедре анатомии животных ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». Объектами для исследования были отобраны три возрастные группы самок: плоды 3 месяцев до рождения; поросята 30 и 60 дневного возраста. Количество исследуемых животных составило по пять голов в каждой возрастной группе. Исследование проводили с применением таких методов как: тонкое анатомическое препарирование, морфометрия, вазорентгенография, фотографирование. Рентгенограммы сканировали и обрабатывали в электронной программе RadiAnt на ПК [10-13].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате исследования было установлено, что от некоторых органов тазовой полости свиней породы йоркшир венозная кровь дренирует по нижеперечисленным венам с образованием большого количества анастомозов: краниальная маточная вена, средняя маточная вена, каудальная маточная вена, яичниковая вена, краниальная влагалищная вена, внутренняя срамная вена.

Краниальная маточная вена (v. uterina craniales) – является самой крупной ветвью маточной вены. Она образуется путем слияния большого количества небольших венозных веточек первого порядка. При формировании ее участвуют три ветви, а именно краниальная, средняя, каудальная. Каждая из ветвей дренирует кровь от определенной части половых органов самки свиньи. Краниальная ветвь образована небольшими венозными веточками, которых насчитывается около 10 штук, при этом обеспечивают отток крови от краниальной части матки. В области рогов матки образуют многочисленные анастомозы с венами маточной трубы и яичников. Средняя ветвь образована небольшими венозными веточками, которых насчитывается около 12 штук, при этом обеспечивают отток крови от рогов матки. В области средней трети рога матки образует крупный анастомоз со средней маточной веной. Каудальная ветвь образована небольшими венозными веточками, которых насчитывается около 10 штук, при этом обеспечивают отток крови от каудальной части рогов матки, тела и шейки. В области тела матки образуют анастомозы со средней и каудальной маточными венами.

Средняя маточная вена (v. uterina media) – образуется путем слияния небольшого количества небольших венозных веточек первого порядка, которых насчитывает пять-шесть штук. Она обеспечивает дренаж крови от тела и шейки матки. В области средней трети шейки она сливается с каудальной маточной веной. Там же образует анастомоз с краниальной маточной веной и в этой же области в нее впадают вены мочеточника и краниальная пузырная вена.

Каудальная маточная вена (v. uterina caudales) – образуется путем слияния трех-четырех небольших венозных веточек первого порядка, которая обеспечивает дренаж крови от тела и шейки матки. Там же образует два крупных анастомоза с краниальной и средней маточными венами. Каудальная маточная вена проходит между листками широкой маточной связки, и в этой области в нее впадают вены мочеточника и средние пузырные вены.

Яичниковая вена (v. ovarica) – представлена двумя венами: левой и правой, которые собирают кровь от обоих яичников. Образованы крупными и мелкими по диаметру сосудами, которые образуют многочисленные анастомозы с краниальной и средней маточными венами. Яичниковые вены дренируют кровь не только

из толщи яичника, но и с периферии фолликулярной зоны.

Краниальная влагалищная вена (v. vaginales craniales) – образуется путем слияния восьми-девяти небольших венозных веточек первого порядка, которые собирают кровь от стенок влагалища. В каудальной части влагалища образуют мелкие анастомозы с уретральными и каудальными пузырными венами.

Внутренняя срамная вена (v. pudenda interna) – в начале своего хода данный сосуд удвоен, затем переходит в один ствол и впадает во внутреннюю подвздошную вену в области малой седалищной вырезки. Собирает кровь от наружных половых органов самки и прямой кишки. В области седалищной вырезки образует анастомозы с промежностной и каудальной прямокишечной венами.

По данным морфометрии у плодов свиней трехмесячного пренатального возраста и поросят 30 и 60 дневного возраста были установлены следующие параметры (табл. 1,2,3).

Таблица 1 – Морфометрические показатели некоторых вен тазовой полости свиней породы йоркшир у плодов трех месяцев пренатального онтогенеза

№	Название сосуда	Длина сосуда (см)	Диаметр сосуда (мм)	Количество клапанов	Клапанный индекс
1.	Краниальная маточная	2,15±0,20	0,18±0,02	2	0,93
2.	Средняя маточная вена	0,75±0,01	0,18±0,02	3	4,00
3.	Каудальная маточная вена	2,80±0,30	0,21±0,02	2	0,71
4.	Яичниковая вена	0,75±0,01	0,12±0,01	2	2,67
5.	Краниальная влагалищная вена	2,25±0,20	0,10±0,01	2	0,89
6.	Внутренняя срамная вена	1,55±0,15	0,47±0,01	4	2,58

Таблица 2 – Морфометрические показатели некоторых вен тазовой полости свиней породы йоркшир у поросят 30-дневного возраста постнатального онтогенеза

№	Название сосуда	Длина сосуда (см)	Диаметр сосуда (мм)	Количество клапанов	Клапанный индекс
1.	Краниальная маточная вена	10,80±1,20	1,05±0,10	2	0,19
2.	Средняя маточная вена	3,25±0,30	1,00±0,10	2	0,62
3.	Каудальная маточная вена	4,60±0,40	0,92±0,10	1	0,22
4.	Яичниковая вена	2,20±0,20	0,65±0,01	2	0,91
5.	Краниальная влагалищная вена	4,65±0,40	0,90±0,10	5	1,08
6.	Внутренняя срамная вена	1,70±0,15	1,05±0,15	3	1,76

Анализируя табличные данные №1,2, мы определили, что показатель длины краниальной маточной вены свиней породы йоркшир у плодов трех месяцев пренатального онтогенеза и поросят 30 дневного возраста от рождения превалирует – в 5,02 раза, а диаметр – 5,83 раза. Длина средней маточной вены в этих же возрастных группах превалирует – в 4,33 раза, а диаметр – 5,55 раза. Длина каудальной маточной вены в этих же возрастных группах превалирует – в 1,64 раза, а диа-

метр – 4,38 раза. Длина яичниковой вены у этих возрастных групп превалирует – в 2,93 раза, а диаметр – 5,41 раза. Длина краниальной влагалищной вены у этих возрастных групп превалирует – в 2,07 раза, а диаметр – 9,00 раз. Длина внутренней срамной вены у этих возрастных групп превалирует – в 1,10 раза, а диаметр – 3,30 раз.

Такое значительное увеличение диаметра и длины венозных сосудов у поросят 30-дневного возраста по сравнению с плодами трех месяцев пренатального онтогенеза связано с кардинальной перестройкой системы кровообращения после рождения. У плода кислород поступает через плаценту, и большая часть крови сбрасывается через функциональные отверстия (овальное отверстие, артериальный проток), минуя малый круг кровообращения. Вены тазовых органов, включая маточные и яичниковые, являются частью мощной плацентарной системы, но их нагрузка иная. После рождения происходит закрытие эмбриональных структур, запуск полноценного легочного дыхания и, как следствие, резкое увеличение объема циркулирующей крови и сердечного выброса. Это требует соответствующего увеличения емкости сосудистого русла, особенно венозного, которое является главным депо крови. Увеличение диаметра вен является первостепенной адаптацией для обеспечения возросшего венозного возврата к сердцу. Также за период от 3 месяцев внутриутробного развития до 1 месяца после рождения происходит интенсивный рост всего организма и, в частности, органов репродуктивной системы. Увеличение размеров матки, яичников, влагалища требует адекватного кровоснабжения и оттока крови. Сосуды вынуждены не только расти в длину вслед за растущим органом, но и значительно расширять свой просвет, чтобы обеспечить дренаж крови от увеличившегося в объеме органа. Это особенно ярко выражено для краниальной маточной вены, которая демонстрирует наибольший прирост как в длине, так и в диаметре, что свидетельствует о ее ключевой роли в венозном оттоке от интенсивно развивающейся матки.

Таблица 3 – Морфометрические показатели некоторых вен тазовой полости свиней породы йоркшир у поросят 60-дневного возраста постнатального онтогенеза

№	Название сосуда	Длина сосуда (см)	Диаметр сосуда (мм)	Количество клапанов	Клапанный индекс
1.	Краниальная маточная вена	12,90±1,20	1,45±0,15	3	0,23
2.	Средняя маточная вена	3,45±0,30	1,10±0,10	2	0,58
3.	Каудальная маточная вена	8,90±0,85	1,15±0,10	2	0,24
4.	Яичниковая вена	3,85±0,35	1,85±0,20	2	0,52
5.	Краниальная влагалищная вена	5,95±0,55	1,05±0,10	4	0,67
6.	Внутренняя срамная вена	2,75±0,20	1,20±0,20	4	1,45

Анализируя табличные данные №2,3, мы определили, что показатель длины краниальной маточной вены свиней породы йоркшир у поросят 30-дневного и 60-дневного возраста от рождения превалирует – в 1,19 раза, а диаметр – 1,38 раза. Длина средней маточной вены в этих же возрастных группах превалирует – в 1,06 раза, а диаметр – 1,10 раза. Длина каудальной маточной вены в этих же возрастных группах превалирует – в 1,93 раза, а диаметр – 1,25 раза. Длина яичниковой вены у этих возрастных групп превалирует – в 1,75 раза, а диаметр – 2,84 раза. Длина краниальной влагалищной

вены у этих возрастных групп превалирует – в 1,28 раза, а диаметр – 1,17 раз. Длина внутренней срамной вены у этих возрастных групп превалирует – в 1,62 раза, а диаметр – 1,14 раза.

Если переход от пренатального периода к постнатальному сопровождался кардинальной перестройкой всей системы кровообращения, то интервал между 30 и 60 днями жизни представляет собой фазу стабильного и относительно равномерного роста. В это время основные адаптационные процессы уже завершены, и организм вступает в период интенсивного соматического развития, когда все системы органов растут пропорционально друг другу. Умеренное увеличение параметров сосудов, в среднем в 1,10–1,90 раза, является прямым отражением соматического роста. Увеличение размеров тела и, что особенно важно, массы внутренних органов (матки, яичников) требует соответствующего увеличения их кровоснабжения. Сосудистая система закономерно следует за этим и васкуляризирует данные органы репродуктивной системы. Это объясняет увеличение длины вен – они удлиняются, чтобы обеспечить кровоток в растущих структурах. При этом увеличение диаметра просвета, хотя и менее выраженное, чем в неонатальный период, остается критически важным. Оно необходимо для поддержания оптимального давления и объемной скорости кровотока в условиях увеличивающегося сердечного выброса и общего объема циркулирующей крови. Более высокие темпы роста диаметра по сравнению с длиной у некоторых вен (например, у яичниковой вены диаметр увеличился в 2,84 раза против длины в 1,75 раза) могут указывать на их ключевую роль в качестве дренажных коллекторов, чья пропускная способность должна опережать линейный рост органа. Вариабельность в коэффициентах прироста между разными венами (например, каудальная маточная и яичниковая вены растут активнее, чем средняя маточная) свидетельствует о неодинаковой интенсивности развития иннервируемых ими органов в этот конкретный возрастной промежуток. Это отражает начало процессов функционального созревания репродуктивной системы, при котором разные ее отделы могут развиваться несколько асинхронно.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В результате исследования были установлены возрастные особенности хода и ветвления некоторых вен тазовой полости свиней породы йоркшир, а также определены их морфометрические показатели и дано пояснение взаимосвязи увеличения длины и диаметра сосудов в пренатальном и постнатальном периодах.

1. При исследовании двух возрастных групп у плодов и поросят 30 дневного возраста значительное увеличение линейных и объемных параметров венозных сосудов является прямым следствием комплексной адаптации сосудистой системы к новым условиям постнатальной жизни: радикальному изменению гемодинамики, быстрому соматическому росту, увеличению объема циркулирующей крови и необходимости обеспечения эффективного венозного возврата в условиях гравитации. Превалирование увеличения диаметра над увеличением длины почти у всех сосудов подчеркивает, что ключевым адаптивным механизмом является именно расширение просвета сосуда для увеличения его пропускной способности и емкости.

2. При исследовании двух возрастных групп поросят 30 и 60 дневного возраста происходит незначительное увеличение показателей венозных сосудов, это свидетельствует не о замедлении развития, а о переходе от этапа острой адаптации к фазе стабильного и пропорционального роста, когда сосудистая система плавно и синхронно развивается вместе со всем организмом.

AGE-RELATED FEATURES OF THE COURSE AND BRANCHING OF VEINS IN THE PELVIC CAVITY OF YORKSHIRE PIGS

Shchipakin M.V. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the De-

partment of Animal Anatomy (ORCID 0000-0002-2960-3222); **Melnikov S.I.** – Candidate of Veterinary Sciences, Assistant Professor of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0000-0002-0963-8751).

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* m.shchipakin@yandex.ru

ABSTRACT

Fundamental knowledge about the reproductive system of animals, in particular, anatomical features of the pelvic cavity of pigs, is of particular importance in the context of reproduction. It is the correct anatomical structure and volume of the pelvic cavity that ensure the normal development and functioning of these organs, creating conditions for successful fertilization, pregnancy and subsequent farrowing. Any abnormalities in the development of the pelvis can directly affect the reproductive potential of an animal. Knowledge of the architecture of the venous bed in the pelvic cavity of pigs is of critical practical importance for veterinary medicine. The aim of the study was to establish the age –related features of the course and branching of some veins of the pelvic cavity of Yorkshire pigs, to determine their morphometric parameters and to explain the relationship between the increase in length and diameter of blood vessels in the prenatal and postnatal periods. In the study of two age groups in fetuses and piglets aged 30 days, a significant increase in the linear and volumetric parameters of venous vessels is a direct consequence of the complex adaptation of the vascular system to the new conditions of postnatal life: a radical change in hemodynamics, rapid somatic growth, an increase in the volume of circulating blood and the need to ensure effective venous return in gravity. The predominance of an increase in diameter over an increase in length in almost all vessels emphasizes that the key adaptive mechanism is precisely the expansion of the vessel's lumen to increase its throughput and capacity. In the study of two age groups of piglets aged 30 and 60 days, there is a slight increase in venous vessel parameters, which indicates not a slowdown in development, but a transition from the stage of acute adaptation to the phase of stable and proportional growth, when the vascular system develops smoothly and synchronously with the whole organism.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Селекционные центры - важнейшее звено / В. Лабинов, К. Племяшов, Е. Сакса [и др.] // Животноводство России. – 2015. – № 10. – С. 34-38. – EDN UQGNYP.

2. Племяшов, К. В. Клинико-морфологические исследования яичников и матки бесплодных коров / К. В. Племяшов // Ветеринария. – 2010. – № 9. – С. 8-10.

3. Воспроизводительные качества свиноматок и интенсивность роста свиней пород ландрас и дюрок / Н. В. Зеленевский, М. В. Щипакин, С. Ю. Корзенников [и др.] // Иппология и ветеринария. – 2021. – № 3(41). – С. 52-56. – EDN SJOMPU.

4. Водянников В. Пути повышения эффективности воспроизводства свиней в условиях крупного промышленного комплекса/В. Водянников. Свиноферма, 2009. – №1. – С. 16-19.

5. Эмбриональная смертность у свиноматок: профилактика и лечение / В. П. Хлопицкий, А. В. Филатов, Л. М. Ушакова [и др.] // Свиноводство. – 2018. – № 2. – С. 43-46. – EDN YTOSJA.

6. Маленьких, Н. А. Венозная васкуляризация туловища свиньи породы ландрас / Н. А. Маленьких, С. И. Мельников // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: материалы XI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 24-25 ноября 2022 года. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2022. - С. 251-252.

7. Былинская, Д. С. Внутреннее позвоночное венозное сплетение у телят / Д. С. Былинская // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVII Международной научно-

производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 2. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 80-81. – EDN IMXDEO.
8. Сиповский, П. А. Анатомия яичника и маточной трубы рыси евразийской / П. А. Сиповский, Н. В. Зеленевский // Иппология и ветеринария. – 2012. – № 1(3). – С. 142-144.
9. Анатомия органов репродукции овцы романовской породы / М. В. Щипакин, С. А. Куга, Д. С. Былинская, С. В. Вирунен // Иппология и ветеринария. – 2016. – № 1(19). – С. 133-137. – EDN VPFFKD.
10. Ovarian morphology of Romanov sheep / A. Stratonov, N. Zelenevskiy, M. Shchipakin [et al.] // Reproduction in Domestic Animals. – 2019. – Vol. 54, No. S3. – P. 111.
11. Methods for studying the ductus venosus in animals / S. Melnikov, D. Bylinskaya, N. Zelenevskiy [et al.] // FASEB Journal. – 2022. – Vol. 36, No. S1. – P. 3727. – DOI 10.1096/fasebj.2022.36.S1.R3727. – EDN KHGKTO.
12. Багатомовний словник анатомічних термінів (українсько-латинсько-англійсько-російсько-білорусько-польсько-румунський) : Навчальний посібник / В. А. Костюк, E. Pasicka, M. В. Щипакин [et al.]. – Київ : Аграр Медіа Груп, 2016. – 840 p.
13. Патент № 2530159 C1 Российская Федерация, МПК A61K 49/04, A01N 1/02. Способ изготовления рентгеноконтрастной массы для вазорентгенографии при посмертных исследованиях животных: № 2013117666/13: заявл. 16.04.2013: опубл. 10.10.2014 / М. В. Щипакин, А. В. Прусаков, Д. С. Былинская, С. А. Куга; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины" (ФГБОУ ВПО СПБГАВМ). – EDN ENFUAV.

REFERENCES

1. Breeding centers are the most important link / V. Labinov, K. Plemyashov, E. Saksa [et al.] // Animal husbandry of Russia. – 2015. – No. 10. – pp. 34-38. – EDN UQGNYP.
2. Plemyashov, K. V. Clinical and morphological studies of the ovaries and uterus of infertile cows / K. V. Plemyashov // Veterinary medicine. 2010. No. 9. pp. 8-10.
3. Reproductive qualities of sows and the growth rate of pigs of the Landrace and Duroc breeds / N. V. Zelenevsky, M. V. Shchipakin, S. Y. Korzennikov [et al.] // Hippology and veterinary medicine. – 2021. – № 3(41). – Pp. 52-56. – EDN SJOMPU.
4. Vodyannikov V. Ways to increase the efficiency of pig reproduction in a large industrial complex. Vodyannikov. Pig Farm, 2009. No. 1. pp. 16-19.
5. Fetal mortality in sows: prevention and treatment / V. P. Khlopitsky, A.V. Filatov, L. M. Ushakova [et al.] // Pig breeding. – 2018. – No. 2. – pp. 43-46. – EDN YTOSJA.
6. Malykh, N. A. Venous vascularization of the trunk of a Landrace pig / N. A. Malykh, S. I. Melnikov // Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country: proceedings of the XI international scientific conference of students, postgraduates and young scientists, St. Petersburg, November 24-25, 2022. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 2022, pp. 251-252.
7. Bylinskaya, D. S. Internal vertebral venous plexus in calves / D. S. Bylinskaya // Challenges and innovative solutions in agricultural science: Proceedings of the XXVII International Scientific and Industrial Conference, Maysky, April 12, 2023. Volume 2. – Maisky: Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2023. – pp. 80-81. – EDN IMXDEO.
8. Sipovsky, P. A. Anatomy of the ovary and fallopian tube of the Eurasian lynx / P. A. Sipovsky, N. V. Zelenevsky // Hippology and veterinary medicine. – 2012. – № 1(3). – Pp. 142-144.
9. Anatomy of the reproductive organs of Romanov sheep / M. V. Shchipakin, S. A. Kuga, D. S. Bylinskaya, S. V. Virunen // Hippology and veterinary medicine. – 2016.

– № 1(19). – Pp. 133-137. – EDN VPFFKD.
10. Ovarian morphology of Romanov sheep / A. Stratonov, N. Zelenevskiy, M. Shchipakin [et al.] // Reproduction in Domestic Animals. – 2019. – Vol. 54, No. S3. – P. 111.
11. Methods for studying the ductus venosus in animals / S. Melnikov, D. Bylinskaya, N. Zelenevskiy [et al.] // FASEB Journal. – 2022. – Vol. 36, No. S1. – P. 3727. – DOI 10.1096/fasebj.2022.36.S1.R3727. – EDN KHGKTO.
12. Bagatomov dictionary of anatomical terms (Ukrainian-Latin-English-Russian-Belarusian-Polish-Rumunsky): Navchalny posibnik / V. A. Kostyuk, E. Pasicka, M. V. Shchipakin [et al.]. Kiev: Agrarian Media Group, 2016. 840 p.
13. Patent No. 2530159 C1 Russian Federation, IPC A61K 49/04, A01N 1/02. Method of manufacturing radiopaque mass for vasorentgenography in postmortem studies of animals: No. 2013117666/13: application 04/16/2013: published 10.10.2014 / M. V. Shchipakin, A.V. Prusakov, D. S. Bylinskaya, S. A. Kuga; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "St. Petersburg State Academy of Veterinary Medicine" (FSBEI VPO SPBGAVM). – EDN ENFUAV.

УДК: 636.1:617.3
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.349

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕСАМОВИДНОЙ КОСТИ У КРС ПРИ АРТРОЗЕ КОПЫТЦЕВОГО СУСТАВА

Борхунова Е.Н. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. анатомии и гистологии им. проф. А.Ф. Климова (ORCID 0000-0003-2355-8616); **Белогуров В.В.* –** канд. ветеринар. наук, доц. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0000-0003-0204-3808); **Позябин С.В. –** д-р ветеринар. наук, проф., ректор, зав. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0000-0002-3825-6082); **Качалин М.Д. –** канд. ветеринар. наук, доц. каф. ветеринарной хирургии (ORCID 0000-0001-5942-8771); **Кузнецова М.А. –** асс. каф. анатомии и гистологии животных им. проф. А.Ф. Климова (ORCID 0000-0002-2031-12907); **Набоков С.В. –** асс. каф. анатомии и гистологии животных им. проф. А.Ф. Климова.

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина»

*kalancha123@mail.ru

Ключевые слова: *крупный рогатый скот, сесамовидная кость третей фаланги, суставной хрящ, энтезы*

Keywords: *cattle, sesamoid bone of the third phalanx, articular cartilage, entheses*

Финансирование. *Исследования проведены в рамках выполнения исследований по гранту Российского научного фонда №23-16-00023 «Метаболические и морфофункциональные взаимосвязи при ортопедических патологиях у высокопродуктивного крупного рогатого скота как научная основа разработки методов их коррекции и профилактики».*

Поступила: 14.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн:15.09.2025



РЕФЕРАТ

Распространенность патологий суставов пальцев у молочного скота в условиях интенсивного ведения животноводства определяет необходимость поиска научно обоснованного подхода к изучению заболеваний дистального отдела конечностей с привлечением данных морфологических исследований. Это необходимо для совершенствования методов профилактики и диагностики патологий конечностей у крупного рогатого скота и связано с тем, что деструктивные изменения в этом анатомическом регионе приводят к системным сбоям в организме и сопровождаются снижением продуктивности животных. В настоящее время изучены не все аспекты патогенеза артрозов пальцевых суставов у коров. Цель работы – представить данные о морфологических изменениях сесамовидных костей третей фаланги, их связок и костно-связочных соединений у коров молочного направления продуктивности. Изучены изолированные акроподии от 20-ти голштинизированных коров в возрасте 4-х лет. Секционный материал подвергали анатомическому препарированию, при этом осматривали копытцевые суставы 3 и 4 пальцев, акцентируя внимание на состоянии сесамовидных костей третей фаланги. Суставные поверхности сесамовидных

костей, костно-связочные соединения и боковые связки подвергали гистологическому исследованию по общепринятой методике. Микропрепараты изучали с помощью микроскопов Jenamed-2 и MicroScreen. В результате проведенных исследований получены оригинальные данные о деструктивных изменениях суставной поверхности сесамовидных костей третьей фаланги, состоянии костно-связочных соединений и связок, что дополняет представления о глубине и распространенности патологического процесса при артрозах копытцевого сустава у коров молочного направления продуктивности.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Несмотря на то, что современные способы содержания, транспортировки и перегонов крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, а также новые методы фиксации и способы доения позволили снизить травматизм, артрологические патологии в области дистального отдела конечностей по-прежнему широко распространены у этих животных [1 - 3].

Это связано с тем, что на первый план выходят иные этиологические факторы, в частности, гипокинезия, возросшая антропогенная нагрузка и повышение скученности при содержании стада в коровниках [4, 5].

На этом фоне в ходе ортопедической диспансеризации часто выявляются артрозы пальцевых суставов, из которых особенно значительно поражаются копытцевые суставы. Это сопровождается выраженным болевым синдромом, нарушением локальной гемодинамики [4 - 12].

При изучении данной патологии не уделялось внимания деструктивным изменениям сесамовидных костей, которые, как известно, играют важную роль в обеспечении биомеханики конечности, оптимизируя угол прикрепления сухожилия глубокого сгибателя пальца к кости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ / MARTERIALS AND METHODS

В исследовании использованы изолированные акроподии от 20-ти голштинизированных коров в возрасте 4-х лет. Секционный материал подвергали анатомическому препарированию, при этом осматривали копытцевые суставы 3 и 4 пальцев, акцентируя внимание на состоянии сесамовидных костей третей фаланги. Для анатомического препарирования использовали изолированные кисти. Для гистологических исследований отбирали материал из суставных поверхностей сесамовидных костей и костно-связочных соединений (энтезов) боковых связок.

Исследования проводили по общепринятой методике: материал фиксировали в 10%-м растворе формалина, заливали в парафин, готовили срезы, которые окрашивали гематоксилином и эозином для оценки общей морфологической картины, по Ван-Гизон для визуализации состояния коллагеновых структур и альциановым синим для оценки содержания суммарных фракций гликозаминогликанов и изучали с помощью микроскопов Jenamed-2 и MicroScreen.

Исследования проведены в рамках выполнения исследований по гранту Российского научного фонда №23-16-00023 «Метаболические и морфофункциональные взаимосвязи при ортопедических патологиях у высокопродуктивного крупного рогатого скота как научная основа разработки методов их коррекции и профилактики».

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате проведенных исследований было установлено, что артрозы третьей фаланги постоянно сопровождаются деструктивными изменениями сесамовидных костей, которые выражены в большей степени на латеральном пальце. Это проявляется разрушением суставного хряща, вплоть до его полного локального исчезновения, в том числе в области костно-связочных соединений (рис. 1).

При микроскопических исследованиях суставной поверхности сесамовидной кости третьей фаланги выявлена очаговая деструкция суставного хряща и его замещение соединительнотканным регенератом (рис. 2). Перифокально от области деструкции межтерриториальный и матрикс суставного хряща обеднен гликоза-

миногликанами, хондроциты пикноморфны или некротически изменены, что указывает на тенденцию к распространению повреждения. В сесамодвидных костях обнаружена важная находка. На деструктивно измененной поверхности, покрытой паннусом, наблюдается проникновение с поверхности в межтрабекулярные пространства соединительной ткани, содержащей не только кровеносные сосуды, но и крупные нервные стволики. Этот факт свидетельствует о том, что при артрозе копытцевых суставов может не только развиваться выраженный болевой синдром, но и происходить усугубление дистрофических изменений на почве нейро-

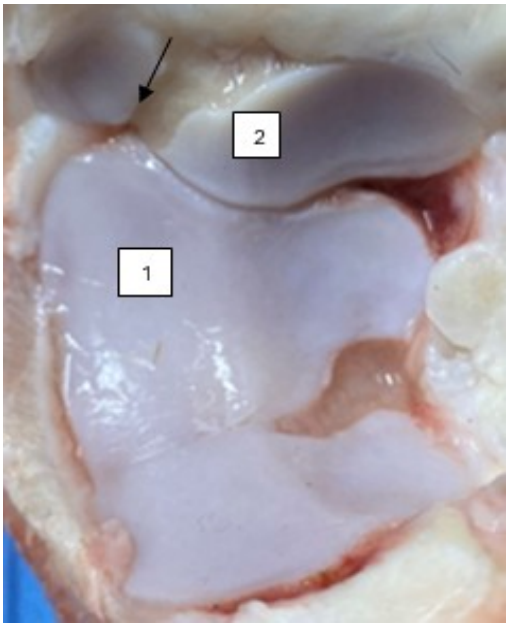


Рисунок 1 – Деструктивные изменения суставного хряща на суставной поверхности сесамовидной кости третей фаланги у крупного рогатого скота. 1 – сесамовидная кость, стрелкой показан дефект суставного хряща. 2 – суставная поверхность 3 фаланги.

трофических расстройств из-за нарушения иннервации стенок сосудов.

Кроме того, структурные изменения наблюдали в костно-связочных соединениях сесамовидных костей (энтезах). Костно-связочные соединения сесамовидных костей относятся к фиброзно-хрящевому типу, в них гистологически определяются зоны связки, фиброзного хряща, минерализованного фиброзного хряща и субхондральной кости. В области энтеза выявлены признаки отека в области фиброзного хряща, трещины в зоне минерализованного фиброзного хряща, а также рарефикация субхондральной кости. Все это свидетельствует о перманентном микротравмировании энтеза и способствует усугублению патологического состояния (рис. 3).

Выраженные склеротические изменения наблюдаются в боковых связках сесамовидной кости. Так, выявлены склеротические изменения в пучках плотной оформленной соединительной ткани, формирующих связку, а также в эндодесмальных прослойках рыхлой волокнистой соединительной ткани (рис. 4).

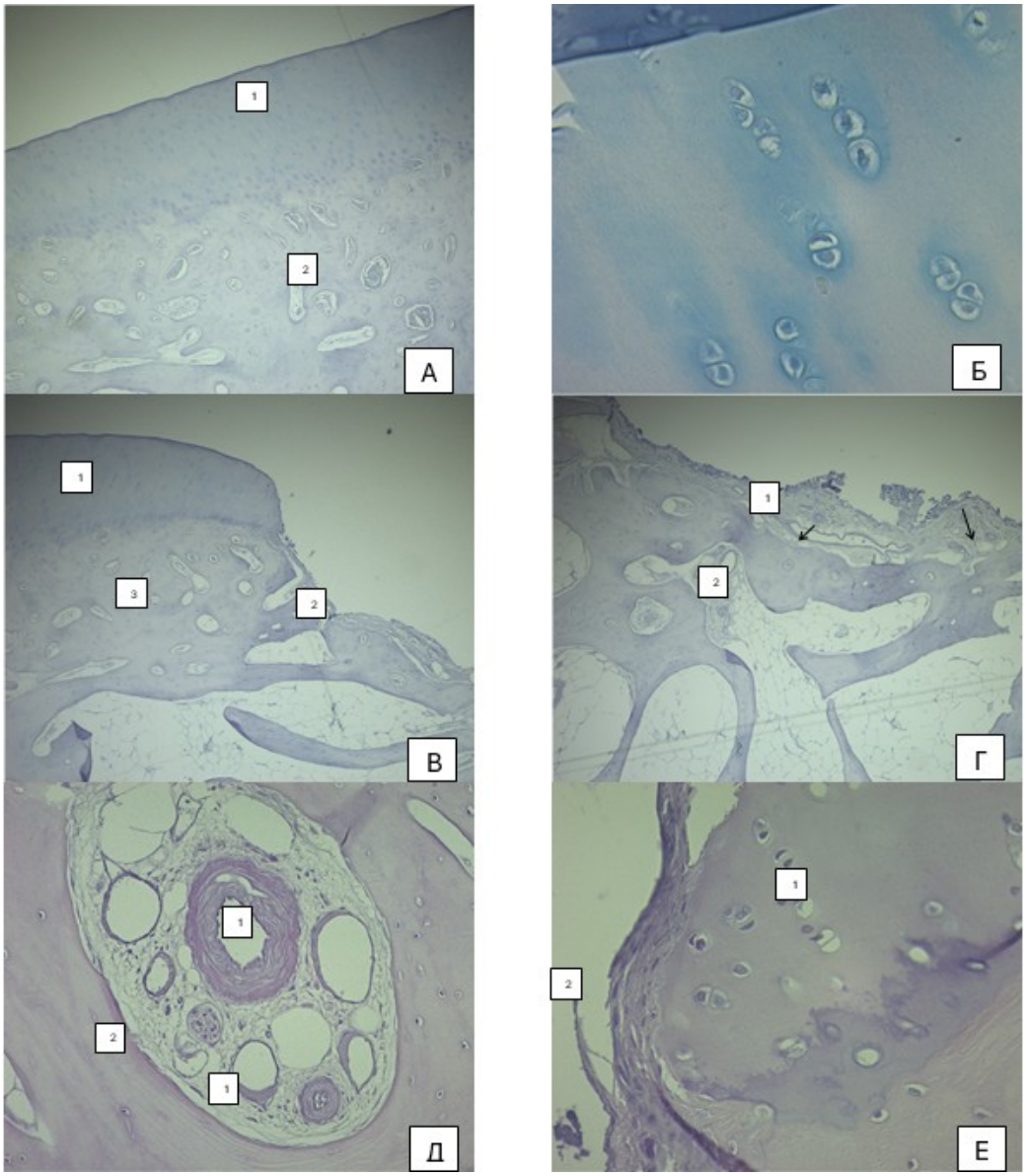


Рисунок 2 – Микроструктура суставного хряща и субхондральной кости сесамовидной кости третей фаланги крупного рогатого скота при артрозе копытцевого сустава.

А – область с относительной сохранностью суставного хряща (1): поверхность хряща неровная, фронт минерализации не определяется, содержание суммарных гликозаминогликанов снижено (слабая альцианофилия матрикса). 2 – субхондральная кость. Альциановый синий, х40. Б – средняя зона суставного хряща: интенсивная альцианофилия (зеленое окрашивание) наблюдается лишь очагово, около изогенных групп клеток, в остальных зонах интертерриториального матрикса содержание гликозами-

ногликанов снижено. Альциановый синий, х400. В – область деструкции суставного хряща: край дефекта сформирован суставным хрящом (1), дефект заполнен соединительной тканью (2). Субхондральная кость (3) имеет разреженную структуру. Альциановый синий, х40. Г – соединительнотканный регенерат (1) содержит крупные кровеносные сосуды (стрелки), 2 – субхондральная кость. Альциановый синий, х40. Д – соединительная ткань регенерата проникает в межтрабекулярные пространства и содержит кровеносные сосуды (1) и нервные стволики (2). Гематоксилин и эозин, х200. Е – край дефекта: суставной хрящ (1) содержит пикноморфные хондроциты, на его поверхности виден соединительнотканный паннус (2), продолжающийся на область дефекта. Гематоксилин и эозин, х400.

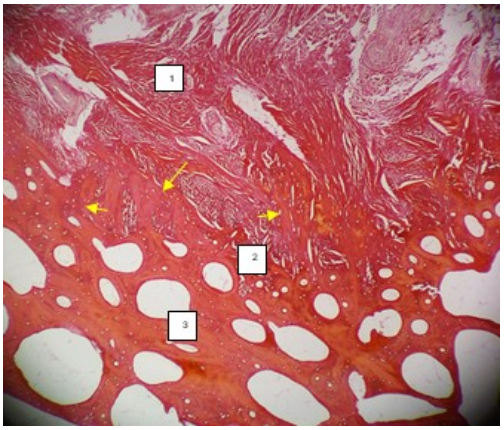


Рисунок 3 – Микроструктура костно-связочного соединения сесамовидной кости 3 фаланги и боковой связки. 1 – область фиброзного хряща с признаками отека, 2 – область минерализованного фиброзного хряща содержит трещины (показаны стрелкой), 3 – субхондральная кость рарефицирована. Ван-Гизон, х100.

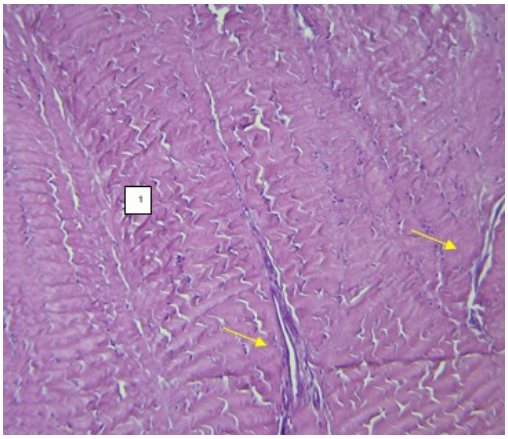


Рисунок 4 – Боковая связка сесамовидной кости третей фаланги. 1 – пучки коллагеновых волокон с признаками деформации на фоне склероза, стрелками показаны прослойки рыхлой волокнистой соединительной ткани с признаками склероза. Гематоксилин и эозин, х100.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенные исследования показали, что артрозы копытцевого сустава сопровождаются деструкцией суставного хряща и энтезопатиями сесамовидных костей третей фаланги, рубцовыми изменениями их связочного аппарата. Деструктивные изменения сесамовидных костей вносят существенный вклад в ограничение подвижности сустава, а также в формирование болевого синдрома и нейротрофических нарушений при патологиях дистального отдела конечностей крупного рогатого скота. Полученные данные дополняют представления о патогенезе артрозов копытцевых суставов.

MORPHOLOGICAL CHANGES OF THE SESAMOID BONE WITH ARTHROSIS OF THE UNGULATE JOINT

Borkhunova E.N. – D.Biol.N., Associate Professor, Head of the Department of Anatomy and Histology named after Prof. A.F. Klimov https://orcid.org/0000-0003-2355-8616; **Belogurov V.V. * –** K. Vet N., Associate Professor of Veterinary Surgery https://orcid.org/0000-0003-0204-3808**;**
Pozyabin S.V. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Rector of the K.I. Scriabin Moscow State Medical University, Head of the Department of Veterinary Surgery https://orcid.org/0000-0002-3825-6082;

Kuznetsova M.A. – ass. kaf. anatomy and histology of animals named after Prof.A.F. Klimov https://orcid.org/0000-0002-2031-12907; **Nabokov S. V**. – ass. kaf. anatomy and histology of animals named after Prof.A.F. Klimov.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin»

*kalancha123@mail.ru

Financing: *The research was carried out as part of research under the grant of the Russian Science Foundation №23-16-00023 "Metabolic and morphofunctional relationships in orthopedic pathologies in highly productive cattle as a scientific basis for the development of methods for their correction and prevention."*

ABSTRACT

The prevalence of finger joint pathologies in dairy cattle in conditions of intensive animal husbandry requires the search for a scientifically based approach to the study of diseases of the distal extremities using data from morphological studies. This is necessary to improve methods for the prevention and diagnosis of limb pathologies in cattle and is due to the fact that destructive changes in this anatomical region led to systemic failures in the body and are accompanied by a decrease in animal productivity. However, not all aspects of the pathogenesis of arthrosis of the finger joints in cows are currently studied. The purpose of the work is to provide data on the morphological changes of the sesamoid bones of the 3rd phalanx, their ligaments and bone-ligament connections in cows of the milk direction of productivity. Isolated acropodies from 20 cows of holstinized cows of 4 years old were studied. The sectional material was anatomically dissected, and the hoof joints of the 3 and 4 fingers were examined, focusing on the sesamoid bones of the 3 phalanges. Joint surfaces of sesamoid bones and areas of osseous-ligamentous connections and proximal and distal ligaments were subjected to histological examination according to a generally accepted technique. Micro preparations were examined using Jenamed-2 and MicroScreen microscopes. As a result of the studies, original data were obtained on destructive changes in the articular surface of the sesamoid bones of the third phalanx, as well as bone-ligament connections and ligaments, which complement the idea of the depth and prevalence of the pathological process in arthrosis of the ungulate joint in cows of the milk direction of productivity.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Марьин, Е. М. Характеристика ортопедических патологий у крупного рогатого скота / Е. М. Марьин, В. А. Ермолаев, О. Н. Марьина, И. С. Раксина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2012. - № 4. - С. 66-69.

2. Позябин, С. В. Сравнительная характеристика структуры ортопедических патологий коров голштино-фризской и голштинизированной черно-пестрой пород / Позябин С. В., Филиппов Ю.И., М. Д. Качалин, В. В. Белогуров, Борисов М.С. // Ветеринария, зоотехния, биотехнология. - 2018. - №11.- С. 19-24.

3. Волотко, И. И. Профилактика и лечение болезней дистального отдела конечностей коров / И. И. Волотко, А. Н. Безин, Н. И. Бутакова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5(49). – С. 96-98. – EDN TBRQIX.

4. Быстрова, И. Ю. Биофизические свойства копытцевого рога и формирование копытец крупного рогатого скота под влиянием генетических и технологических факторов: специальность 06.02.04 "Ветеринарная хирургия»: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Быстрова Ирина Юрьевна. – Рязань, 2008. – 291 с. – EDN NQLCPH.

5. Белогуров, В.В. Молекулярно-метаболические изменения у дойных коров при патологиях копытец / Белогуров В.В., Позябин С.В., Азарнова Т.О., Кача-

лин М.Д. Ветеринария, зоотехния, биотехнология // 2025. - №3. - С. 31-40. DOI: 10.36871/vet.zoo.bio.202503104.
6. Суворова, Е. С. Анализ распространенности поражений копытец у крупного рогатого скота в условиях промышленного комплекса / Е. С. Суворова // Дни студенческой ветеринарной науки: Сборник статей I Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Киров, 01–03 марта 2022 года. Том Выпуск 1. – Киров: ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2022. – С. 106-109. – EDN JZOZZB.
7. Руколь, В. М. Причины заболеваний дистального участка конечностей у высокопродуктивных коров / В. М. Руколь, В. А. Журба // Современные технологии сельскохозяйственного производства: Материалы конференции, Гродно, Беларусь, 01 января – 31 2009 года. – Гродно, Беларусь: Гродненский государственный аграрный университет, 2009. – С. 435-436. – EDN YMBRFF.
8. Кириллов, А. А. Васкуляризация дистального отдела конечностей у крупного рогатого скота / А. А. Кириллов // Иппология и ветеринария. – 2012. – № 4(6). – С. 71-75. – EDN PYCMVP.
9. Горбунов, П. А. Ортопедические поражения у крупного рогатого скота в условиях молочной фермы / П. А. Горбунов, Е. И. Лыкова, Д. А. Буров // Современное состояние и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической науки: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Чебоксары, 29 октября 2020 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2020. – С. 236-242. – EDN NRSBQX.
10. Стекольников, А.А. Заболевания конечностей у крупного рогатого скота при интенсивном ведении животноводства, пути профилактики и лечения / А.А. Стекольников // Актуальные проблемы ветеринарной хирургии. Материалы Международной конференции. - Ульяновск: УГСХА, 2011. - С. 3-7.
11. Позябин, С.В. Сочетанные патологии дистального отдела конечностей у коров молочного направления продуктивности / С. В. Позябин, Е. Н. Борхунова, В. В. Белогуров, М.Д. Качалин, Т.О. Азарнова, М.А. Кузнецова, И.Д. Лясковский, Э. К. Гасангусейнова // Международный вестник ветеринарии. - 2024. - №2. - С. 372-371. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.2.362.
12. Борисевич, В. Б. Деформация копытец у крупного рогатого скота. Анатомическое, гистологическое, гистохимическое, клиническое и патологоанатомическое исследование: дис. д-ра ветеринар. наук /В. Б. Борисевич. - Киев, 1983.

REFERENCES

1. Marin, E. M. Characteristics of Orthopedic Pathologies in Cattle / E. M. Marin, V. A. Ermolaev, O. N. Marin, and I. S. Raksina // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2012. - No. 4. - Pp. 66-69.
2. Pozyabin, S. V. Comparative Characteristics of the Structure of Orthopedic Pathologies in Holstein-Friesian and Holsteinized Black-and-White Cows / Pozyabin S. V., Filippov Yu. I., M. D. Kachalin, V. V. Belogurov, and M. S. Borisov // Veterinary Medicine, Animal Husbandry, and Biotechnology. - 2018. - No. 11. - Pp. 19-24.
3. Volotko, I. I. Prevention and Treatment of Diseases of the Distal Limb of Cows / I. I. Volotko, A. N. Bezin, N. I. Butakova // Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University. – 2014. – No. 5(49). – Pp. 96-98. – EDN TBRQIX.
4. Bystrova, I. Yu. Biophysical properties of hoof horn and formation of cattle hooves under the influence of genetic and technological factors: specialty 06.02.04 "Veterinary Surgery" : dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences / Bystrova Irina Yurievna. – Ryazan, 2008. – 291 p. – EDN NQLCPH.
5. Belogurov, V.V. Molecular and Metabolic Changes in Dairy Cows with Hoof Pathologies / Belogurov V.V., Pozyabin S.V., Azarnova T.O., Kachalin M.D. Veterinary Medicine, Animal Husbandry, and Biotechnology // 2025. - No. 3. - Pp. 31-40. DOI: 10.36871/vet.zoo.bio.202503104.
6. Suvorova, E. S. Analysis of the preva-

lence of hoof lesions in cattle in an industrial complex / E. S. Suvorova // Days of Student Veterinary Science: Collection of Articles from the I All-Russian Student Scientific and Practical Conference, Kirov, March 01–03, 2022. Volume Issue 1. – Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2022. – Pp. 106-109. – EDN JZOZZB.

7. Rukol, V. M. Causes of Diseases of the Distal Limb in High-Productive Cows / V. M. Rukol, V. A. Zhurba // Modern Technologies of Agricultural Production: Conference Proceedings, Grodno, Belarus, January 01 – 31, 2009. – Grodno, Belarus: Grodno State Agrarian University, 2009. – Pp. 435-436. – EDN YMBRFF.

8. Kirillov, A. A. Vascularization of the Distal Limb in Cattle / A. A. Kirillov // Hippology and Veterinary Medicine. – 2012. – No. 4 (6). – Pp. 71-75. – EDN PYCMVP.

9. Gorbunov, P. A. Orthopedic lesions in cattle on a dairy farm / P. A. Gorbunov, E. I. Lykova, D. A. Burov // Current state and prospects of development of veterinary and animal science: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Cheboksary, October 29, 2020. – Cheboksary: Chuvash State Agrarian University, 2020. – P. 236-242. – EDN NRSBQX.

10. Stekolnikov, A.A. Limb diseases in cattle under intensive livestock farming, ways of prevention and treatment / A.A. Stekolnikov // Actual problems of veterinary surgery. Materials of the International Conference. - Ulyanovsk: UGAHA, 2011. - Pp. 3-7.

11. Pozyabin, S.V. Combined pathologies of the distal part of the limbs in dairy cows / S. V. Pozyabin, E. N. Borkhunova, V. V. Belogurov, M.D. Kachalin, T.O. Azarnova, M.A. Kuznetsova, I.D. Lyaskovsky, E. K. Gasanguseynova // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2024. - No. 2. - Pp. 372-371. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.2.362.

12. Borisevich, V. B. Deformation of Hooves in Cattle. Anatomical, Histological, Histochemical, Clinical, and Pathological Anatomical Research: Dissertation of Doctor of Veterinary Sciences / V. B. Borisevich. - Kiev, 1983.

УДК: 618.19-002:612.017.1:619
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.357

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕАКТИВНОСТИ, ИНТОКСИКАЦИИ И АКТИВНОСТИ ВОСПАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТОЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕЙКОЦИТАРНЫХ ИНДЕКСОВ

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, кровь, лейкоцитарные индексы, иммунитет, воспаление.*
Keywords: *Cattle, blood, leukocyte indices, immunity, inflammation.*

Поступила: 30.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Лейкоцитарные расчетные индексы являются важными инструментами для оценки воспалительной реакции, иммунного ответа, интоксикации и аллергизации организма. В настоящей работе мы оценили уровень реактивности, интоксикации и активности воспалительного процесса в железистой и соединительной ткани у крупного рогатого скота в сравнительном аспекте с использованием лейкоцитарных индексов. Объектом исследований являлись первотелки и лактирующие коровы голштинской породы, которые содержались в одном из животноводческих комплексов Ленинградской области. Животные были разделены на 3 группы: 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 исследуемых животных второй группы наблюдали острое воспаление молочной железы со следующими клиническими признаками: повышение температуры тела до 41С◦, угнетенное состояние, увеличение пораженной четверти молочной железы, болезненность в области воспаления, увеличение надвыменного лимфатического узла, при сдаивании из пораженной области выделялся водянистый серозный секрет со сгустками казеина. В группе с воспалением соединительной ткани были признаки острого артрита: болезненность при пальпации, флюктуация в пораженной области, отечность сустава, повышение местной температуры, хромота. Подсчёт лейкоцитарных индексов производился по формулам, характеризующим соотношение содержания различных форм лейкоцитов. Результаты расчета лейкоцитарных индексов показали активацию врожденных иммунных механизмов, а также сильную интоксикацию у больных животных второй группы, что подтверждает наличие у них острофазной реакции, сопутствующей воспалению железистой ткани. У животных третьей группы воспаление соединительной ткани сопровождалось выраженной интоксика-

цией и повышенной аллергической готовностью организма. При этом можно отметить, что системный ответ организма на воспаление железистой ткани более интенсивен.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Система крови имеет много функций и реагирует даже на незначительные изменения гомеостаза. Соотношение гранулоцитов и агранулоцитов дает врачу информацию о том, какие механизмы включаются для элиминации патогена. Патологический процесс действует как на систему крови, так и на организм в целом, показатели лейкограммы не дают полной информации о реакции организма на вредоносное воздействие, поэтому одним из важных диагностических методов является расчёт лейкоцитарных индексов. Гематологические расчетные индексы являются прогностическими инструментами при анализе характера воспаления, активации иммунного ответа и при получении дополнительной информации о степени интоксикации и аллергизации организма [3]. Лейкоцитарные индексы позволяют оценить состояние животного, не прибегая к специальным методам исследования.

По мнению ряда авторов основными индексами оценки клеточной реактивности в организме являются: индекс сдвига лейкоцитов крови (ИСЛ), лейкоцитарный индекс интоксикации Я.Я. Кальф-Калифа и лейкоцитарный индекс интоксикации Б.А. Рейса [6,5].

Отражение взаимосвязи гуморального и клеточного иммунитета у исследуемых животных, а также оценку стрессового состояние и адаптивных функций помогает оценить индекс Гаркави [1].

Ядерный индекс сдвига (ЯИС) уточняет о состояние миелопоэза, а именно нейтропоэза у исследуемых животных, также он имеет большое диагностическое значение для определения ядерного сдвига нейтрофилов [1,5].

Индекс соотношения количества эозинофилов и лимфоцитов (ИСЭЛ) играет ключевую роль в оценке иммунной системы. Эозинофилы связаны с аллергическими процессами, в то время как лимфоциты отвечают за вирусные инфекции и опухолевые процессы, получение данного индекса указывает на тип иммунного ответа при определенной патологии.

Лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс (ЛГИ) указывает на состояние иммунной системы и активность воспалительного процесса [2]. Лимфоциты участвуют в формировании специфического иммунного ответа, тогда как гранулоциты участвуют в неспецифической защите организме [5,9].

Ядерный индекс Даштаянца Г.Д. (ЯИ) – это соотношение количества моноцитов и палочкоядерных нейтрофилов к уровню сегментоядерных нейтрофилов, данный гематологический индекс характеризует регенеративную способность нейтрофилов, моноцитов и продолжительность их циркуляции в кровеносном русле [9].

Лейкоцитарные индексы показывают состояние гомеостатических систем организма, его способность адаптироваться [1, 6]. При этом не нужно прибегать к специальным методам исследования, чтобы оценить состояние животного, что является весьма удобно и актуально как в условиях ветеринарных клиник, так и в хозяйствах

Цель исследования – оценить уровень реактивности, интоксикации и активности воспалительного процесса при воспалении железистой и соединительной ткани у крупного рогатого скота в сравнительном аспекте с использованием расчетных лейкоцитарных индексов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Объектом исследований являлись первотелки и лактирующие коровы голштинской породы, которые содержались в одном из животноводческих комплексов Ленинградской области. Животные были разделены на 3 группы: 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 исследуемых животных второй группы наблюдали острое воспаление молочной железы со следующими клиническими признаками: повышение темпе-

ратуры тела до 41С◦, угнетенное состояние, увеличение пораженной четверти молочной железы, болезненность в области воспаления, увеличение надвыменного лимфатического узла, при сдаивании из пораженной области выделялся водянистый серозный секрет со сгустками казеина.

В группе с воспалением соединительной ткани были признаки острого артрита: болезненность при пальпации, флюктуация в пораженной области, отечность сустава, повышение местной температуры, хромота.

По результатам исследований крови и выведения лейкограммы у животных всех групп мы выполнили расчет гематологических лейкоцитарных индексов по формулам, отражающим соотношение содержания различных форм лейкоцитов: индекс Гаркави (ИГ)(Л/С) , лейкоцитарный индекс интоксикации Я.Я. Кальф-Калифа (ЛИИ Кальф-Калифа)(4хМ+3хЮ+П+С)(Пл+1)/(М+Л)(Э+1), лейкоцитарный индекс интоксикации Б.А. Рейса (ЛИИ Рейса)(М+Мл+Н/М+Л+Э), индекс аллергизации (ИА)(1+Э)х10+Л/Н+М+Б)), ядерный индекс степени эндотоксикоза (ЯИСЭ)(М+Мм+П/С), индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ)(Л/М), ядерный индекс сдвига (ЯИС)(Мл+Мм+П/С), индекс иммунореактивности по Д.О. Иванову (ИИР)(Л+Э/М), индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ)(Мл+Мм+П+С/М), индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ)(Л\Э или Л/1), индекс соотношения эозинофилов и лимфоцитов (ИСЭЛ)(Э/Л), нейтрофильно-лимфоцитарный коэффициент (НЛК)(Мл+Мм+П+С/Л), индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ)(Э+Б+Мл+Мм+П+С/М+Л), лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс (ЛГИ)(Л/Э+Б+Мл+Мм+П+С) и ядерный индекс Даштаянца Г.Д. (ЯИ) (М+Ю+П/С) [1,3,6,8].

Статистическую обработку проводили традиционными методами. Различия между парами групп оценивали параметрическим методом (t-критерий Стьюдента). Различия признаны достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные лейкоцитарные индексы у больных и здоровых животных (M ±m, n=20)

Показатели	Группы животных		
	1	2	3
1. ИГ	1,94±0,72	**0,19±0,05***	1,96±0,39
2.ЛИИ Кальф-Калифа	0,84±0,34	**5,96±2,15***	**5,44±2,22***
3.ЛИИ Рейса	0,56±0,25	**2,58±0,39***	0,40±0,08
4. ИА	9,50±1,46	**3,17±0,64***	**13,58±1,23***
5. ЯИСЭ	0,32±0,29	0,39±0,09	0,67±0,17
6.ИСЛМ	11,10±9,63	0,71±0,15	3,53±0,7
7. ЯИС	0,00±0,00	**0,16±0,08***	0,22±0,13
8. ИИР	11,84±9,96	0,77±0,15	4,76±0,83
9. ИСНМ	7,66±7,47	4,51±0,52	2,27±0,54
10. ИСЛЭ	13,69±7,81	4,14±2,68	6,19±1,95
11. ИСЭЛ	0,09±0,06	0,09±0,11	**0,37±0,11***
12. НЛК	0,67±0,28	**6,75±1,68***	0,67±0,18
13. ИСЛ	0,67±0,24	**2,70±0,38***	0,80±0,19
14. ЛГИ	0,04±0,03	**0,16±0,04***	**1,03±0,23***
15. ЯИ	0,81±0,65	**0,39±0,09***	0,67±0,17

**p≤0,05 в сравнении с группой клинически здоровых животных.*

В ходе исследований мы обнаружили, что у животных при воспалении железистой ткани (2-я группа) индекс Гаркави был ниже, чем у здоровых животных. Изучаемый индекс дает возможность оценки взаимосвязи клеточного и гуморального звеньев иммунитета, определить возможное стрессовое состояние животного и рассмотреть активность адаптивных функций организма. Уменьшение показателя во второй группе животных в 10,0 раз ($p \leq 0,05$) по сравнению со здоровыми указывает на неполноценность иммунного ответа при изучаемой модели воспалительной реакции [1]. Модель воспаления соединительной ткани продемонстрировала отсутствие достоверных различий по сравнению со здоровыми животными.

ЛИИ Кальф-Калифа является показателем, отражающим степень эндогенной интоксикации организма, процессы тканевой деградации и остроту воспаления. Индекс представляет соотношение уровней клеток, которые увеличиваются при воспалительных и гнойных процессах, то есть нейтрофильные лейкоциты, к клеткам, количество которых при этих процессах может снижаться - лимфоциты, эозинофилы, моноциты. Повышение коэффициента в обоих случаях при изучаемых моделях воспалительной реакции (во второй группе в 7,0 раз ($p \leq 0,05$) и в 6 раз ($p \leq 0,05$) в третьей группе по сравнению со здоровыми животными) указывает на сильную интоксикацию организма, активные процессы тканевой деградации и свидетельствует о остром течении воспалительного процесса. Повышение коэффициента во второй группе животных обусловлено снижение лимфоцитов до $2,5 \pm 0,66$ 10^9/л, однако в третьей группе мы не обнаружили существенного снижения лимфоцитов, что указывает на наличие инфекционно-воспалительного процесса в организме, однако иммунная система справляется с данными процессами.

Лейкоцитарный индекс Б.А.Рейса является индикатором степени интоксикации, тяжести течения воспалительного процесса, деградации тканей и оценки работы иммунной системы. Увеличение индекса в 4,6 раз ($p \leq 0,05$) у животных второй группы по сравнению с группой здоровых животных указывает на сильную интоксикацию у коров, сопутствующую воспалению молочной железы, в то время как показатель у животных с воспалением соединительной ткани не имел достоверных различий с таковым у здоровых животных.

Индекс аллергизации является показателем, считывающим аллергическую реакцию на основе лейкоцитарной формулы. Уменьшение индекса аллергизации в 3,0 раза ($p \leq 0,05$) у больных животных второй группы указывает на уменьшение количества циркулирующих лимфоцитов и понижение работы адаптивного звена иммунной системы, однако в третьей группе животных коэффициент был в 1,4 раза ($p \leq 0,05$) выше по сравнению с первой группой животных, что свидетельствует об активной ответной реакции организма и его сенсибилизации при воспалении соединительной ткани. Во второй группе животных мы наблюдали существенное снижение количества циркулирующих лимфоцитов на 64% от нижней нормы референсных значений, а в третьей группе мы обнаружили увеличение количество эозинофилов на 71%.

ЯИС отражает скорость регенерации и продолжительность жизни гранулоцитов в кровяном русле. Показатель помогает в оценке течения патологического процесса, проявлении осложнений и прогнозировании исхода болезни. В группе коров при катаральном мастите показатель был выше на 16,0 % ($p \leq 0,05$) по сравнению со значением в группе здоровых животных, что свидетельствует о выраженном сдвиге лейкоцитарной формулы влево. Содержание палочкоядерных нейтрофоилов во второй группе составило $1,2 \pm 0,6$ 10^9/л , а сегментоядерных нейтрофилов $13,24 \pm 0,71$ 10^9/л. Такие изменения прослеживаются при остром воспалительном процессе в организме при активной работе иммунной системы. При воспалении соединительной ткани показатели в группе составили $0,22 \pm 0,13$ ед, что достовер-

но превышало показатели в группе здоровых животных.

Нейтрофильно-лимфоцитарный индекс представляет соотношение врожденного и адаптивного компонента иммунного ответа в организме животного. Увеличение индекса во второй группе коров в 10,0 раз ($p \leq 0,05$) при сравнении с первой группой связано с повышенным содержанием гранулоцитов и снижением содержания агранулоцитов в крови исследуемых животных.Содержание палочкоядерных нейтрофоилов во второй группе повысилось на 20% от верхней границы референсных значений, а количество сегментоядерных нейтрофилов составило 4% выше референсных значений. Таким образом, изменения нейтрофильно-лимфоцитарного индекса указывают на усиленную работу врожденных компонентов иммунной системы при воспалительном процессе в железистой ткани.

ИСЛ отражает отношение суммы гранулоцитов к сумме агранулоцитов. Повышение индекса свидетельствует о нарушении иммунологической реактивности и об активном воспалительном процессе, что в данном случае мы и обнаружили при сравнении исследуемых групп животных, увеличение показателя в 10,0 раз ($p \leq 0,05$) указывает на активный острый воспалительный процесс у коров с катаральным воспалением молочной железы, в то время как у животных с воспалением соединительной ткани показатель не имел достоверных отличий от такового у здоровых животных.

При рассмотрении ИСЭЛ в третьей группе животных, мы обнаружили повышение индекса в 4,0 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с первой группой животных, изменение показателя указывает на коллагеноз, а также повышенную аллергическую готовность у животных с воспалением соединительной ткани.

Одним из важных индексов для дифференциации типа аутоинтоксикации является лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс. В нашем случае ЛГИ во второй группе исследуемых животных был увеличен в 4,0 раза ($p \leq 0,05$) и в 26,0 раз ($p \leq 0,05$) в третьей группе по сравнению первой группой животных. Повышение показателя связано с наличием эндогенного фактора в развитии интоксикации у коров с воспалением железистой ткани и соединительной ткани.

Исходя из данных таблицы 1, мы видим, что у животных второй группы ЯИ был ниже, чем у здоровых в 2,0 раза ($p \leq 0,05$), и это в свою очередь указывает на активный процесс элиминации нейтрофилами антигенов и свидетельствует о напряженной работе фагоцитов.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, результаты расчета лейкоцитарных индексов показали активацию врожденных иммунных механизмов, а также сильную интоксикацию у больных животных второй группы, что подтверждает наличие у них острофазной реакции, сопутствующей воспалению железистой ткани [10]. У животных третьей группы воспаление соединительной ткани сопровождалось выраженной интоксикацией и повышенной аллергической готовностью организма. При этом можно отметить, что системный ответ организма на воспаление железистой ткани более интенсивен.

Таким образом, расчет гематологических лейкоцитарных индексов актуален и позволяет оценить реакцию иммунной системы, степень интоксикации, характер течения и тяжесть патологического процесса и может быть использован в клинической практике для оценки характера течения воспалительного процесса и прогноза заболевания [2,5,6].

COMPARATIVE ASSESSMENT OF REACTIVITY, INTOXICATION, AND INFLAMMATORY ACTIVITY OF GLANDULAR AND CONNECTIVE TISSUE USING LEUKOCYTE INDICES

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

Leukocyte indices are important tools for assessing the inflammatory reaction, immune response, intoxication and allergization of the body. In this work, we assessed the level of reactivity, intoxication and activity of the inflammatory process in the glandular and connective tissue of cattle in a comparative aspect using leukocyte indices. The object of the study were first-calf heifers and lactating cows of the Holstein breed, which were kept in one of the livestock complexes of the Leningrad Region. The animals were divided into 3 groups: 1st - clinically healthy (n = 20); 2nd - with inflammation of the glandular tissue (n = 20) (catarrhal mastitis); 3rd - with inflammation of the connective tissue (n = 20) (arthritis). The animals of the second group had acute inflammation of the mammary gland with the following clinical signs: increased body temperature to 41C◦, depressed state, enlargement of the affected quarter of the mammary gland, soreness in the area of inflammation, enlargement of the supra-udder lymph node, and when milking, a watery serous secretion with casein clots was released from the affected area. In the group with inflammation of the connective tissue, there were signs of acute arthritis: soreness on palpation, fluctuation in the affected area, swelling of the joint, increased local temperature, lameness. The calculation of leukocyte indices was performed using formulas characterizing the ratio of the content of various forms of leukocytes. The results of calculating leukocyte indices showed activation of innate immune mechanisms, as well as severe intoxication in sick animals of the second group, which confirms the presence of an acute phase reaction accompanying inflammation of the glandular tissue. In animals of the third group, inflammation of the connective tissue was accompanied by severe intoxication and increased allergic readiness of the body. It can be noted that the systemic response of the body to inflammation of the glandular tissue is more intense.

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. Жуков А.П., Шарафутдинова Е.Б., Датский А.П. Информативность лейкоцитарных индексов в лабораторном скрининге легочной патологии у телят // Известия ОГАУ. - 2016. - № 3 (59). - С. 101-104. EDN: WGXTVD

3. Карпенко, Л. Ю. Лейкоцитарные индексы токсичности при липидозе печени у кошек / Л. Ю. Карпенко, А. И. Козицына, А. А. Бахта // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 1. – С. 102-104. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.1.102. – EDN FAPKQH.

4. Калимуллин И.Ф., Шарафутдинова Е.Б., Жуков А.П. Использование интегральных лейкоцитарных индексов в оценке влияния стрессирующих факторов на гомеостаз коз. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023;(3):148-157. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-3-148-157 - EDN: NTSQGV

5. 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.

6. Краснолобова, Е. П. Диагностическое значение лейкоцитарных индексов у животных / Е. П. Краснолобова, Н. А. Черменина, С. П. Ковалев // Международный вестник ветеринарии. – 2018. – № 4. – С. 140-143. – EDN SLYCQX.

7. Крячко, О. В. Содержание церулоплазмина и фибриногена у крупного ро-

гатого скота при катаральном мастите / О. В. Крячко, А. В. Чарторийская // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2024. – № 4. – С. 55-57. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.4.55. – EDN FKVHZP.
8. 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.
9. Ткаченко, Е. А. Лейкоцитарные индексы при экспериментальной кадмиевой интоксикации мышей / Е. А. Ткаченко, М. А. Дерхо // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2014. - № 3 (47). - С. 81-83. - EDN: SJDSID
10. 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.

REFERENCES

1. Gaponova V.N., Kryachko O.V., Lukoyanova L.A., Anisimova K.A. Analysis of the effectiveness of hematological leukocyte indices in assessing the degree of intoxication and reactivity of the body in animals with chronic pathological processes. Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii = International Bulletin of Veterinary Medicine, – 2020. – № 4. – C. 124-128. – DOI 10.17238/issn2072-2419.2020.4.124. – EDN HVXLKA
2. Zhukov AP, Sharafutdinova EB, Danish A.P. Informativity of leukocyte indices in laboratory screening of pulmonary pathology in calves//Izvestia OGAU. - 2016. - № 3 (59). - S. 101-104. EDN: WGXTVD
3. Karpenko, L. Yu. Leukocyte indices of toxicity in liver lipidosis in cats/L. Yu. Karpenko, A. I. Kozitsyna, A. A. Bakhta// Regulatory regulation in veterinary medicine. – 2024. – № 1. - S. 102-104. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.1.102. – EDN FAPKQH.
4. Kalimullin I.F., Sharafutdinova E.B., Zhukov A.P. The use of integral leukocyte indices in assessing the effect of stressors on goat homeostasis. News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2023;(3):148-157. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-3-148-157 - EDN: NTSQGV
5. Kryachko O.V., Budnik A.O. The effect of technological stress on the immunological reactivity of piglets. International Veterinary Bulletin. – № 2. – C. 155-161.
6. Krasnolobova E.P., Cheremenina N.A., Kovalev S.P. Diagnostic value of leukocyte indices in animals. International Veterinary Bulletin. – 2018. – № 4. – C. 140-143. – EDN SLYCQX.
7. Kryachko, O. V. Content of ceruloplasmin and fibrinogen in cattle with catarrhal mastitis/O. V. Kryachko, A. V. Chartoria// Regulatory regulation in veterinary medicine. – 2024. – № 4. - S. 55-57. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.4.55. – EDN FKVHZP.
8. Samsonova, T. S. Hematological indices in the assessment of animal health/T. S. Samsonova, A. Yu. Ryzhenkova, S. A. Sorokina//Topical issues of biotechnology and veterinary sciences: theory and practice: Materials of the national scientific conference of the Institute of Veterinary Medicine, Troitsk, June 27-28, 2019. - Troitsk: South Ural State Agrarian University, 2019. - S. 98-105. - EDN XUAOEL.
9. Tkachenko, E. A. Leukocyte indices in experimental cadmium intoxication of mice / E. A. Tkachenko, M. A. Derkho // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. - 2014. - No. 3 (47). - P. 81-83.
10. 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.

УДК: 636.5.082.3:591.3:616-073.75
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.364

НЕИНВАЗИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭМБРИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ УТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МРТ И КОМПЛЕКСА СРАВНИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Тодороски К.[1] – канд. биол. наук, доц. департамента физической культуры, спорта и медиакоммуникаций (ORCID 0000-0003-4908-4316); **Ежкова А.М.**[2] – д-р биол. наук, проф., зав. каф. физиологии и патологической физиологии (ORCID 0000-0002-5526-2214); **Ежков В.О.**[2] – д-р ветеринар. наук, проф. каф. физиологии и патологической физиологии (ORCID 0000-0001-6476-6054)

[1] Московский городской педагогический университет
[2] Казанский государственный аграрный университет

*kiriltodoroski96@gmail.com

Ключевые слова: *визуализация, эмбрион, утка, развитие, рентгенография, МРТ.*

Key words: *visualization, embryo, duck, development, radiography, MRI.*

Поступила: 09.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) продемонстрировала значительный потенциал как современный неинвазивный метод исследования эмбрионального развития у птиц. В данной работе МРТ использовалась в комплексе с традиционными подходами — овоскопией, анатомическим вскрытием и рентгенографией — для комплексного анализа эмбриогенеза уток. В исследование было включено 60 эмбрионов, за развитием которых осуществлялось ежедневное наблюдение с 1-го по 27-й день инкубации. Такой дизайн обеспечил возможность документирования ключевых этапов морфогенеза и сопоставления данных, полученных различными методами визуализации. МРТ позволила с высокой точностью визуализировать сосудистую систему, внутренние органы и формирование скелета, что было особенно информативно на поздних стадиях инкубации. Установлено, что к 22-му дню желточный мешок начинает втягиваться в брюшную полость, а к 27-му дню эмбрион достигает полного формирования и инициирует проклёв скорлупы. Сравнительный анализ подтвердил преимущества МРТ перед традиционными методами в аспекте непрерывного и достоверного мониторинга динамики органогенеза без нарушения целостности яйца. Особое значение имеет возможность раннего выявления морфологических изменений и потенциальных патологий, что открывает перспективы применения метода в фундаментальных исследованиях эмбриологии и в практике птицеводства. Полученные результаты указывают на то, что внедрение МРТ в систему контроля инкубации может способствовать повышению выживаемости эмбрионов, оптимизации технологических режимов и улучшению показателей воспроизводства. Таким образом, МРТ представляет собой эффективный инструмент как для научных исследований, так и для прикладных задач птицеводческой отрасли.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Эмбриональное развитие у сельскохозяйственной птицы зависит от содержания питательных веществ и энергетических запасов в оплодотворённом яйце, однако успешное выведение требует строго соблюдения условий инкубации, обеспечивающих оптимальное развитие эмбриона [1]. Процесс инкубации включает контроль таких параметров, как температура, влажность и вентиляция в инкубаторе, что необходимо для достижения высокой выводимости [2, 3]. В птицеводстве правильное управление инкубацией имеет ключевое значение для повышения выживаемости и продуктивности потомства [4]. Несмотря на глубокое понимание инкубационных процессов, разработка непрерывных неинвазивных методов мониторинга эмбриогенеза остаётся затруднительной задачей, особенно у видов птиц с длительным инкубационным периодом, таких как утки.

Птичьи эмбрионы имеют значительные преимущества для эмбриологических исследований благодаря доступности, низкой стоимости и относительной простоте обращения и наблюдения [5]. Традиционно исследование эмбрионального развития требовало использования инвазивных методов, в том числе вскрытия яиц для прямого изучения отдельных стадий [6]. Хотя такие методы информативны, они прерывают дальнейшее развитие эмбриона, исключая возможность длительного наблюдения [7]. На ранних этапах жизнеспособность эмбриона часто оценивается по активности сердечно-сосудистой системы, поскольку формирование сердца и сосудов служит важнейшим маркером начала развития [8]. Однако подобные оценки чаще всего предполагают использование вмешивающихся методик, нарушающих нормальное развитие, что ограничивает их применимость для длительных наблюдений [9]. Современные достижения в области визуализирующих технологий способствовали внедрению неинвазивных методов, таких как магнитно-резонансная томография (МРТ), представляющих собой перспективную альтернативу при изучении эмбриогенеза [10]. МРТ обеспечивает возможность получения высокодетализированных изображений внутренних структур без нарушения целостности яйца, что значительно превосходит традиционные инвазивные подходы [11]. Кроме того, такие методы, как рентгенография и овоскопия, позволяют отслеживать развитие эмбриона и его жизнеспособность на различных этапах инкубации [1, 12]. Несмотря на указанные технологические достижения, комплексная визуализация всего процесса эмбрионального развития у уток, особенно на поздних стадиях, до сих пор недостаточно изучена. Большинство ранее выполненных работ было сосредоточено на ранних этапах эмбриогенеза, что оставляет пробелы в понимании морфологических изменений во второй половине инкубации [16].

Настоящее исследование направлено на восполнение указанного пробела путём использования комплекса методов — МРТ, рентгенографии, овоскопии, анатомического вскрытия и морфометрического анализа — для непрерывной и детальной визуализации эмбрионального развития утиных эмбрионов. Предполагается, что сочетание МРТ с другими методами визуализации, такими как рентгенография и овоскопия, позволит осуществлять неинвазивный мониторинг ключевых параметров развития, включая формирование кровеносной системы, внутренних органов и скелетной структуры. Сравнительный анализ выявит сильные и слабые стороны каждого метода, предоставляя ценные данные как для фундаментальных исследований, так и для практического применения в птицеводстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Место проведения исследования. Для достижения поставленных целей были проведены исследования по визуализации эмбрионального развития уток на базе кафедры физиологии и патологической физиологии Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана (далее — КГАВМ), в Кли-

ническом центре КГАВМ, а также в Лаборатории физики Казанского научного центра Российской академии наук (КазНЦ РАН).

Этическое заключение. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом кафедры физиологии и патологической физиологии КГАВМ (номер одобрения: 0069/22). Все манипуляции с эмбрионами соответствовали этическим стандартам [9].

Процесс инкубации. Инкубация 60 отобранных высококачественных оплодотворённых яиц уток пекинской кросслинии "STAR-53" проводилась в бытовом автоматическом инкубаторе «Matrix VEGAS» D10 (Россия). Перед началом инкубации инкубатор был продезинфицирован средством Incubator-Clean. Параметры окружающей среды были настроены в соответствии с нормативами: температура — 38–38,3 °C, относительная влажность — 75 %, автоматический переворот яиц каждые 3 часа [13].

1–7 сутки: температура поддерживалась в диапазоне 38–38,3 °C, влажность — 75 %. С 8 суток: температура понижалась до 37,8 °C, влажность — до 60 %, частота переворота сохранялась. Яйца ежедневно опрыскивались водой с 8 по 14 день [3]. На 18 день инкубатор открывался дважды в день по 20 минут для предотвращения перегрева и гибели эмбрионов. С 19 по 25 день температура составляла 37,8 °C, влажность — 60 %, переворот — каждые 2 часа. На 26 сутки: температура снижалась до 37,5 °C, влажность повышалась до 90 % для размягчения скорлупы, переворот осуществлялся один раз в 3 часа на протяжении трёх дней до момента выведения утят [12].

Регулирование влажности способствовало постепенному испарению воды из яйца, что обеспечивало формирование воздушной камеры и нормальный газообмен, критически важный для жизнеспособности эмбриона и успешного вылупления.

Анатомическая и морфометрическая оценка. Ежедневно проводились анатомические вскрытия и морфометрические измерения эмбрионов. В анатомических наблюдениях использовались нежизнеспособные эмбрионы, у которых фиксировались структурные изменения на различных стадиях развития [5]. Морфометрия включала определение массы и длины эмбрионов при помощи весов II класса точности 122ACF-1500.05 LCD "Accurate" (Южная Корея) с чувствительностью 0,01 г [4]. Фотофиксация проводилась цифровой камерой высокой чёткости (iPhone 13 Pro, Apple Inc., США) с разрешением 12 Мп.

Рентгенологическое исследование. Рентгенография осуществлялась на аппарате Dongmun DIG-360 (Корея) с плоскопанельным детектором Rayence 1717 SGC и программным обеспечением Xmaru View V1 [8]. Съёмка проводилась ежедневно в 16:00 в боковой проекции при экспозиции 4 мА·с и напряжении 52 кВ [13]. Метод позволял визуализировать костную систему и расположение органов без нарушения целостности яйца [11].

Магнитно-резонансная томография (МРТ). Томографирование эмбрионов проводилось с использованием специализированного магнитно-резонансного томографа, адаптированного для исследования птичьих эмбрионов диаметром до 60 мм. Исследования выполнялись в Лаборатории методов медицинской физики КФТИ — ОСП ФГБНУ ФИЦ КазНЦ РАН [14, 15].

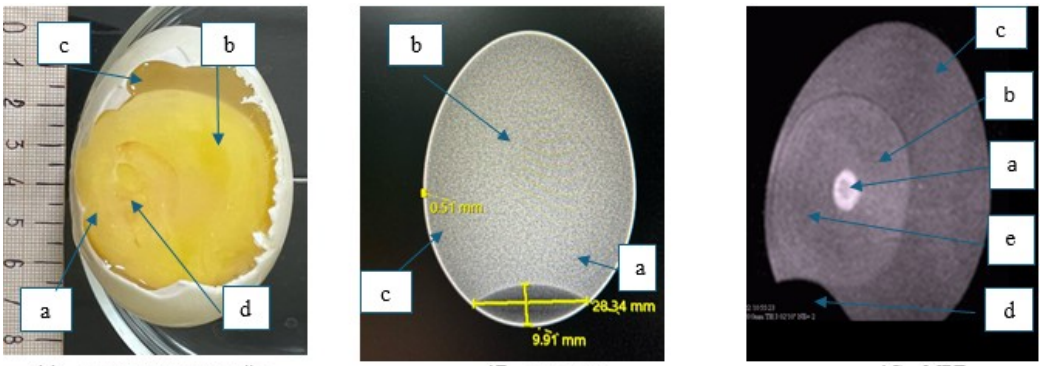
Аппарат был модифицирован на основе сенсора, изначально предназначенного для диагностики коленного сустава человека, что позволило получить высокоразрешающие изображения эмбриона в скорлупе [16]. Метод обеспечивал чёткую визуализацию мягких тканей и органогенеза без необходимости вскрытия яйца. Полученные изображения анализировались с целью отслеживания динамики морфогенеза в неинвазивном режиме.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Сравнительный анализ данных анатомических вскрытий и рентгенографических изображений. Методы анатомического вскрытия и рентгенографии позволили зафиксировать структурные измене-

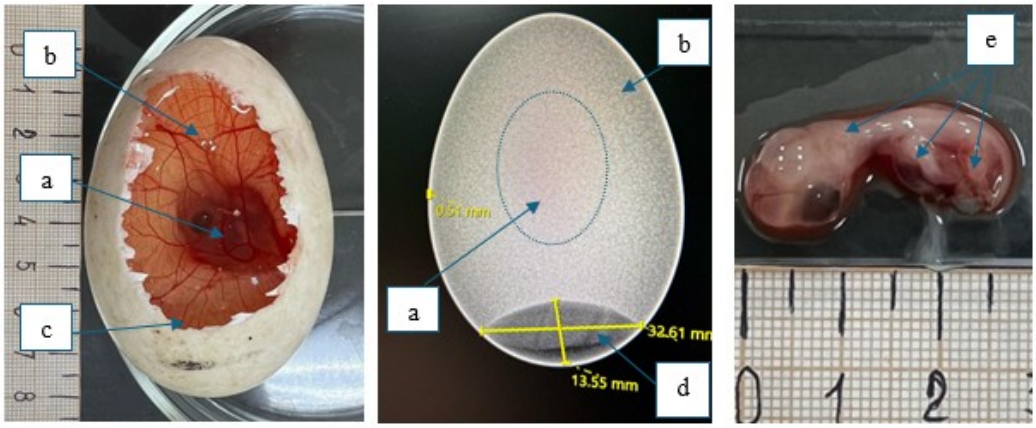
ния и параметры роста эмбрионов на протяжении всей инкубации. На начальных этапах отмечались формирование сосудистой сети и увеличение размеров эмбрионального диска. Рентгенография выявила динамику утончения скорлупы, изменение размеров воздушной камеры и прогрессирующую оссификацию скелета по мере развития.

4-е сутки инкубации. Эмбриональный диск достигал 7,1–8,0 мм; визуализировалась сосудистая сеть, отмечались интенсивные сердечные сокращения (Рис. 1 A–C). Рентгенография позволила различить зоны расположения желтка и белка, а МРТ — детализировать поперечные срезы развивающихся структур.



1A – вскрытое утиное яйцо 1B – рентген 1C – МРТ

Рисунок 1 (A, B, C) – 4-е сутки инкубации: a — эмбрион, b — желток, c — белок, d — воздушная камера, e — зародышевый диск.



2A 2B 2C

Рисунок 2 (A, B, C) – 8-е сутки – вскрытие, рентген и МРТ утиного яйца: a — эмбрион, b — кровеносные сосуды, c — белок, d — воздушная камера, e — эмбрион с выраженными телесными очертаниями и хрящевыми зачатками конечностей 11-е сутки инкубации.

7-е сутки инкубации. Продолжалось развитие эмбриона и разрастание сосудистой сети, охватывающей желток. Анатомически визуализировались зачатки головы, глаз, клюва и головного мозга. Рентгенография позволила увидеть формирующиеся конечности и сосудистую сеть.

8-е сутки инкубации. Чётко прослеживалась сформированная сосудистая сеть и дальнейшее удлинение тела эмбриона.

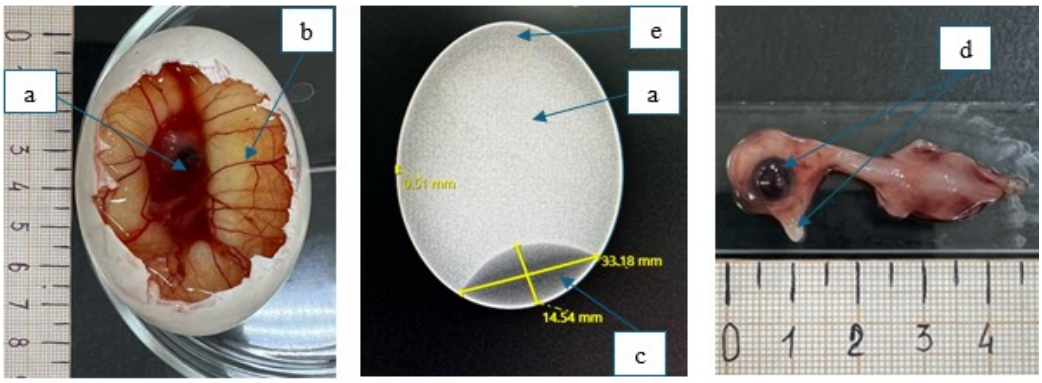
Рентгенография фиксировала развитие хрящевого скелета, а МРТ давала расширенную картину внутренних органов и пространственного расположения тела (Рис. 2 A–C).

На вскрытии отмечались зачатки перьевых фолликулов, удлинение клюва, образование ноздрей и появление "яйцевого зуба". Средняя длина эмбриона составила 48,4 ± 1,7 мм. Отмечалось чёткое развитие осевого скелета и черепа (Рис. 3 A–C).

14-е сутки инкубации. Отмечено удлинение клюва и конечностей; началась оссификация хрящевых зачатков. Рентгенография отразила дифференциацию скелетных элементов, а МРТ — внутренние органы (Рис. 4 A–C).

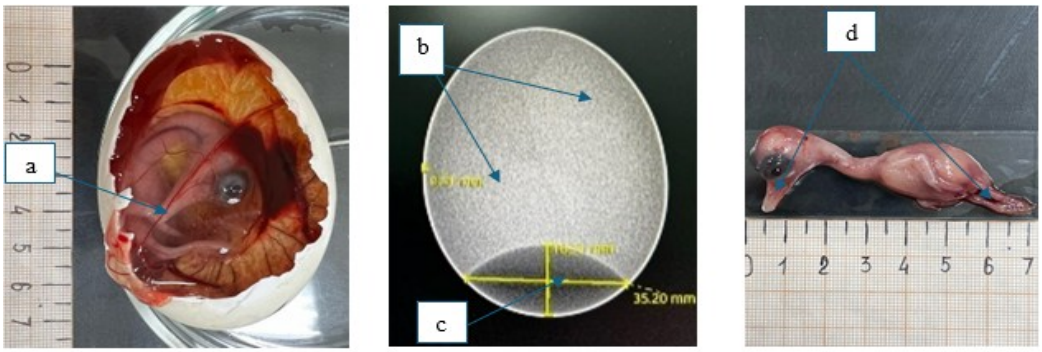
18-е сутки инкубации. Эмбрион занял характерное положение: голова под крылом. МРТ и рентгенография отразили усиление оссификации скелета и изменение пространственного расположения тела (Рис. 5 A–D).

22-е сутки инкубации. Эмбрион полностью заполнил яйцо, глаза частично открыты, желточный мешок втянут в брюшную полость. МРТ позволила чётко визуализировать голову и внутренние органы (Рис. 6 A–D).



3A 3B 3C

Рисунок 3 (A, B, C) – Изображение препарированного утиного яйца и рентгенограмма на 11-й день инкубации: а – эмбрион, б – кровеносные сосуды, в – воздушная камера, г – эмбрион с удлинённым клювом, сформированными ноздрями, формирующимся «яйцевым зубом» и развивающимся веком на глазном яблоке; д – белок.



4A 4B 4C

Рисунок 4 (A, B, C) – Изображение препарированного утиного яйца и рентгенограмма на 14-й день инкубации: а – увеличение яйцевого зуба, б – зонирование эмбрионально-аллантоисной оболочки, в – воздушная камера, г – удлинение клюва и конечностей, затвердение хрящевых зачатков.

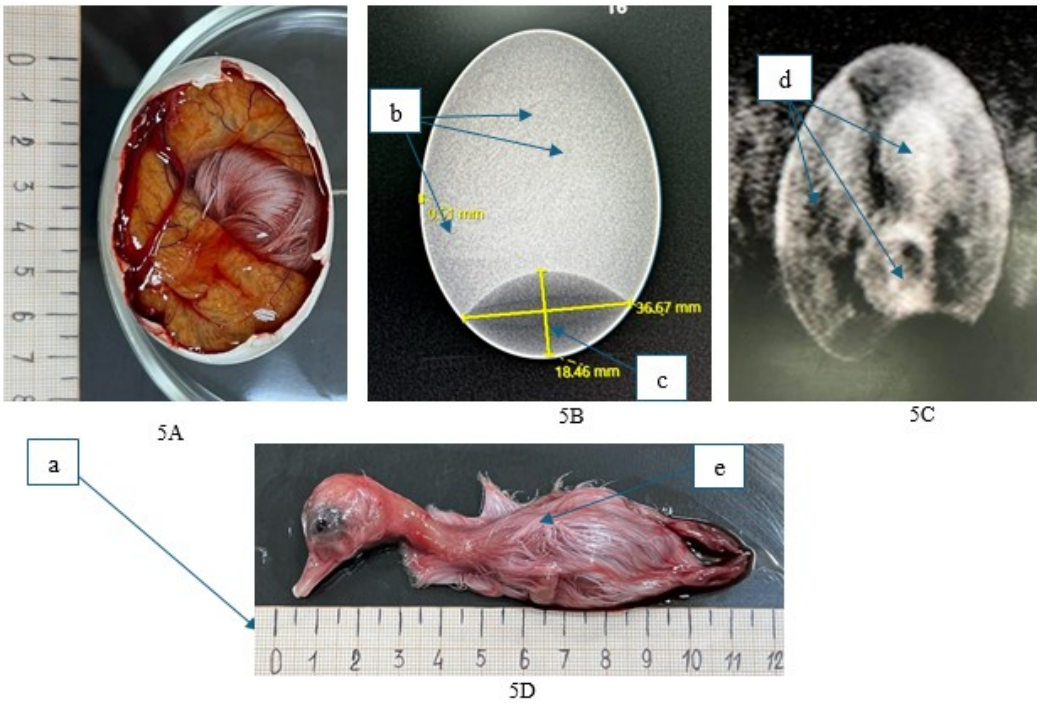


Рисунок 5 (A, B, C, D) – Изображение препарированного утиного яйца, рентгенограмма и МРТ на 18-й день инкубации: а – внешний вид эмбриона в яйце, характерная поза с головой, повёрнутой под крыло, б – окостенение скелета тела и конечностей, в – воздушная камера, г – разделение на три части: голову, тело эмбриона и аллантоис, д – внешний вид и размеры эмбриона, пух покрывает всё тело.

Значимые этапы эмбрионального развития утят, выявленные в ходе наблюдений, включали формирование кровеносной системы к восьмому дню инкубации, начало оссификации скелета к четырнадцатому дню и появление зачатков перьевого покрова с полностью сформированными когтями к двадцать второму дню. К двадцать шестому дню эмбрион практически полностью занимал внутреннее пространство яйца, процесс абсорбции желточного мешка был почти завершён. На двадцать седьмые сутки фиксировалось начало проклёва скорлупы, что свидетельствовало о готовности организма к вылуплению.

Настоящее исследование представляет собой подробный анализ морфологических и физиологических изменений, происходящих в процессе эмбрионального развития уток, с использованием как традиционных анатомических методов, так и неинвазивной магнитно-резонансной томографии (МРТ). Полученные результаты подтверждают высокую эффективность МРТ как инструмента для визуализации различных стадий эмбриогенеза у уток, предлагая альтернативу инвазивным методам за счёт сохранения целостности яйца. В данном разделе обсуждаются полученные данные в сопоставлении с результатами предыдущих исследований, с акцентом на преимущества и ограничения применённых методик.

Сравнение МРТ и анатомического вскрытия. Каждый из трёх использованных методов — МРТ, рентгенография и овоскопия — обеспечивал уникальные сведения о развитии утиного эмбриона, при этом эффективность их варьировалась в зависимости от стадии инкубации

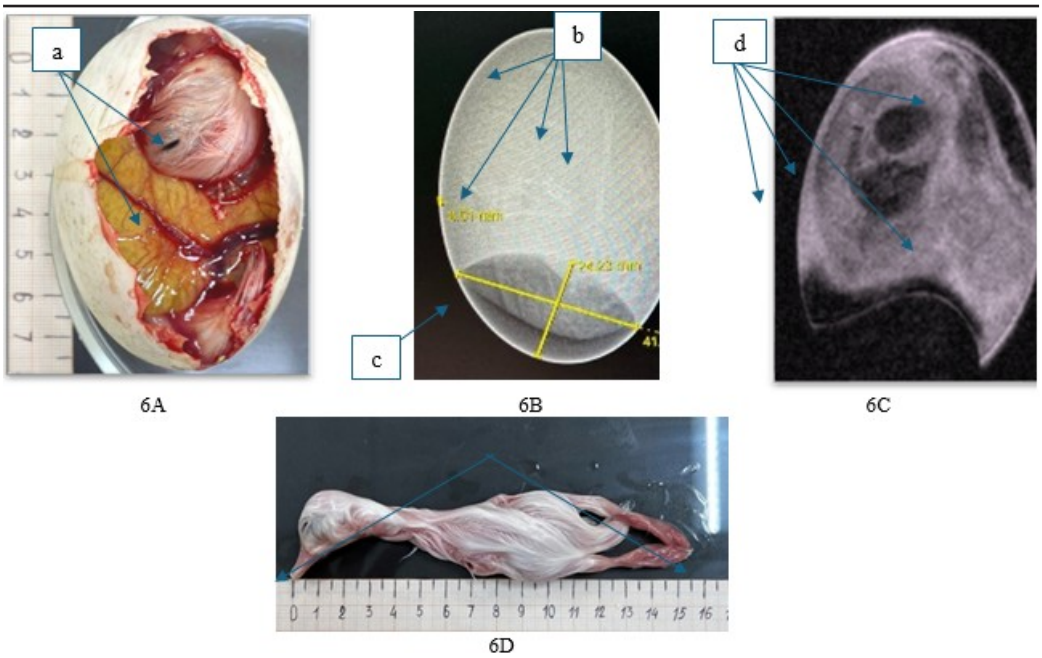


Рисунок 6 (A, B, C, D) – Изображение препарированного утиного яйца, рентгенограмма и МРТ на 22-й день инкубации: а – внешний вид эмбриона в яйце с частично открытым глазом, редуцированным желточным мешком, б – чётко выраженный силуэт головы с глазницами и клювом, трубчатыми костями конечностей и позвоночником, в – воздушная камера, г – голова с клювом и глазницами, шеей, телом эмбриона и аллантоисом, д – внешний вид и размеры эмбриона, хорошо сформированные перепонки и ороговевшие когти на нижних конечностях.

и исследуемых структур.

МРТ показала наивысшую информативность в визуализации мягких тканей, включая сердечно-сосудистую систему, внутренние органы и втягивание желточного мешка. Она обеспечила высокое разрешение при непрерывном неинвазивном наблюдении на протяжении всего периода развития. Однако следует отметить высокую стоимость МРТ и ограниченную доступность оборудования, что сдерживает её повсеместное применение.

Рентгенография оказалась особенно полезной для отслеживания процессов оссификации и развития костной системы. Метод позволял чётко визуализировать минеральные структуры, однако был малоэффективен в отношении мягких тканей. Кроме того, необходимо учитывать ограничение по дозовой нагрузке во избежание негативного воздействия на развивающийся эмбрион.

Овоскопия (просвечивание яйца) являлась наиболее простой и быстрой методикой, обеспечивая оперативную оценку жизнеспособности эмбриона и фиксацию ключевых этапов развития. Однако метод не позволял получить детальную информацию о внутренних структурах и был ограничен по глубине анализа.

Таким образом, сочетание перечисленных методов позволило создать комплексный подход к изучению эмбрионального развития. Овоскопия обеспечивала экспресс-скрининг, тогда как рентген и МРТ позволяли проводить углублённую анатомическую оценку. Наибольший потенциал для неинвазивного мониторинга показала МРТ, однако её практическое применение на рутинной основе ограничивается доступно-

стью и стоимостью оборудования.

Полученные данные демонстрируют высокую степень согласованности между результатами МРТ и анатомических вскрытий. Так, уже на 9-е сутки МРТ позволяла чётко визуализировать основные морфологические структуры эмбриона, включая эмбриональный диск и элементы сердечно-сосудистой системы. Эти наблюдения согласуются с результатами исследований Hogers и соавт. [18, 22], подтвердивших эффективность МРТ для изучения ранних этапов формирования сердечно-сосудистой системы у птиц. Установлено, что МРТ позволяет достоверно фиксировать начальные морфогенетические процессы — формирование желточного мешка и аллантоиса — без нарушения целостности яйца.

К 18-му дню инкубации наблюдалась чёткая дифференцировка структур тела эмбриона. МРТ позволяла получать детальные изображения головы, конечностей и сосудистых образований. Эти данные соотносятся с результатами Li и соавт. [19], применявших МРТ для отслеживания процессов созревания у птичьих эмбрионов. Уникальной особенностью настоящего исследования стало отчётливое визуальное разделение желточного мешка и аллантоиса — элемент, который ранее редко изучался с такой степенью детализации. Это подтверждает возможность замены инвазивных процедур непрерывным мониторингом посредством МРТ.

Оценка поздних стадий эмбрионального развития. Эмбриональное развитие утки в целом соответствует динамике, наблюдаемой у кур, что позволяет проводить сравнительный анализ с данными по другим видам птиц. Однако утиные эмбрионы характеризуются несколько удлинённым инкубационным периодом и иными темпами абсорбции желточного мешка.

На 22-е сутки инкубации отмечено значительное развитие внутренних органов, включая отчётливую визуализацию желудочно-кишечного тракта, печени и структурированной костной системы. Эти результаты согласуются с данными Effmann и соавт. [20], использовавших МРТ для документирования аналогичных внутренних изменений у птичьих эмбрионов. Настоящее исследование также подтвердило высокую эффективность МРТ в выявлении формирования перьевого покрова и процессов оссификации скелета, что подчёркивает её значимость при наблюдении за поздними стадиями эмбрионального развития. Возможность точной визуализации этих изменений в режиме реального времени делает МРТ ценным инструментом для мониторинга завершающих этапов онтогенеза.

В ходе финальных стадий инкубации (с 24 по 26 сутки) МРТ позволяла отслеживать ряд динамических физиологических процессов, включая всасывание желточного мешка, снижение объёма амниотической жидкости и изменение положения эмбриона. Hatch и соавт. [21] подчёркивали важность применения неинвазивных технологий для наблюдения за изменением пространственной ориентации эмбриона в преддверии вылупления. Настоящее исследование расширяет указанные данные, предоставляя точные изображения положения головы эмбриона в направлении воздушной камеры, что является критически важным этапом подготовки к проклёву. Полученные результаты указывают на превосходство МРТ над традиционными методами при отслеживании тонких морфофункциональных переходов на завершающем этапе развития.

К 26-м суткам МР-сканирование выявило завершающую стадию формирования эмбриона: почти полное всасывание желточного мешка, завершение оссификации скелетных структур, появление ороговения когтей и клюва. Голова эмбриона была ориентирована к воздушной камере, что свидетельствовало о физиологической готовности к вылуплению. Рентгенография подтвердила полную минерализацию костной системы, а овоскопия — минимальные остатки воздушной камеры. В перспективе целесообразно рассмотреть интеграцию МРТ с другими

неинвазивными методами визуализации, такими как компьютерная томография (КТ), для расширения возможностей количественного и пространственного анализа эмбриогенеза. Кроме того, применение МРТ для изучения эмбрионального развития других видов птиц, как предложено в работах Zhou и соавт. [16, 17], может способствовать обобщению полученных данных и углублению понимания видоспецифических особенностей инкубации.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведённое исследование демонстрирует высокую эффективность магнитно-резонансной томографии (МРТ) как неинвазивного метода визуализации эмбрионального развития уток. Применение МРТ позволило получать изображения высокого разрешения в режиме реального времени, обеспечивая детальное наблюдение ключевых стадий развития — от формирования сердечно-сосудистой системы и скелетных структур до органогенеза в период с 3-х до 22-х суток инкубации. Высокая степень согласованности между данными МРТ и результатами традиционных анатомических исследований подтверждает надёжность метода для мониторинга эмбриогенеза без нарушения целостности яйца.

Полученные результаты подчёркивают потенциал МРТ как инструмента оптимизации условий инкубации за счёт получения своевременной информации о состоянии развивающегося эмбриона, что может способствовать улучшению показателей выведения и общих репродуктивных характеристик в птицеводстве. Возможность наблюдения за морфогенезом в режиме реального времени открывает перспективы для раннего выявления отклонений в развитии, оценки воздействия внешних факторов и совершенствования селекционно-племенных программ.

NON-INVASIVE MONITORING OF DUCK EMBRYONIC DEVELOPMENT USING MRI AND COMPARATIVE METHODS

Todoroski K.[1] – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Sports and Media Communications (ORCID 0000-0003-4908-4316); **Ezhkova A.M.**[2] – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology and Pathological Physiology (ORCID 0000-0002-5526-2214); **Ezhkov V.O.**[2] – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Physiology and Pathological Physiology (ORCID 0000-0001-6476-6054)

[1] Moscow City University, Russia
[2] Kazan State Agrarian University

*kiriltodoroski96@gmail.com

ABSTRACT

Magnetic resonance imaging (MRI) has proven to be a highly effective non-invasive tool for the study of avian embryogenesis, enabling detailed visualization of internal structures without compromising egg integrity. In this study, MRI was combined with conventional approaches, including candling, anatomical dissection, and radiography, to provide a comprehensive evaluation of duck embryonic development. A total of 60 embryos were monitored daily from day 1 to day 27 of incubation, allowing the identification of key stages of growth and structural differentiation. MRI provided high-resolution three-dimensional images of the vascular system, internal organs, and skeletal structures, with particular sensitivity at later developmental stages. Notably, by day 22, the yolk sac began to retract into the abdominal cavity, and by day 27 the embryo reached complete formation and initiated shell pipping. Comparative analysis demonstrated that each method contributed unique information: ovoscopy allowed rapid assessment of embryo viability, radiography provided clear images of skeletal ossification, while MRI offered superior visualization of soft tissues and dynamic processes in real time. The strong concordance between MRI data and anatomical dissection confirmed the reliability of this technique for continuous, non-

destructive monitoring of embryogenesis. The findings highlight the applicability of MRI not only as a fundamental research tool but also as a promising method for optimizing incubation protocols and improving poultry breeding practices. The ability to track organogenesis and morphological changes in vivo provides new opportunities for early detection of developmental abnormalities, assessment of environmental influences, and refinement of incubation management strategies.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тодороски К., Ежкова А.М., Ежков В.О., Волков Р.А. Визуализация и интерпретация эмбрионального развития уток // International Journal of Veterinary Medicine. – 2023. – № 1. – С. 212–218. DOI: 10.52419/ISSN2072-2419.2023.1.212.
2. Fares W.A., Ahmed M.R.M., Rizk R.E., Shahein E.H.A., Boutrous N.G., El-Sabrout K. Influence of non-ventilating intervals during early incubation stage on egg hatching process // Vet World. – 2023. – Vol. 16, No. 7. – P. 1534–1540. DOI: 10.14202/vetworld.2023.1534-1540.
3. Павлова М.А., Новикова О.Б. Изучение эффективности дезинфицирующего препарата Глудезив для дезинфекции яиц водоплавающей птицы // Современные аспекты ветеринарной медицины и зоотехнии. – Пермь: ЦПИ Прокрост, 2018. – С. 117–120.
4. Lumsangkul C., Fan Y.K., Chang S.C., Ju J.C., Chiang H.I. Characterizing early embryonic development of Brown Tsaiya Ducks (Anas platyrhynchos) in comparison with Taiwan Country Chicken (Gallus gallus domesticus) // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13, No. 5. – e0196973. DOI: 10.1371/journal.pone.0196973.
5. Микляева М.А. Стандартные методы изучения раннего онтогенеза у птиц // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18, № 3. – С. 799–802.
6. Щербатов В.И., Яровая Л.Д. Синхронизация вывода цыплят // Ученые записки КубГАУ. – 2014. – № 103. – С. 45.
7. Todoroski K., Yezhkova A.M., Yezhkov V.O., Volkov R.A. Visualization, verification, and interpretation of duck embryo development from Day 8 to Day 27. Certificate of Database Registration No. 2022620824. 18 Apr 2022. Application No. 2022620646 from 05 Apr 2022.
8. Borgave S., Ghodke K., Ghaskadbi S. The heart forming region of early chick embryo is an alternative source of embryonic stem cells // Int J Dev Biol. – 2009. – Vol. 53, No. 1. – P. 91–99.
9. Aleksandrowicz E., Herr I. Ethical euthanasia and short-term anesthesia of the chick embryo // ALTEX. – 2015. – Vol. 32, No. 2. – P. 143–147.
10. Wittig J.G., Münsterberg A. The chicken as a model organism to study heart development // Cold Spring Harb Perspect Biol. – 2019. – a037218.
11. Каде А.К., Трофименко А.И., Турова А.Ю. Эмбрион курицы как экспериментальный объект для изучения кардиогенеза // Медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. – 2018. – Т. 26, № 4.
12. Дьядичкина Л.Ф., Позднякова Н.С., Мелёхина Т.А. и др. Способ хранения инкубационных яиц уток: пат. № 2658845 РФ. Заявл. 06.05.2017; опубл. 25.06.2018. – ФГБНУ «ВНИТИП».
13. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Методические указания по дезинфекции инкубаторов для птицеводства. – М., 2020.
14. Шагалов В.А., Фахретдинов А.Р., Фатахов Ю.В. Радиоспектрометр для магнитно-резонансного томографа // Приборы. Техника. Эксперимент. – 2017. – № 6. – С. 132–133.
15. Bayazitov A.A., Fatakhov Y.V., Fakhretdinov A.R., Shagalov V.A. Receiver sensor for specialized compact magnetic resonance tomograph // PTE. – 2020. – No. 6. – P. 89–94.
16. Zhou Z., Chen Z., Shan J., et al. Monitoring brain development of chick embryos in vivo using 3.0 T MRI: subdivision volume change and preliminary structural quantification using DTI // BMC Dev Biol. – 2015. – Vol. 15. – P. 29. DOI: 10.1186/s12861-015-0077-6.
17. Zhou J., Liu Y., Zhou S., Chen M., Xiao D. Evaluation of duck egg hatching charac-

teristics with a lightweight multi-target detection method // Animals. – 2023. – Vol. 13, No. 7. – P. 1204. DOI: 10.3390/ani13071204.
18. Hogers B. MRI to study embryonic development // Methods Mol Biol. – 2011. – Vol. 771. – P. 579–593. DOI: 10.1007/978-1-61779-219-9_30.
19. Li X., Liu J., Davey M., et al. Micromagnetic resonance imaging of avian embryos // J Anat. – 2007. – Vol. 211, No. 6. – P. 798–809. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2007.00825.x.
20. Effmann E.L., Johnson G.A., Smith B.R., Talbott G.A., Cofer G. Magnetic resonance microscopy of chick embryos in ovo // Teratology. – 1988. – Vol. 38, No. 1. – P. 59–65. DOI: 10.1002/tera.1420380109.
21. Hatch G.M., O'Brien W.T., Wood A.K.W., Ferguson D.J.P. Noninvasive monitoring of chick development in ovo using a 7T MRI system from day 12 of incubation through to hatching // J Magn Reson Imaging. – 2007. – Vol. 26, No. 1. – P. 198–201. DOI: 10.1002/jmri.20963.
22. Obara K., Obara C., Naito M., Asano A., Tajima A. Real-time visualisation of developing chick embryos cultured in transparent plastic films from the blastoderm stage until hatching // Sci Rep. – 2024. – Vol. 14. – P. 22790. DOI: 10.1038/s41598-024-72004-y.

REFERENCES

1. Todoroski K, Ezhkova AM, Ezhkov VO, Volkov RA. Visualization and interpretation of duck embryo development. Int J Vet Med. 2023;1:212-218. doi:10.52419/ISSN2072-2419.2023.1.212.
2. Fares WA, Ahmed MRM, Rizk RE, Shahein EHA, Boutrous NG, El-Sabrout K. Influence of non-ventilating intervals during early incubation stage on egg hatching process. Vet World. 2023;16(7):1534-1540. doi:10.14202/vetworld.2023.1534-1540.
3. Pavlova MA, Novikova OB. Studying the effectiveness of the disinfectant preparation Gludeziv for disinfection of waterfowl eggs. In: Modern aspects of veterinary medicine and zootechnics. Perm: CPI Prokrost; 2018. p. 117-120.
4. Lumsangkul C, Fan YK, Chang SC, Ju JC, Chiang HI. Characterizing early embryonic development of Brown Tsaiya Ducks (Anas platyrhynchos) in comparison with Taiwan Country Chicken (Gallus gallus domesticus). PLoS ONE. 2018;13(5):e0196973. doi:10.1371/journal.pone.0196973.
5. Miklyaeva MA. Standard methods for studying early ontogenesis in birds. Bull TGU. 2013;18(3):799-802.
6. Shcherbatov VI, Yarovaya LD. Chick hatching synchronization. Scholar: Polythematic Network Electron Sci J Kuban State Agrarian Univ. 2014;103:45.
7. Todoroski K, Yezhkova AM, Yezhkov VO, Volkov RA. Visualization, verification, and interpretation of duck embryo development from Day 8 to Day 27. Certificate of Database Registration. 2022620824. April 18, 2022. Application No. 2022620646 from April 5, 2022.
8. Borgave S, Ghodke K, Ghaskadbi S. The heart forming region of early chick embryo is an alternative source of embryonic stem cells. Int J Dev Biol. 2009;53(1):91-99.
9. Aleksandrowicz E, Herr I. Ethical euthanasia and short-term anesthesia of the chick embryo. ALTEX. 2015;32(2):143-147.
10. Wittig JG, Münsterberg A. The chicken as a model organism to study heart development. Cold Spring Harb Perspect Biol. 2019;a037218.
11. Kade AK, Trofimenko AI, Turova AYu. The chicken embryo as an experimental object for studying cardiovascular development. Russ Med Biol Bull Named After Academician IP Pavlov. 2018;26(4).
12. Dyadichkina LF, Pozdnyakova NS, Melekhina TA, et al. Method for storing hatching eggs of ducks. Patent No. 2658845 C1 Russian Federation, IPC A01K 41/00. Appl. 06/05/2017; publ. 06/25/2018. Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research and Technological Institute of Poultry."
13. Russian Federation. Guidelines for the Disinfection of Incubators for Poultry. Ministry of Agriculture. 2020.
14. Shagalov VA, Fakhretdinov AR, Fatakhov YV. Radio spectrometer for magnetic resonance tomograph. PTE. 2017;6:132-

133.
15. Bayazitov AA, Fatakhov YV, Fakhretdinov AR, Shagalov VA. Receiver sensor for specialized compact magnetic resonance tomograph. PTE. 2020;6:89-94.
16. Zhou Z, Chen Z, Shan J, et al. Monitoring brain development of chick embryos in vivo using 3.0 T MRI: subdivision volume change and preliminary structural quantification using DTI. BMC Dev Biol. 2015;15:29. doi:10.1186/s12861-015-0077-6.
17. Zhou J, Liu Y, Zhou S, Chen M, Xiao D. Evaluation of duck egg hatching characteristics with a lightweight multi-target detection method. Animals. 2023;13(7):1204. doi:10.3390/ani13071204.
18. Hogers B. MRI to study embryonic development. Methods Mol Biol. 2011;771:579-593. doi:10.1007/978-1-61779-219-9_30.
19. Li X, Liu J, Davey M, et al. Micro-magnetic resonance imaging of avian embryos. J Anat. 2007;211(6):798-809. doi:10.1111/j.1469-7580.2007.00825.x.
20. Effmann EL, Johnson GA, Smith BR, Talbott GA, Cofer G. Magnetic resonance microscopy of chick embryos in ovo. Teratology. 1988;38(1):59-65. doi:10.1002/tera.1420380109.
21. Hatch GM, O'Brien WT, Wood AKW, Ferguson DJP. Noninvasive monitoring of chick development in ovo using a 7T MRI system from day 12 of incubation through to hatching. J Magn Reson Imaging. 2007;26(1):198-201. doi:10.1002/jmri.20963.
22. Obara K, Obara C, Naito M, Asano A, Tajima A. Real-time visualisation of developing chick embryos cultured in transparent plastic films from the blastoderm stage until hatching. Sci Rep. 2024;14:22790. doi:10.1038/s41598-024-72004-y.

УДК: 636.1.082.1(575.826)
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.376

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА У ЖЕРЕБЯТ РАЗНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ЯКУТСКОЙ ЛОШАДИ

Алферов И.В. – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории селекции и разведения лошадей; **Слепцов Е.С.** – д-р ветеринар. наук., гл. науч. сотр. лаб. оленеводства и традиционных отраслей

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» - Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова

*ivan.alferov@mail.ru

Ключевые слова: *якутская лошадь, теплоизоляция, шерстный покров, рост, адаптация, субарктический климат.*

Keywords: *Yakut horse, thermal insulation, hair coat, growth, adaptation, subarctic climate.*

Поступила: 01.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Настоящее исследование направлено на сравнительный анализ терморегуляторных особенностей двух популяций жеребят якутской породы — момской (Арктический район) и амгинской (Центральный район) — в первые шесть месяцев жизни. Теплоизоляционные свойства шерстного покрова оценивались с использованием индекса теплоизоляции (ИТ), основанного на массе шерсти, её плотности и длине волос. У момских жеребят зимний ИТ составил 7270,65 (плотность 1812±127 волос/см², масса 0,107±0,0058 г/см², длина 37,5±0,5 мм, диаметр 57,9±1,31 мкм), у амгинских — 4646,34 (плотность 1443±108 волос/см², масса 0,070±0,0043 г/см², длина 46,0±0,68 мм). Для приблизительной оценки теплопроводности (k) использовались значения термического сопротивления шерсти (R), принятые в диапазоне 0,8–0,9 °C·м²·Вт⁻¹, что соответствует данным по холодоустойчивым млекопитающим (Walsberg, 1991; Kvadsheim et al., 1994 и др.). На основе формулы k=L/R определялись ориентировочные значения теплопроводности. Теплопроводность момских жеребят (k=0,042–0,047 Вт/м·К) ниже, чем у амгинских (k=0,051–0,058 Вт/м·К), что обусловлено большей плотностью, снижающей теплопотери. Амгинские жеребята уступают из-за меньшей плотности, что увеличивает конвективные потери, несмотря на большую длину волос. ИТ и k корректировались с учетом сезонных изменений и диаметра волос, подтверждая, что высокая плотность и оптимальный диаметр у момских жеребят обеспечивают эффективную терморегуляцию даже при меньшей длине шерсти. Морфологически момские жеребята компактнее (индекс обхвата груди 118,9% против 112,7%), что минимизирует теплопотери по правилу Бергмана. В целом, результаты исследования

показывают, что момская популяция жеребят якутской породы характеризуется более выраженными термоадаптивными признаками на ранних этапах постнатального развития.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

За миллионы лет эволюции естественный отбор оказал значительное влияние на формирование биоразнообразия, приведя к вымиранию множества видов, включая большинство представителей отряда непарнокопытных (Perissodactyla). Среди них, за исключением отдельных реликтовых видов, таких как носороги (яванский носорог) и тапиры, наибольшее экологическое и антропогенное значение сохранила лошадь (Equus caballus). Этот вид обладает исключительной адаптивной пластичностью, что позволяет ему успешно осваивать самые разнообразные климатические зоны и экосистемы по всему миру.

Феномен адаптивной пластичности лошадей объясняется их эволюционной историей и генетической вариабельностью, которые способствовали формированию морфологических, физиологических и поведенческих приспособлений к разнообразным средам обитания [1,2]. Лошади способны эффективно регулировать метаболические процессы, оптимизировать терморегуляцию и адаптировать репродуктивные механизмы в зависимости от условий окружающей среды [3,4]. Эти черты позволили виду не только выжить, но и занять ключевую нишу в экосистемах, а также стать важным элементом человеческих цивилизаций благодаря одомашниванию [3,4,5,8].

Особенно примечательным примером локальной адаптации является якутская порода лошадей, выведенная в экстремальных условиях Северо-Восточной Сибири. Якутская приспособилась к субарктическому климату с температурами до -50 °C, коротким вегетационным периодом и ограниченной доступностью кормовых ресурсов. Якутские лошади обладают уникальными морфофизиологическими инструментариями, такими как густая шерсть, компактное телосложение и повышенная способность к накоплению жировых запасов, что позволяет им не только выживать, но и давать потомство в суровых условиях крайнего севера. Морфологические адаптации у млекопитающих в холодных регионах включают компактное телосложение, минимизирующее теплопотери по правилу Бергмана [14]. Эти адаптации делают их ценным объектом для изучения механизмов адаптации млекопитающих в холодных регионах, где физиологические и морфологические изменения играют решающую роль.

Исследования показывают, что млекопитающие, обитающие в холодных регионах имеют более сложные адаптации, обеспечивающие выживание при низких температурах, что делает их объектом для изучения физиологических и морфологических особенностей [6].

Адаптация млекопитающих к холоду включает физиологические изменения, такие как усиление метаболизма на 20–50% в холоде, и морфологические, например, густую шерсть для сохранения тепла [7].

Генетические исследования выявляют мутации в генах, связанных с развитием густой шерсти и липидным обменом, что подтверждает эволюционную приспособленность [8].

Исследования показывают, что быстрые метаболические изменения позволили млекопитающим колонизировать холодные регионы, адаптируя базальный метаболический уровень к низким температурам [9].

Развитие млекопитающих в условиях холода сопряжено с дополнительными вызовами, особенно на ранних стадиях онтогенеза. Рост и развитие начинаются с оплодотворения, и ограниченные кормовые ресурсы в холодных регионах могут существенно влиять на темпы роста [10]. Доступность пищи и забота матери играют ключевую роль в темпах роста, особенно в раннем постнатальном периоде, что может оказывать долгосрочное влияние на физиологическое развитие [11].

В холодных регионах рост может замедляться из-за повышенных энергетических затрат на терморегуляцию, но исследования показывают, что у некоторых видов, таких как Antechinus flavipes, темпы роста остаются схожими при холоде и тепле, что указывает на пластичность развития [12].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения механизмов адаптации млекопитающих к экстремальным климатическим условиям, что имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. В условиях глобальных изменений климата и антропогенного давления понимание адаптивных стратегий видов, способных выживать в суровых условиях, становится критически важным для сохранения биоразнообразия.

Научная новизна заключается в комплексном анализе роста, развития и теплоизоляционных свойств шерстного покрова жеребят якутской породы с применением условного индекса теплоизоляции (ИТ), разработанного для оценки изоляционной способности шерсти. Впервые проведено сравнительное изучение момской и амгинской популяций с учетом микроструктурных характеристик волос (длина, плотность, масса, диаметр) и их влияния на теплопроводность. Предложенный подход позволяет количественно оценить адаптивные преимущества якутских лошадей в сравнении с другими холодоустойчивыми млекопитающими.

Настоящее исследование посвящено изучению адаптивных механизмов якутской породы лошадей. В работе представлены результаты анализа темпов роста, морфологических особенностей и теплоизоляционных свойств шерстного покрова жеребят из момской и амгинской популяций, а также сравнительная оценка их адаптивных характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для анализа роста, развития и теплоизоляционных свойств волосяного покрова жеребят якутской породы были отобраны по пять жеребят момской и амгинской популяций (n=5). Животным обеспечивались идентичные условия кормления и содержания для исключения влияния внешних факторов. Измерения живой массы проводились в возрасте 3 дней, 1 месяца, 3 месяцев и 6 месяцев с использованием механических весов. Параметры волосяного покрова (длина, плотность, масса, диаметр) и промеры телосложения определялись стандартными зоотехническими методами. Длина волос измерялась линейкой на образцах, взятых с боковой поверхности тела. Плотность определялась подсчетом волос на площади 1 см² с использованием стереомикроскопа. Масса волос измерялась взвешиванием с площади 1 см² на аналитических весах (±0,001 г). Диаметр волос оценивался микрометрическим анализом 20 случайно выбранных волос от каждого жеребенка с помощью цифрового микроскопа. Данные обрабатывались статистически с применением t-критерия Стьюдента (P≥0,95 и P≥0,99).

Для оценки теплоизоляционных свойств шерстного покрова рассчитывался условный индекс теплоизоляции (ИТ) по формуле:

$$ИТ = m(г/см2) \times \rho(волос/см2) \times L(мм),$$

где:

m — масса шерсти на единицу площади (г/см²),

ρ — плотность волосяного покрова (волос/см²),

L — средняя длина волос (мм).

Данный индекс представляет собой **условную величину**, характеризующую объем шерстного слоя и, соответственно, его способность удерживать воздух. Чем выше значение ИТ, тем выше потенциальная теплоизоляционная эффективность шерсти.

ИТ вычислялся для зимнего (6 месяцев) и летнего периодов на основе средних значений параметров, отражая объем шерстного слоя как косвенный показатель изоляционной способности.

Для сопоставления с данными литературы, где теплоизоляция выражена в теплопроводности (k, Вт/м·К), проводилась оценка k на основе подходов, описанных в Scholander et al. (1950), Walsberg (1991),

Kvadsheim et al. (1994), Riddell et al. (2021), Langman et al. (2019), McCafferty et al. (2007) и другие [15-21].

Поскольку прямые измерения теплового потока (q) и разницы температур (ΔT) в настоящем исследовании отсутствовали, k оценивался косвенно — через термическое сопротивление (R, °C·м²·Вт⁻¹), с использованием соотношения:

$$k = R/L,$$

где:

R — термическое сопротивление (°C·м²·Вт⁻¹),

L — толщина шерстного слоя, определяемая как средняя длина волос, переведённая в метры.

Для обеих популяций (момских и амгинских) R принималось в диапазоне 0,8–0,9 °C·м²·Вт⁻¹, что соответствует типичным значениям для холодоустойчивых млекопитающих с плотностью шерсти 1600–2500 волос/см² и диаметром волос 50–70 мкм, как указано в Langman et al., Walsberg, Kvadsheim et al. и других источниках [15-21]. Это предположение основано на сходстве физиологических характеристик терморегуляции у якутских лошадей независимо от популяции, с различиями в изоляции, обусловленными параметрами шерсти. Оценка k является приблизительной и требует подтверждения прямыми измерениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В своей работе Blix отмечает, что в холодных условиях наблюдается повышенная эффективность метаболической системы, способствующую быстрому набору массы, большинство полярных животных накапливают большие запасы жира, чтобы пережить зимнюю нехватку пищи [22, 23]. В нашем исследовании при рождении амгинские жеребята имели несколько большую массу (43,5±0,45 кг против 41,3±0,41 кг у момских), однако к 6 месяцам момские жеребята достигли 208,22±4,91 кг, опережая амгинских (196,3±4,71 кг) с общим приростом 166,9 кг против 152,8 кг, что свидетельствует о приросте на 9,22%. Среднесуточный прирост массы у момских жеребят достигал пика в первые три месяца (1047 г/сутки против 938 г/сутки у амгинских), однако в дальнейшем приросты снижались, вероятно, из-за активности кровососущих насекомых, что коррелирует с данными исследований по сезонной акклиматизации (Langman et al., 2015).

Особое внимание в нашем исследовании уделено характеристикам волосяного покрова, который играет ключевую роль в теплоизоляции организма. У момских жеребят масса волос на 1 см² составляет 0,107±0,0058 г, плотность – 1812±127 волос/см², длина – 37,5±0,5 мм, а диаметр – 57,9±1,31 мкм, что обеспечивает условный индекс теплоизоляции (ИТ) равный 7270,65, тогда как у амгинских показатели оказались ниже (ИТ = 4646,34) (таблица 1). По исследованиям Алексеева Н.Д. волосы якутской породы являются полыми, что значительно снижает их теплопроводность за счёт наличия воздушных каналов внутри стержня волоса [24]. Данные результаты свидетельствуют о том, что даже незначительные различия в микроструктуре волос оказывают существенное влияние на общую способность организма к сохранению тепла. Генетические исследования, выявляющие мутации в генах, связанных с развитием шерсти и метаболизмом, дополнительно подтверждают, что подобные морфологические особенности являются адаптивной реакцией на субарктические условия [25].

Сравнение данных Scholander et al. (1950) по теплоизоляции меха арктических млекопитающих и Walsberg (1991) по сезонной изменчивости шерстного покрова песцов показывает, что высокая плотность волос является общим механизмом повышения изоляции, а различия в длине волос отражают адаптации к климатическим условиям [14, 15]. Обзор терморегуляции у домашних животных (Collier & Gebremedhin, 2015) [11] подтверждает, что масса тела и характеристики шерсти, такие как плотность и структура, играют важную роль в поддержании оптимальной температуры, что отражается в более высоких показателях теплоизоляции у момских жеребят по сравнению с

амгинскими.

Обобщенные обзоры по терморегуляции (McCafferty, 2017; Collier & Gebremedhin, 2015) указывают на то, что эффективность изоляции определяется не только плотностью, но и диаметром волос, а сезонные изменения шерстного покрова коррелируют с климатическими условиями, что подтверждается сравнительным анализом характеристик шерсти момских и амгинских жеребят и подчеркивает значимость каждой микроструктурной характеристики в обеспечении высокой теплоизоляции.

Таблица 1 – Параметры волосяного покрова и индекс теплоизоляции (M±SE)

Улус	Сезон	Длина (мм)	Кол-во (шт/см²)	Масса (г/см²)	ИТ
Момский	Зима	37,5±0,5	1812±127	0,107±0,0058	7270,65
	Лето	6,0±0,18	798±95	0,057±0,0034	272,9
Амгинский	Зима	46,0±0,68	1443±108	0,070±0,0043	4646,34
	Лето	5,65±0,16	618±86	0,049±0,0031	171,1

Расчет теплопроводности (k):

Для момских жеребят L=0,0375 м:

при R=0,8 °C·м2·Вт$^{-1}$: k=0,0375/0,8=0,0469 Вт/м·К,

при R=0,9 °C·м2·Вт$^{-1}$: k=0,0375/0,9=0,0417 Вт/м·К,

итог: k≈0,042–0,047 Вт/м·К.

Для амгинских жеребят L=0,046 м L = 0,046 \, м L=0,046м:

при R=0,8 °C·м2·Вт$^{-1}$: k=0,046/0,8=0,0575 Вт/м·К,

при R=0,9 °C·м2·Вт$^{-1}$: k=0,046/0,9=0,0511 Вт/м·К k = 0,046,

итог: k≈0,051–0,058 Вт/м·К.

Полученные значения k корректировались с учетом плотности и диаметра волос. У момских жеребят более высокая плотность (1812±127 против 1443±108 волос/см²) и больший диаметр (57,9±1,31 против 55,3±1,2 мкм) способствуют снижению теплопроводности за счет увеличения объема воздушных карманов в шерстном слое, что согласуется с выводами Riddell et al., что более высокая плотность волос увеличивает теплоизоляцию за счет создания большего объема воздушных карманов в мехе, которые снижают теплопроводность [15, 20].

У амгинских жеребят большая длина (46 мм против 37,5 мм) увеличивает k, но меньшая плотность снижает эффективность изоляции, что подтверждается меньшим ИТ. Оценочные значения k сравнивались с данными литературы для валидации теплоизоляционных свойств шерсти якутских жеребят в контексте адаптации к субарктическому климату.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Результаты показывают, что момские жеребята обладают более высокой теплоизоляционной способностью по сравнению с амгинскими, что обусловлено характеристиками их шерсти и тела. Теплопроводность (k) у момских жеребят в возрасте 6 месяцев составляет 0,042–0,047 Вт/м·К (при R=0,8–0,9 °C·м2·Вт$^{-1}$ L=0,0375м), что указывает на низкую способность шерсти проводить тепло и высокую изоляцию, близкую к нижней границе диапазона для холодоустойчивых млекопитающих (0,03–0,05 Вт/м·К). Это говорит об эффективной защите от холода в условиях Момского улуса. У амгинских жеребят k=0,051–0,058 Вт/м·К (при том же R, L=0,046м), что на 20–23% выше, и ближе к верхнему пределу для животных с умеренной изоляцией (k≈0,067 Вт/м·К). Это указывает на сниженную способность к удержанию тепла по сравнению с видами, обладающими более эффективной теплоизоляцией. Условный индекс теплоизоляции (ИТ), рассчитанный как ИТ=масса×плотность×длина, у момских жеребят зимой равен 7270,65, что в 1,56 раза выше, чем у амгинских (4646,34), благодаря большей плотности (1812±127 волос/см² против 1443±108 волос/см²) и массе волос (0,107±0,0058 г/см² против 0,070±0,0043 г/см²), несмотря на мень-

шую длину (37,5±0,5 мм против 46,0±0,68 мм). У амгинских большая длина не компенсирует меньшую плотность, что увеличивает конвективные потери тепла, снижая изоляцию. Плотность шерсти у момских жеребят находится в диапазоне холодоустойчивых видов (1600–2500 волос/см²), обеспечивая плотный слой с большим количеством воздушных карманов, у амгинских плотность (1443±108 волос/см²) ниже оптимального порога, а диаметр (55,3±1,2 мкм) лишь немного меньше, что не компенсирует меньшую плотность, делая их шерсть менее эффективной.

Морфологически момские жеребята лучше приспособлены к холоду: их индекс обхвата груди (118,9% против 112,7%) и эйрисомность (116,7% против 111,9%) указывают на компактное телосложение, минимизирующее теплопотери по правилу Бергмана, а превосходство по обхвату груди (на 5,5%) и пясти (на 4,4%) усиливает эту адаптацию. Амгинские жеребята менее компактны, что менее выгодно в экстремальных условиях.

Сравнение с другими холодоустойчивыми млекопитающими позволяет определить положение якутских жеребят среди адаптированных к холоду видов. У северных оленей (Soppela, 2010, Walsberg, G. E. (1991), Cena, K., & Monteith, J. L. (1975) плотность в среднем 2000 волос/см², диаметр 50–60 мкм, длина 30–40 мм, k=0,03–0,05 Вт/м·К [15, 17], и момские жеребята (1812±127 волос/см², 57,9±1,31 мкм, k=0,042–0,047 Вт/м·К) близки по этим параметрам, с меньшей длиной, оптимизированной для субарктики, тогда как амгинские (1443±108 волос/см², k=0,051–0,058 Вт/м·К). Песцы (Russell & Tumlison (1996) Walsberg, 1991, Prestrud, 1991, Kvadsheim et al, 1994) с плотностью 2000-2500 волос/см², диаметром 40–60 мкм, длиной 50–60 мм и k=0,03 Вт/м·К [15, 16, 19, 26] превосходят момских по плотности и k, у амгинских жеребят показатели заметно ниже, что объясняется, скорее всего, меньшей экологической нагрузкой (температурный режим в Амгинском улусе немногим мягче чем в Момском).

Таким образом, момские жеребята обладают более эффективной защитой от холода благодаря низкой теплопроводности (k=0,042–0,047 Вт/м·К), высокому индексу теплоизоляции (7270,65), оптимальной плотности волосяного покрова (1812±127 волос/см²) и диаметру волос (57,9±1,31 мкм), а также компактному телосложению. Амгинские жеребята имеют более высокую теплопроводность k (0,051–0,058 Вт/м·К), меньший индекс теплоизоляции (4646,34), меньшую плотность (1443±108 волос/см²) и менее компактную конституцию. Полученные данные свидетельствуют о более выраженных адаптационных преимуществах момской популяции к экстремальным холодам субарктической зоны.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF HAIR COAT INSULATION PROPERTIES IN FOALS FROM DIFFERENT POPULATIONS OF YAKUTIAN HORSES

Alferov I.V.* – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Selection and Breeding of Horses; **Sleptsov E.S.** – Doctor of V.S., Ch. scientific co-workers of the laboratory reindeer husbandry and traditional industries Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" - Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronova

*ivan.alferov@mail.ru

ABSTRACT

This study aims to conduct a comparative analysis of thermoregulatory characteristics in two populations of Yakut horse foals — the Momsky (Arctic region) and Amginsky (Central region) — during the first six months of life. The thermal insulation properties of the coat were assessed using an insulation index (II) based on coat mass, hair density, and hair length. In winter, the II for Momsky foals was 7270.65 (density:

1812 ± 127 hairs/cm²; mass: 0.107 ± 0.0058 g/cm²; hair length: 37.5 ± 0.5 mm; diameter: 57.9 ± 1.31 μm), while the Amginsky foals had an II of 4646.34 (density: 1443 ± 108 hairs/cm²; mass: 0.070 ± 0.0043 g/cm²; hair length: 46.0 ± 0.68 mm). To approximate thermal conductivity (k), values of thermal resistance (R) in the range of 0.8–0.9 °C·m²·W⁻¹ were used, consistent with data for cold-adapted mammals (Walsberg, 1991; Kvadsheim et al., 1994, among others). Using the formula $k = L / R$, approximate conductivity values were calculated. The thermal conductivity of the Momsky foals (k = 0.042–0.047 W/m·K) was lower than that of the Amginsky foals (k = 0.051–0.058 W/m·K), which is attributed to the higher hair density that reduces heat loss. Although Amginsky foals had longer hair, the lower density increased convective loss. Both II and k were adjusted for seasonal variation and hair diameter, confirming that the higher density and optimal diameter in Momsky foals ensure effective thermoregulation even with shorter hair length. Morphologically, Momsky foals were more compact (girth index: 118.9% vs. 112.7%), minimizing heat loss in accordance with Bergmann's rule. Overall, the findings indicate that the Momsky population of Yakut horse foals displays more pronounced thermoadaptive traits during the early stages of postnatal development.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gaunitz, C., et al. (2018). Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses. Science, 360(6384), 111-114. doi:10.1126/science.aao3297.
2. West-Eberhard, M. J. (2003). Developmental Plasticity and Evolution. Oxford University Press. Ссылка на книгу.
3. Librado, P., et al. (2021). The origins and spread of domestic horses from the Western Eurasian steppes. Nature, 598(7882), 634-640. https://doi.org/10.1038/s41586-021-04018-9.
4. Outram, A. K., et al. (2009). The earliest horse harnessing and milking. Science, 323 (5919), 1332-1335. doi:10.1126/science.1169726.
5. Anthony, D. W. (2007). The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World. Princeton University Press.
6. Salewski, Volker et al. "Morphological change to birds over 120 years is not explained by thermal adaptation to climate change." PloS one vol. 9,7 e101927. 14 Jul. 2014, doi:10.1371/journal.pone.0101927
7. Fuller, Andrea et al. "Adaptation to heat and water shortage in large, arid-zone mammals." Physiology (Bethesda, Md.) vol. 29,3 (2014): 159-67. doi:10.1152/physiol.00049.2013.
8. Librado P, Gamba C, Gaunitz C, et al. Ancient genomic changes associated with domestication of the horse. Science. 2017;356(6336):442-445. doi:10.1126/science.aam5298
9. Avaria-Llautureo, J., Hernández, C.E., Rodríguez-Serrano, E. et al. The decoupled nature of basal metabolic rate and body temperature in endotherm evolution. Nature 572, 651–654 (2019). https://doi.org/10.1038/s41586-019-1476-9.
10. Gilbert SF. Developmental Biology. 6th edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000.
11. Collier, Robert J, and Kifle G Gebremedhin. "Thermal biology of domestic animals." Annual review of animal biosciences vol. 3 (2015): 513-32. doi:10.1146/annurev-animal-022114-110659.
12. Warnecke et al., 2020, Growing Up in a Changing Climate: How Temperature Affects the Development of Morphological, Behavioral and Physiological Traits of a Marsupial Mammal
13. McCafferty, Dominic J., Guillaume Pandraud, Jehanno Gilles, M Fabra-Puchol and Pierre-Yves Henry. "Animal thermoregulation: a review of insulation, physiology and behaviour relevant to temperature control in buildings." Bioinspiration & Biomimetics 13 (2017): n. pag. (2017)
14. Scholander, P. F., Walters, V., Hock, R., & Irving, L. (1950). Body insulation of some arctic and tropical mammals and birds. Biological Bulletin, 99(2), 225–236. https://doi.org/10.2307/1538740

15. Walsberg, G. E. (1991). Thermal effects of seasonal coat change in three sub-arctic mammals. Journal of Thermal Biology, 16 (5), 291–296. https://doi.org/10.1016/0306-4565(91)90025-8
16. Kvadsheim, P. H., Folkow, L. P., & Blix, A. S. (1994). A new device for measurement of thermal conductivity of fur and blubber. Journal of Thermal Biology, 19(6), 431–435. https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90044-2
17. Cena, K., & Monteith, J. L. (1975). Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 188 (1093), 395–411. https://doi.org/10.1098/rspb.1975.0027
18. Chappell, M. A. (1980). Insulation, radiation, and convection in small arctic mammals. Journal of Mammalogy, 61(2), 268–277. https://doi.org/10.2307/1380050
19. Prestrud, P. (1991). Adaptation by the Arctic fox (Alopex lagopus) to the polar winter. Arctic, 44(2), 132–138. https://doi.org/10.14430/arctic1529
20. Riddell EA, Patton JL, Beissinger SR. Thermal adaptation of pelage in desert rodents balances cooling and insulation. Evolution. 2022;76(12):3001-3013. doi:10.1111/evo.14643. (2021),
21. Langman VA, Langman SL, Ellifrit N. Seasonal acclimatization determined by noninvasive measurements of coat insulation. Zoo Biol. 2015;34(4):368-373. doi:10.1002/zoo.21219 (2019)
22. Blix A. S. (2016). Adaptations to polar life in mammals and birds. The Journal of experimental biology, 219(Pt 8), 1093–1105. https://doi.org/10.1242/jeb.120477)
23. Blix, Arnoldus. (2007). Arctic Animals and Their Adaptations to Life on the Edge. Polar Research. 26. 10.3402/polar.v26i1.6209
24. Алексеев, Н. Д. Адаптация лошадей к температурным факторам среды : специальность 03.03.00 "Физиология" : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Алексеев Николай Дмитриевич. – Б. м., 1985. – 199 с. – EDN NPQKNH.
25. Agata, Ako, and Tadashi Nomura. "Thermal Adaptations in Animals: Genes, Development, and Evolution." Advances in experimental medicine and biology vol. 1461 (2024): 253-265. doi:10.1007/978-981-97-4584-5_18
26. Pâivi Soppelä, Mauri Nieminen & Jouni Timisjärvi (1988). Thermoregulation in reindeer. Journal of Thermal Biology, 13(3), 231–237.
27. Russell, J. E., & Tumlison, R. (1996). Comparison of microstructure of white winter fur and brown summer fur of some Arctic mammals. Acta Zoologica (Stockholm), 77 (4), 279–282. https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1996.tb01272.x

REFERENCES

1. Gaunitz, C., et al. (2018). Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses. Science, 360(6384), 111-114. doi:10.1126/science.aao3297
2. West-Eberhard, M. J. (2003). Developmental Plasticity and Evolution. Oxford University Press. Book link
3. Librado, P., et al. (2021). The origins and spread of domestic horses from the Western Eurasian steppes. Nature, 598(7882), 634-640. https://doi.org/10.1038/s41586-021-04018-9
4. Outram, A. K., et al. (2009). The earliest horse harnessing and milking. Science, 323 (5919), 1332-1335. doi:10.1126/science.1169726
5. Anthony, D. W. (2007). The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World. Princeton University Press.
6. Salewski, Volker et al. "Morphological change to birds over 120 years is not explained by thermal adaptation to climate change." PloS one vol. 9.7 e101927. 14 Jul. 2014, doi:10.1371/journal.pone.0101927
7. Fuller, Andrea et al. "Adaptation to heat and water shortage in large, arid-zone mammals." Physiology (Bethesda, Md.) vol. 29.3 (2014): 159-67. doi:10.1152/physiol.00049.2013
8. Librado P, Gamba C, Gaunitz C, et al. Ancient genomic changes associated with domestication of the horse. Science. 2017;356(6336):442-445. doi:10.1126/

science.aam5298
9. Avaria-Llautureo, J., Hernández, C.E., Rodríguez-Serrano, E. et al. The decoupled nature of basal metabolic rate and body temperature in endotherm evolution. Nature 572, 651–654 (2019). https://doi.org/10.1038/s41586-019-1476-9
10. Gilbert SF. Developmental Biology. 6th edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000.
11. Collier, Robert J, and Kifle G Gebremedhin. "Thermal biology of domestic animals." Annual review of animal biosciences vol. 3 (2015): 513-32. doi:10.1146/annurev-animal-022114-110659
12. Warnecke et al., 2020, Growing Up in a Changing Climate: How Temperature Affects the Development of Morphological, Behavioral and Physiological Traits of a Marsupial Mammal
13. McCafferty, Dominic J., Guillaume Pandraud, Jehanno Gilles, M Fabra-Puchol and Pierre-Yves Henry. "Animal thermoregulation: a review of insulation, physiology and behavior relevant to temperature control in buildings." Bioinspiration & Biomimetics 13 (2017): n. pag. (2017)
14. Scholander, P. F., Walters, V., Hock, R., & Irving, L. (1950). Body insulation of some arctic and tropical mammals and birds. Biological Bulletin, 99(2), 225–236. https://doi.org/10.2307/1538740
15. Walsberg, G. E. (1991). Thermal effects of seasonal coat change in three sub-arctic mammals. Journal of Thermal Biology, 16 (5), 291–296. https://doi.org/10.1016/0306-4565(91)90025-8
16. Kvadsheim, P. H., Folkow, L. P., & Blix, A. S. (1994). A new device for measuring thermal conductivity of fur and blubber. Journal of Thermal Biology, 19(6), 431–435. https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90044-2
17. Cena, K., & Monteith, J. L. (1975). Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 188 (1093), 395–411. https://doi.org/10.1098/rspb.1975.0027
18. Chappell, M. A. (1980). Insulation, radiation, and convection in small arctic mammals. Journal of Mammalogy, 61(2), 268–277. https://doi.org/10.2307/1380050
19. Prestrud, P. (1991). Adaptation by the Arctic fox (Alopex lagopus) to the polar winter. Arctic, 44(2), 132–138. https://doi.org/10.14430/arctic1529
20. Riddell EA, Patton JL, Beissinger SR. Thermal adaptation of pelage in desert rodents balances cooling and insulation. Evolution. 2022;76(12):3001-3013. doi:10.1111/evo.14643. (2021),
21. Langman VA, Langman SL, Ellifrit N. Seasonal acclimatization determined by noninvasive measurements of coat insulation. Zoo Biol. 2015;34(4):368-373. doi:10.1002/zoo.21219 (2019)
22. Blix A. S. (2016). Adaptations to polar life in mammals and birds. The Journal of experimental biology, 219(Pt 8), 1093–1105. https://doi.org/10.1242/jeb.120477)
23. Blix, Arnoldus. (2007). Arctic Animals and Their Adaptations to Life on the Edge. Polar Research. 26. 10.3402/polar.v26i1.6209
24. Alekseev, N. D. Adaptation of horses to temperature factors of the environment: specialty 03.03.00 "Physiology": dissertation for the degree of candidate of biological sciences / Alekseev, Nikolai Dmitrievich. - B. m., 1985. - 199 p. - EDN NPQKNH.
25. Agata, Ako, and Tadashi Nomura. "Thermal Adaptations in Animals: Genes, Development, and Evolution." Advances in experimental medicine and biology vol. 1461 (2024): 253-265. doi:10.1007/978-981-97-4584-5_18
26. Pâivi Soppelä, Mauri Nieminen & Jouni Timisjärvi (1988). Thermoregulation in reindeer. Journal of Thermal Biology, 13(3), 231–237.
27. Russell, J. E., & Tumlison, R. (1996). Comparison of microstructure of white winter fur and brown summer fur of some Arctic mammals. Acta Zoologica (Stockholm), 77(4), 279–282. https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1996.tb01272.x

УДК: 615.324:595.3:619
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.385

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХИТОЗАНА В ВЕТЕРИНАРИИ

Балыкина А.Б.* – канд. ветеринар. наук, доц. (ORCID 0000-0001-5373-4794); **Карпенко Л.Ю.** – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-2781-5993); **Киянчук М.В.**– асс. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0009-0006-2884-9630); **Никонов И.Н.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-9495-0178)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*andreeva-a-83@mail.ru

Ключевые слова: *обзор, хитозан, мясная продуктивность, молочная продуктивность, иммунный статус*

Keywords: *overview, chitosan, meat productivity, dairy productivity, immune status*

Финансирование: *при поддержке: исследование выполнено при поддержке гранта российского научного фонда № 25-26-00175 Молекулярно-генетические механизмы формирования иммунитета и микробиома рубца у молодняка крупного рогатого* скота под влиянием хитозана(https://grant.rscf.ru/site/user/bids?role=master)

Поступила: 25.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Хитозан обладает рядом характеристик, которые делают его актуальным для применения в ветеринарии. Он обладает антибактериальными и противогрибковыми свойствами, что делает его перспективным средством для терапии и профилактики инфекций у животных. Это особенно важно в условиях возрастающей резистентности бактерий к традиционным антибиотикам. Хитозан способствует ускорению процесса заживления ран за счет стимуляции пролиферации фибробластов и ангиогенеза. Это делает его ценным компонентом для ветеринарных перевязочных материалов и мазей. Привлекательным является тот факт, что хитозан может стимулировать иммунную систему животных, что ассоциировано с повышением сопротивляемости различным инфекционным заболеваниям. Данный полисахарид может использоваться в качестве добавки к кормам для животных, способствуя улучшению пищеварения и абсорбции питательных веществ, а также снижению уровня холестерина и триглицеридов. Согласно ряду исследований хитозан и гели на его основе не обладают токсичностью. Добавление 3 л 15% раствора комплексной синергетической пребиотической добавки на 1 т кисломолочной продукции за счет бактериостатических свойств хитозана позволяет в 2–2,5 раза увеличить сроки хранения, сохранив при этом живыми кисломолочные бактерии, сама же продукция при этом приобретает лечебно-профилактические свойства. Анализ с использованием баз данных РИНЦ, Scopus, Web of Science, Library Genesis, Google Scholar, Cyberleninka показал, что

хитозан является перспективным для использования в животноводстве с целью улучшения молочной и мясной продуктивности. Несмотря на обширные данные о многочисленных преимуществах хитозана, недостаточно данных о вероятных побочных эффектах. Ограниченны так же данные о сочетанном применении хитозана с другими препаратами. Вышесказанное свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Хитозан, являющийся производным хитина, представляет собой полисахарид, который находит широкое применение в различных отраслях, включая животноводство. Исследования демонстрируют, что хитозан может положительно влиять как на мясную, так и на молочную продуктивность различных видов животных. Улучшение усвояемости кормов, состояния кишечника и иммунного статуса являются ключевыми факторами, способствующими этим эффектам. На фоне нарастающей антибиотикорезистентности хитозан привлекает внимание ещё и своими антибактериальными и фунгицидными свойствами. Хитозан обладает положительным зарядом, что позволяет ему связывать отрицательно заряженные жирные кислоты и желчные соли в кишечнике. Это препятствует их всасыванию в кровоток, что приводит к снижению уровня холестерина. Системы, состоящие из хитозана, обладают большим потенциалом в терапии инфекционных заболеваний. При кормлении животных рационом с высоким содержанием холестерина в течение 20 дней добавление 2–5% хитозана приводит к значительному снижению уровня холестерина в плазме крови на 25–30% без влияния на потребление пищи и рост. Данные ряда исследователей указывают на то, что хитозан и гели на его основе не обладают токсичностью. Однако, для дальнейшего подтверждения и оптимизации использования хитозана в животноводстве необходимы дополнительные исследования и клинические испытания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В период выполнения работы применялись аналитические методы исследований с использованием баз данных РИНЦ, Scopus, Web of Science, Library Genesis, Google Scholar, Cyberleninka. Для поиска достоверной информации в наукометрических базах данных, которые используются для отслеживания цитируемости научных работ и получения информации об их авторах и изданиях применили следующие ключевые слова и фразы: «хитозан и молочная продуктивность», «хитозан и мясная продуктивность», «хитозан в ветеринарии», «хитозан+биохимические показатели».

Целью обзора был анализ и систематизация современных знаний о применении хитозана в животноводстве, так же его влияние на молочную и мясную продуктивность крупного рогатого скота. Ожидается, что на основе анализа данных о хитозане будут предложены новые идеи для терапии инфекционных заболеваний.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Хитозан был открыт Руже в 1859 году после нагревания хитина в щелочной среде. Несколько лет спустя Хоппе-Зиер назвал этот материал хитозаном.[1] Хитозан, встречающийся в природе, является катионным полимером, состоит из биополимеров, полученных путём деацетилирования хитина.[2] С химической точки зрения хитин является поли β-(1-4)-*N*-ацетил-D-глюкозамином с β(1→4)-связями. [3] Наличие амино- и гидроксильных групп делает хитозан привлекательным для применения, поскольку их можно модифицировать для улучшения определённых свойств этого биополимера. Среди химических процессов, улучшающих их свойства, можно выделить сшивание, прививочную сополимеризацию, карбоксиметилирование, этерификацию и этерирование как основные стратегии функционализации структуры хитозана. [4,5] Важной физико-химической характеристикой хитозана является степень деацетилирования (DDA) и молекулярный вес. DDA имеет влияние на все физико-химические свойства как молеку-

лярный вес, выкостность, растворимость. Продукты распада хитозана, в свою очередь, называемые хитоолигосахаридами, являются водорастворимыми, не оказывают цитотоксического действия на организмы, легко усваиваются в кишечнике и выводятся почками. Они обладают множеством биологических свойств, таких как снижение уровня холестерина, противораковая и иммуномодулирующая активность. [6]

Согласно ряду исследований, в том числе с применение в качестве биологических моделей морских свинок, лягушек, тканей нёба человека и слизистой оболочки носовой полости крыс, хитозан и гели на его основе не обладают токсичностью. Более того внутривенное хитозана (4,5 мг/кг/день в течение 11 дней) кроликам не привело к патологическим изменениям, по данным Carreño-Gómez B. и соавт. [6,7, 8]

Хитозан используется в различных отраслях промышленности, включая очистку сточных вод (удаление ионов металлов, красителей и в качестве мембраны для удаления загрязняющих веществ), пищевую промышленность (связывание жира и снижение уровня холестерина, пищевые добавки, упаковку и консерванты), сельское хозяйство (покрытие семян и удобрений, контролируемый сброс агрохимикатов), для регенерации тканей и заживления ран.[9,10] Особое внимания привлекают характеристики хитозана напрямую или косвенно влияющие на организм животного, что представлено в Таблице1.

Таблица 1 – Свойства хитозана, оказывающие влияние на организм животного

Свойство	Влияние на организм/действие
Снижение уровня холестерина	Снижение уровня холестерина, особенно липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), может уменьшить риск развития атеросклероза и связанных с ним сердечно-сосудистых заболеваний у животных. [11]
Противомикробное и фунгицидное действие	Ингибирование роста *Streptococcus mutans, Candida albicans, E. coli, S. choleraesuis, S. typhimurium, S. aureus, Propionibacterium acnes, Listeria monocytogenes, Pseudomonas aeruginosa, A. Niger,* что потенциально может устранить дисбиоз при инфекционных болезнях. [4,12, 13, 14,15, 16]
Влияние на мясную продуктивность	Увеличение среднесуточного привеса поросят-отъемышей в два раза ($P < 0,05$).[17]
Влияние на молочную продуктивность	Увеличение надоев у лактирующих коров голштинской породы ($P = 0,02$). [17]
Стимулирующее действие на иммунную систему	Увеличение количества лейкоцитов и повышение активности фагоцитов, повышение уровня иммуноглобулинов и активности Т-клеток. [18]
Усиление усвоения (синергизм) витаминов и микроэлементов	Профилактика гипо- и авитаминозов. [19]

Хитозан обладает положительным зарядом, что позволяет ему связывать отрицательно заряженные жирные кислоты и желчные соли в кишечнике. Это препятствует их всасыванию в кровоток, что приводит к снижению уровня холестерина. Связывание желчных солей хитозаном приводит к их увеличенному выведению с калом. Поскольку желчные соли синтезируются из холестерина в печени, их потеря стимулирует печень к увеличению использования холестерина для их повторного синтеза, что снижает уровень холестерина в крови. Zhang и соавт. показали,что хитозан снижает усвоение пищевых жиров и холестерина в организме крыс при гиперхолестеринемии.[20] Suganoи соавт. так же продемонстрировали эффективность хитозана в рацион крыс. Согласно их данным при кормлении рационом с высоким содержанием холестерина в течение 20 дней добавление 2–5% хитозана привело к значительному снижению уровня холестерина в плазме крови на 25–30% без влияния на потребление пищи и рост. [21] По данным метаанализа приведённого Moraru и соавт включение в рацион хитозана приводит к улучшению липидного профиля сыворотки крови и снижению факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний. [22]

Наночастицы хитозана (nanochitosan) обладают широким антимикробным спектром действия в отношении различных патогенных бактерий, нитчатых грибов и дрожжей. Эффективность противомикробного действия ионов серебра (I) и наночастиц фосфата серебра (SPNPs) в комплексах с гиалуроновой кислотой и хитозаном была оценена Chudobova и соавт. Их результаты указывают на наиболее высокое противомикробное свойство комплексов ионов серебра(I) и наночастиц серебра с хитозаном. Механизм антибактериального действия хитозана заключается в связывании с отрицательно заряженной клеточной стенкой бактерии, что приводит к изменению проницаемости клеточной оболочки, а затем прикрепляется к ДНК, подавляя её репликацию. Radyum Ikono и соавт. показали эффективность наночастиц хитозана в отношении *Streptococcus mutans* и *Candida albicans*.[12, 14,15] Lifeng Qi и соавт. в свою очередь доказали, что наночастицы хитозана, могут проявлять потенциальную антибактериальную активность в отношении *E. coli, S. choleraesuis, S. typhimurium u S. aureus*. [4] По данным, полученным Friedman и соавт. Наночастицы, синтезированные из хитозана и альгината, продемонстрировали прямую противомикробную активность *in vitro* в отношении *Propionibacterium acnes* — бактерии, ассоциированной с патогенезом акне. [13] По данным Liu и соавт. в сочетании с другими перевязочными материалами, такими как гидрогели, хитозан проявляет антибактериальные свойства, что способствует заживлению ран. Помимо противомикробной активности хитозан проявляет и фунгицидную. Однако Ling и соавт. отмечают, что *A. niger* оказался устойчив к хитозану. Только раствор хитозана и наночастицы, приготовленные из высокомолекулярного хитозана, могут подавить рост этого грибка. *Fusarium solan* по данным авторов чувствителен к хитозану.[23] Противомикробные свойства хитозана и его способность образовывать плёнку используются для сохранения фруктов и овощей после сбора урожая, обеспечивая противомикробную защиту и увеличивая срок хранения. [24] Присутствие хитозана в почве способствует симбиотическим взаимодействиям между растениями и микроорганизмами, как, например, в случае с микоризой. Хитозан также может улучшать метаболизм фруктов или растений, что способствует прорастанию и повышению урожайности. [25, 26]

Имеются публикации об использовании наночастиц хитозана в качестве носителя для доставки вакцин через слизистые оболочки против инфекционных и зоонозных заболеваний домашней птицы и свиней. [27] Большое количество активных функциональных групп в молекулярной цепи хитозана позволяет легко модифицировать хитозан структурно и химически для стимуляции иммунитета по

данным Gorbach VI и соавт. [28] Хитозан, модифицированный маннозой, используется для назальной доставки вакцин. [29]

Одной из уникальных биологических активностей хитозана является его способность индуцировать устойчивость к вирусным заболеваниям у растений ингибировать вирусные инфекции у животных и предотвращать развитие фаговых инфекций в зараженной культуре микроорганизмов. [30]

Исследования, подтверждающие стимулирующее действие хитозана на иммунную систему, а также его влияние на среднесуточный привес охватывают различные виды животных и методы применения. Xu и соавт. показали, что добавление хитозана в корма свиней приводит к значительному улучшению их иммунного статуса, в частности, авторы наблюдали увеличение количества лейкоцитов и повышение активности фагоцитов, что свидетельствует о стимуляции иммунной системы. Результаты их работы показали, что добавление хитозана в корм поросят-отъемышей в два раза увеличивает среднесуточный привес ($P < 0,05$) и повышает переваримость сырого протеина.[31] Lu и соавт. в своём исследовании установили, что добавление хитозана в корма курнесушек улучшает их иммунный ответ. В частности, наблюдалось увеличение уровня антител и повышение активности макрофагов. Это исследование также показало снижение уровня смертности птиц, что косвенно свидетельствует о повышении их сопротивляемости инфекциям.[32] Gopalakannan, A. и соавт., проводя исследование по влиянию хитозана на *Cyprinus carpio* (карп обыкновенный) показали, что внесение хитозана в корм укрепляет врождённую иммунную систему и повышает выживаемость рыб.[33] Эксперимент Tiyu и соавт. показал, что добавление хитозана в рацион крупного рогатого скота оказывает влияние на гуморальный и клеточный иммунный ответ, повышая уровни иммуноглобулинов и активность Т-клеток. [18] Abdeltawab и соавт. оценивали действие хитозана на иммунный статус лабораторных мышей. Было выяснено, что хитозан, введенный мышам, способствовал увеличению количества и активности естественных киллеров (NK-клеток) и повышению уровня цитокинов, что указывает на его иммуномодулирующие свойства. Однако не было выявлено какого-либо влияния препарата на вес животных. Изучением действия хитозана на мышиной модели также занимались Ghulam Mohyuddin и соавт. Их результаты демонстрируют, что хитозан обладает противовоспалительным действием и помогает переносить высокие температуры окружающей среды. Мышей подвергали тепловому стрессу (40 °C в день в течение 4 часов) в течение 14 дней подряд. Результаты показали, что в группах, которым перорально вводили хитозаном, выработка HSP70, TLR4, p65, TNF-α и IL-10 была подавлена на 1-й, 7-й и 14-й день по сравнению с группой, подвергшейся тепловому стрессу и не получавших препарат. [34, 35] Paiva и соавт. в ходе исследования по влиянию повышения уровня потребления хитозана на переваримость питательных веществ, рубцовую ферментацию, показатели крови, использование азота, синтез микробного белка, а также на надои и состав молока у лактирующих коров голштинской породы, показали, что добавление хитозана в корма привело к улучшению их молочной продуктивности. По данным авторов хитозан изменяет ферментацию в рубце и повышает надои у лактирующих коров. [17]. Особое внимание привлекает к себе продукция, разработанная специалистами ООО «СОНАТ» (г. Н. Новгород). Так разработан универсальный «Хитозановый комплекс из природного сырья», запатентованный под товарным знаком DOCTOR NEPTUNO (свидетельство № 358931). Мономеры хитозана (N-ацетил-D- глюкозамин), входящие в состав продукции, выступают в роли строительного материа структурной основы соединительной ткани суставов. Добавление 3 л 15%-ного раствора комплексной синергетической пребиотической добавки на 1 т кисломолочной продукции за счет бактериостатических свойств хитозана позволяет в 2–

2,5 раза увеличить сроки хранения, сохранив при этом живыми кисломолочные бактерии, сама же продукция при этом приобретает лечебно-профилактические свойства. [11, 19]

На данный момент выпускается обширный спектр продукции, содержащей в своём составе хитозан в различных концентрациях. В Таблице 2 представлены различные коммерческие биологически активные добавки, в состав которых входит хитозан. Наличие столь обширного спектра медицинской продукции содержащей хитозан стимулирует к разработке и выпуску ветеринарных препаратов.

Таблица 2 – Коммерческие биологически активные добавки, в состав которых входит хитозан

Торговое наименование	Производитель	Форма выпуска
«КСП-1»	ООО «СОНАТ»	Раствор (15%)
«HITABS»	ООО «СОНАТ»	Пастилки
«Хитозан-Эвалар»	Эвалар ЗАО	Таблетки (125 мг)
«Хитозан Форте»	Квадрат-С ООО	Таблетки (500 мг)
GLS «Хитозан»	Глобал Хэлфкеар ООО	Капсулы (240 мг)
«Хитозан»	Экко плюс ООО	Таблетки (450 мг)
«Now Chitosan»	NOW FOODS, LLC (США)	Капсулы (631 мг)
«Хитозан»	Химпитерторг Групп ООО	Порошок
"CHITOSAN"	ТД «Стоинг»ООО	Порошок
"CHITOSAN"	HiMedia Laboratories Pvt. Ltd. (Индия)	Порошок
«Хитозан»	ЕДАПРОФ	Порошок
«Хитозан Адванс»	ТД «Витаукт» ООО	Раствор для приёма внутрь

Можно отметить, что несмотря на наличие разнообразных форм выпуска хитозана, на данный момент на территории Российской Федерации выбор продукции для ветеринарного применения ограничен. Выше сказанное подтверждает необходимость дальнейшего исследования хитозана на животных моделях, с целью дальнейшего внедрения в сельское хозяйство. Актуальность так же обусловлена наличием данных, полученных различными исследователями, о положительном влиянии как на мясную, так и на молочную продуктивность различных видов сельскохозяйственных животных. На данный момент наилучшие показатели при применении в сельском хозяйстве демонстрирует продукция ООО «СОНАТ».

Несмотря на обширные данные о многочисленных преимуществах хитозана, недостаточно данных о вероятных побочных эффектах. Ограниченны так же данные о сочетанном применении хитозана с другими препаратами. В последнее время возрастает интерес к фаготерапии, однако известно, что хитозан препятствует заражению фагами бактерий. Вышесказанное свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Анализ научных публикаций позволил обобщить данные о влиянии препаратов, содержащих хитозан не только на молочную и мясную продуктивность животных, так же оценено его стимулирующее действие на ряд биологических моделей, что делает его перспективным для использования в животноводстве с целью улучшения продуктивности и сопротивляемости заболеваниям. Помимо прочего хитозан также может улучшать метаболизм фруктов или растений, что способствует прорастанию и повышению уро-

жайности. Хитозан представляет собой многообещающий и многофункциональный материал для использования в животноводстве. Его антимикробные, иммуномодулирующие и детоксикационные свойства делают его ценным инструментом для повышения резистентности и продуктивности сельскохозяйственных животных. Ингибирование роста ряда возбудителей бактериальных болезней животных может сделать хитозан привлекательным средством антимикробной терапии, однако ряд его особенностей ограничивают комбинированное применение с другими препаратами, к примеру, бактериофагами, поскольку хитозан препятствует инфицированию фагом бактерии. Однако, для дальнейшего развития и оптимизации его применения необходимы дополнительные исследования и клинические испытания, в том числе для оценки наличия вероятных нежелательных эффектов на организм животных. На данный момент показатели при применении в сельском хозяйстве демонстрирует продукция ООО «СОНАТ».

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF CHITOSAN APPLICATION IN VETERINARY MEDICINE

Balykina A.B. – PhD of Veterinary Sciences, Assoc. Prof. (ORCID 0000-0001-5373-4794); Karpenko **L.Yu.** – D.Biol.sc. Professor (ORCID: 0000-0002-2781-5993); **Kiyanchuk M.V.** – assistant of the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID:0009-0006-2884-9630;); **Nikonov I.N.** – Cand.biol.sc. (ORCID: 0000-0001-9495-0178)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*andreeva-a-83@mail.ru

Financing: The work was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant 25-26-00175 Molecular genetic mechanisms of immunity formation and the rumen microbiome in young cattle under the influence of chitosan. (https://grant.rscf.ru/site/user/bids?role=master)

ABSTRACT

Chitosan has a number of characteristics that make it relevant for use in veterinary medicine. It has antibacterial and antifungal properties, which makes it a promising tool for the treatment and prevention of infections in animals. This is especially important in conditions of increasing bacterial resistance to traditional antibiotics. Chitosan accelerates the wound healing process by stimulating fibroblast proliferation and angiogenesis. This makes it a valuable component for veterinary dressings and ointments. It is attractive that chitosan can stimulate the immune system of animals, which is associated with increased resistance to various infectious diseases. This polysaccharide can be used as an additive to animal feed, contributing to improved digestion and absorption of nutrients, as well as lowering cholesterol and triglycerides. According to a number of studies, chitosan and gels based on it are not toxic. Despite the extensive data on the numerous benefits of chitosan, there is insufficient data on potential side effects. There is also limited data on the combined use of chitosan with other drugs. The above indicates the need for further research.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Thakur V.K., Thakur M.K. Recent advances in graft copolymerization and applications of chitosan: A review. ACS Sustain. Chem. Eng. 2014;2:2637–2652. doi: 10.1021/sc500634p
2. Abourehab, Mohammed A S et al. “Recent Advances of Chitosan Formulations in Biomedical Applications.” International journal of molecular sciences vol. 23,18 10975. 19 Sep. 2022, doi:10.3390/ijms231810975
3. Kaur S, Dhillon GS. The versatile biopolymer chitosan: potential sources, evaluation of extraction methods and applications. Crit Rev Microbiol. 2014;40(2):155-175. doi:10.3109/1040841X.2013.770385
4. Qi L, Xu Z, Jiang X, Hu C, Zou X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. Carbohydr Res. 2004 Nov

15;339(16):2693-700. doi: 10.1016/j.carres.2004.09.007. PMID: 15519328.
5.Rafique A., Mahmood Zia K., Zuber M., Tabasum S., Rehman S. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review. Int. J. Biol. Macromol. 2016;87:141–154. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.02.035.
6.Zhai, Xingchen et al. "The impact of chitooligosaccharides and their derivatives on the in vitro and in vivo antitumor activity: A comprehensive review." Carbohydrate polymers vol. 266 (2021): 118132. doi:10.1016/j.carbpol.2021.118132
7.Carreño-Gómez B., Duncan R. Evaluation of the biological properties of soluble chitosan and chitosan microspheres. Int. J. Pharm. 1997;148:231–240. doi: 10.1016/S0378-5173(96)04847-8.
8.Ribeiro M.P., Espiga A., Silva D., Baptista P., Henriques J., Ferreira C., Silva J.C., Borges J.P., Pires E., Chaves P., et al. Development of a new chitosan hydrogel for wound dressing. Wound Repair Regen. 2009;17:817–824. doi: 10.1111/j.1524-475X.2009.00538.x.
9.Pramanik S., Sali V. Connecting the dots in drug delivery: A tour d'horizon of chitosan-based nanocarriers system. Int. J. Biol. Macromol. 2021;169:103–121. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.083.
10. Комиссарова Е.С. Исследование возможности применения комплексной синергетической пребиотической пищевой добавки на основе хитозана «КСП – 1» в сыроделии : выпускная квалификационная работа : направление подготовки 19.03.01 Биотехнология; профиль подготовки Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ; очной формы обучения / Е.С. Комиссарова ; науч. рук. Е. А. Абакумова. - Ставрополь, 2019. - 34 с.
11.Сулейманова Л. Р., Наставшева А. В., Махмудова А. Р., Габбасова И. И., Решетник О. А. ПРИМЕНЕНИЕ ХИТОЗАНА В ПИЩЕВОЙ И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННОСТЯХ // Вестник науки. 2020. №1 (22). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-hitozana-v-pischevoy-i-drugih-promyshlennostyah (дата обращения: 08.02.2025).
12.Chudobova, Dagmar et al. "Complexes of silver(I) ions and silver phosphate nanoparticles with hyaluronic acid and/or chitosan as promising antimicrobial agents for vascular grafts." International journal of molecular sciences vol. 14,7 13592-614. 28 Jun. 2013, doi:10.3390/ijms140713592
13.Friedman AJ, Phan J, Schairer DO, Champer J, Qin M, Pirouz A, Blecher-Paz K, Oren A, Liu PT, Modlin RL, Kim J. Antimicrobial and anti-inflammatory activity of chitosan-alginate nanoparticles: a targeted therapy for cutaneous pathogens. J Invest Dermatol. 2013 May;133(5):1231-9. doi: 10.1038/jid.2012.399. Epub 2012 Nov 29. PMID: 23190896; PMCID: PMC3631294.
14.Husain S., Al-Samadani K.H., Najeeb S., Zafar M.S., Khurshid Z., Zohaib S., Qasim S.B. Chitosan biomaterials for current and potential dental applications. Materials. 2017;10:602. doi: 10.3390/ma10060602.
15.Ikono, R., Vibriani, A., Wibowo, I. et al. Nanochitosan antimicrobial activity against Streptococcus mutans and Candida albicans dual-species biofilms. BMC Res Notes 12, 383 (2019). https://doi.org/10.1186/s13104-019-4422-x
16.Moreira Mdel R, Pereda M, Marcovich NE, Roura SI. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. J Food Sci. 2011 Jan-Feb;76(1):M54-63. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01910.x. Epub 2010 Nov 29. PMID: 21535694.
17.Paiva, P.G. & Jesus, Elmeson & Del Valle, Tiago & Almeida, Gustavo & Costa, Artur & Consentini, Carlos & Zanferari, Filipe & Takiya, Caio & Bueno, Ives & Rennó, Francisco. (2016). Effects of chitosan on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition of dairy cows. Animal Production Science. 57. 301-307. 10.1071/AN15329.
18.Li, Tiyu & Na, R. & Yu, P. & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Zhao, Y. & Xu, Yuanqing. (2015). Effects of dietary supplementation of chitosan on immune and antioxidative function in beef cattle. Czech Journal of Animal Science. 60. 38-44. 10.17221/7910-

CJAS.
19.Попова К.А. Исследование возможности применения комплексной синергетической пребиотической пищевой добавки на основе хитозана «КСП – 1» в технологии кисломолочных напитков : выпускная квалификационная работа : направление подготовки 19.03.01 Биотехнология ; профиль Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ; очной формы обучения / К.А. Попова ; науч. рук. Е. А. Абакумова. – Ставрополь, 2019. - 44 с.
20.Zhang J, Liu J, Li L, Xia W. Dietary chitosan improves hypercholesterolemia in rats fed high-fat diets. Nutr Res. 2008 Jun;28 (6):383-90. doi: 10.1016/ j.nutres.2007.12.013. PMID: 19083436.
21.Sugano M, Fujikawa T, Hiratsuji Y, Nakashima K, Fukuda N, Hasegawa Y. A novel use of chitosan as a hypocholesterolemic agent in rats. Am J Clin Nutr. 1980 Apr;33(4):787-93. doi: 10.1093/ ajcn/33.4.787. PMID: 7361697.
22.Moraru C, Mincea MM, Frandes M, Timar B, Ostafe V. A Meta-Analysis on Randomised Controlled Clinical Trials Evaluating the Effect of the Dietary Supplement Chitosan on Weight Loss, Lipid Parameters and Blood Pressure. Medicina (Kaunas). 2018 Dec 12;54(6):109. doi: 10.3390/ medicina54060109. PMID: 30545156; PMCID: PMC6306953.
23.Ing, Ling Yien et al. “Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties.” International journal of biomaterials vol. 2012 (2012): 632698. doi:10.1155/2012/632698
24.Gooday G.W. Advances in Microbial Ecology. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 1990.
25.Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. Molecules. 2020 Sep 1;25(17):3981. doi: 10.3390/molecules25173981. PMID: 32882899; PMCID: PMC7504732.
26.Schisler DA, Slininger PJ, Behle RW, Jackson MA. Formulation of Bacillus spp. for Biological Control of Plant Diseases. Phytopathology. 2004 Nov;94(11):1267-71. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267. PMID: 18944465.
27.Renu, Sankar and Gourapura J. Renukaradhya. “Chitosan Nanoparticle Based Mucosal Vaccines Delivered Against Infectious Diseases of Poultry and Pigs.” Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8 (2020): n. pag.
28.Gorbach VI, Krasikova IN, Luk'yanov PA, Loenko YN, Solov'eva TF, Ovodov YS, Deev VV, Pimenov AA. New glycolipids (chitooligosaccharide derivatives) possessing immunostimulating and antitumor activities. Carbohydr Res. 1994 Jul 4;260(1):73-82. doi: 10.1016/0008-6215(94)80023-5. PMID: 8062291.
29.Jung SN, Kang SK, Yeo GH, Li HY, Jiang T, Nah JW, Bok JD, Cho CS, Choi YJ. Targeted delivery of vaccine to dendritic cells by chitosan nanoparticles conjugated with a targeting peptide ligand selected by phage display technique. Macromol Biosci. 2015 Mar;15(3):395-404. doi: 10.1002/ mabi.201400352. Epub 2014 Nov 13. PMID: 25393207.
30.Камская, В. Е. Хитозан: структура, свойства и использование / В. Е. Камская // Научное обозрение. Биологические науки. – 2016. – № 6. – С. 36-42. – EDN YHFBMF.
31.Xu, Yuanqing & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Li, Jiren & Li, Tianmu & Guo, Y. & Guo, X.. (2014). Effects of chitosan supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, and digestive enzyme activity in weaned pigs. Czech Journal of Animal Science. 59. 156-163. 10.17221/7339-CJAS.
32.Lu, Xinxin & Chang, Xinyu & Zhang, Haijun & Wang, Jing & Qiu, Kai & Wu, Shugeng. (2023). Effects of Dietary Rare Earth Chitosan Chelate on Performance, Egg Quality, Immune and Antioxidant Capacity, and Intestinal Digestive Enzyme Activity of Laying Hens. Polymers. 15. 1600. 10.3390/ polym15071600.
33.Gopalakannan, A. & Arul, Venkatesan. (2006). Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of Cyprinus carpio and control of Aeromonas hydrophila infection in

ponds. Aquaculture. 255. 179-187. 10.1016/j.aquaculture.2006.01.012.
34. Abdeltawab, Ashraf & Ammar, Ahmed & El-Hofy, Fatma & Mohamed, Samah & Mesalamy, Eman. (2016). Effect of chitosan supplementation on immune response in mice. benha veterinary medical journal. VOL. 32, NO. 2: 206- 214
35. Ghulam Mohyuddin, Sahar & Qamar, Aftab & Hu, Canying & Chen, Sheng-Wei & Wen, Jia-ying & Liu, Xiao-xi & Ma, Xing-bin & Yu, Zhi-chao & Yong, Yan-hong & Wu, Lian-Yun & Bao, Ming-Long & ju, Xianghong. (2021). Effect of chitosan on blood profile, inflammatory cytokines by activating TLR4/NF-κB signaling pathway in intestine of heat stressed mice. Scientific Reports. 11. 10.1038/s41598-021-98931-8.

REFERENCES

1. Thakur V.K., Thakur M.K. Recent advances in graft copolymerization and applications of chitosan: A review. ACS Sustain. Chem. Eng. 2014;2:2637–2652. doi: 10.1021/sc500634p
2. Abourehab, Mohammed A S et al. "Recent Advances of Chitosan Formulations in Biomedical Applications." International journal of molecular sciences vol. 23.18 10975. 19 Sep. 2022, doi:10.3390/ijms231810975
3. Kaur S, Dhillon GS. The versatile biopolymer chitosan: potential sources, evaluation of extraction methods and applications. Crit Rev Microbiol. 2014;40(2):155-175. doi:10.3109/1040841X.2013.770385
4. Qi L, Xu Z, Jiang X, Hu C, Zou X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. Carbohydr Res. 2004 Nov 15;339(16):2693-700. doi: 10.1016/j.carres.2004.09.007. PMID: 15519328.
5. Rafique A., Mahmood Zia K., Zuber M., Tabasum S., Rehman S. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review. Int. J Biol. Macromol. 2016;87:141–154. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.02.035.
6. Zhai, Xingchen et al. "The impact of chitooligosaccharides and their derivatives on the in vitro and in vivo antitumor activity: A comprehensive review." Carbohydrate polymers vol. 266 (2021): 118132. doi:10.1016/j.carbpol.2021.118132
7. Carreño-Gómez B., Duncan R. Evaluation of the biological properties of soluble chitosan and chitosan microspheres. Int. J. Pharm. 1997;148:231–240. doi: 10.1016/S0378-5173(96)04847-8.
8. Ribeiro M.P., Espiga A., Silva D., Baptista P., Henriques J., Ferreira C., Silva J.C., Borges J.P., Pires E., Chaves P., et al. Development of a new chitosan hydrogel for wound dressing. Wound Repair Regen. 2009;17:817–824. doi: 10.1111/j.1524-475X.2009.00538.x.
9. Pramanik S., Sali V. Connecting the dots in drug delivery: A tour d'horizon of chitosan-based nanocarriers system. Int. J Biol. Macromol. 2021;169:103–121. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.083.
10. Komissarova E.S. Study of the possibility of using a complex synergistic prebiotic food additive based on chitosan "KSP - 1" in cheese making: final qualification work: field of study 19.03.01 Biotechnology; profile of training Biotechnology of food products and biologically active substances; full-time education / E.S. Komissarova; scientific. head E. A. Abakumova. - Stavropol, 2019. - 34 p.
11. Suleimanova L. R., Nastavsheva A. V., Makhmudova A. R., Gabbasova I. I., Reshetnik O. A. APPLICATION OF CHITOSAN IN THE FOOD AND OTHER INDUSTRIES // Bulletin of Science. 2020. No. 1 (22). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-hitozana-v-pischevoy-i-drugih-promyshlennostyah (date of access: 02/08/2025).
12. Chudobova, Dagmar et al. "Complexes of silver(I) ions and silver phosphate nanoparticles with hyaluronic acid and/or chitosan as promising antimicrobial agents for vascular grafts." International journal of molecular sciences vol. 14.7 13592-614. 28 Jun. 2013, doi:10.3390/ijms140713592
13. Friedman AJ, Phan J, Schairer DO, Champer J, Qin M, Pirouz A, Blecher-Paz K, Oren A, Liu PT, Modlin RL, Kim J. Antimicrobial and anti-inflammatory activity of chitosan-alginate nanoparticles: a targeted therapy for cutaneous pathogens. J Invest

Dermatol. 2013 May;133(5):1231-9. doi: 10.1038/jid.2012.399. Epub 2012 Nov 29. PMID: 23190896; PMCID: PMC3631294.
14. Husain S., Al-Samadani K.H., Najeeb S., Zafar M.S., Khurshid Z., Zohaib S., Qasim S.B. Chitosan biomaterials for current and potential dental applications. Materials. 2017;10:602. doi: 10.3390/ma10060602.
15. Ikono, R., Vibriani, A., Wibowo, I. et al. Nanochitosan antimicrobial activity against Streptococcus mutans and Candida albicans dual-species biofilms. BMC Res Notes 12, 383 (2019). https://doi.org/10.1186/s13104-019-4422-x
16. Moreira Mdel R, Pereda M, Marcovich NE, Roura SI. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrots, cheese, and salami. J Food Sci. 2011 Jan-Feb;76(1):M54-63. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01910.x. Epub 2010 Nov 29. PMID: 21535694.
17. Paiva, P.G. & Jesus, Elmeson & Del Valle, Tiago & Almeida, Gustavo & Costa, Artur & Consentini, Carlos & Zanferari, Filipe & Takiya, Caio & Bueno, Ives & Rennó, Francisco. (2016). Effects of chitosan on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition of dairy cows. Animal Production Science. 57. 301-307. 10.1071/AN15329.
18. Li, Tiyu & Na, R. & Yu, P. & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Zhao, Y. & Xu, Yuanqing. (2015). Effects of dietary supplementation of chitosan on immune and antioxidant function in beef cattle. Czech Journal of Animal Science. 60. 38-44. 10.17221/7910-CJAS.
19. Popova K.A. Study of the possibility of using a complex synergistic prebiotic food additive based on chitosan "KSP - 1" in the technology of fermented milk drinks: final qualifying work: direction of training 19.03.01 Biotechnology; profile Biotechnology of food products and biologically active substances ; Full-time education / K.A. Popova; scientific hands E. A. Abakumova. – Stavropol, 2019. - 44 p.
20. Zhang J, Liu J, Li L, Xia W. Dietary chitosan improves hypercholesterolemia in rats fed high-fat diets. Nutr Res. 2008 Jun;28 (6):383-90. doi: 10.1016/j.nutres.2007.12.013. PMID: 19083436.
21. Sugano M, Fujikawa T, Hiratsuji Y, Nakashima K, Fukuda N, Hasegawa Y. A novel use of chitosan as a hypocholesterolemic agent in rats. Am J Clin Nutr. 1980 Apr;33(4):787-93. doi: 10.1093/ajcn/33.4.787. PMID: 7361697.
22. Moraru C, Mincea MM, Frandes M, Timar B, Ostafe V. A Meta-Analysis on Randomised Controlled Clinical Trials Evaluating the Effect of the Dietary Supplement Chitosan on Weight Loss, Lipid Parameters and Blood Pressure. Medicina (Kaunas). 2018 Dec 12;54(6):109. doi: 10.3390/medicina54060109. PMID: 30545156; PMCID: PMC6306953.
23. Ing, Ling Yien et al. “Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties.” International journal of biomaterials vol. 2012 (2012): 632698. doi:10.1155/2012/632698
24. Gooday G.W. Advances in Microbial Ecology. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 1990.
25. Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. Molecules. 2020 Sep 1;25(17):3981. doi: 10.3390/molecules25173981. PMID: 32882899; PMCID: PMC7504732.
26. Schisler DA, Slininger PJ, Behle RW, Jackson MA. Formulation of Bacillus spp. for Biological Control of Plant Diseases. Phytopathology. 2004 Nov;94(11):1267-71. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267. PMID: 18944465.
27. Renu, Sankar and Gourapura J. Renukaradhya. “Chitosan Nanoparticle Based Mucosal Vaccines Delivered Against Infectious Diseases of Poultry and Pigs.” Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8 (2020): n. pag.
28. Gorbach VI, Krasikova IN, Luk'yanov PA, Loenko YN, Solov'eva TF, Ovodov YS, Deev VV, Pimenov AA. New glycolipids (chitooligosaccharide derivatives) possessing immunostimulating and antitumor activities. Carbohydr Res. 1994 Jul 4;260(1):73-82. doi: 10.1016/0008-6215(94)80023-5. PMID: 8062291.

29. Jung SN, Kang SK, Yeo GH, Li HY, Jiang T, Nah JW, Bok JD, Cho CS, Choi YJ. Targeted delivery of vaccine to dendritic cells by chitosan nanoparticles conjugated with a targeting peptide ligand selected by phage display technique. Macromol Biosci. 2015 Mar;15(3):395-404. doi: 10.1002/mabi.201400352. Epub 2014 Nov 13. PMID: 25393207.
30. Kamskaya, V. E. Chitosan: structure, properties and use / V. E. Kamskaya // Scientific review. Biological sciences. - 2016. - No. 6. - P. 36-42. - EDN YHFBMF.
31. Xu, Yuanqing & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Li, Jiren & Li, Tianmu & Guo, Y. & Guo, X.. (2014). Effects of chitosan supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, and digestive enzyme activity in weaned pigs. Czech Journal of Animal Science. 59. 156-163. 10.17221/7339-CJAS.
32. Lu, Xinxin & Chang, Xinyu & Zhang, Haijun & Wang, Jing & Qiu, Kai & Wu, Shugeng. (2023). Effects of Dietary Rare Earth Chitosan Chelate on Performance, Egg Quality, Immune and Antioxidant Capacity, and Intestinal Digestive Enzyme Activity of Laying Hens. Polymers. 15. 1600. 10.3390/polym15071600.
33. Gopalakannan, A. & Arul, Venkatesan. (2006). Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of Cyprinus carpio and control of Aeromonas hydrophila infection in ponds. Aquaculture. 255. 179-187. 10.1016/j.aquaculture.2006.01.012.
34. Abdeltawab, Ashraf & Ammar, Ahmed & El-Hofy, Fatma & Mohamed, Samah & Mesalamy, Eman. (2016). Effect of chitosan supplementation on immune response in mice. benha veterinary medical journal. VOL. 32, NO. 2: 206- 214
35. Ghulam Mohyuddin, Sahar & Qamar, Aftab & Hu, Canying & Chen, Sheng-Wei & Wen, Jia-ying & Liu, Xiao-xi & Ma, Xing-bin & Yu, Zhi-chao & Yong, Yan-hong & Wu, Lian-Yun & Bao, Ming-Long & ju, Xianghong. (2021). Effect of chitosan on blood profile, inflammatory cytokines by activating TLR4/NF-κB signaling pathway in intestine of heat stressed mice. Scientific Reports. 11. 10.1038/s41598-021-98931-8.

УДК: 636.2.034+637.07
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.397

ВЗАИМОСВЯЗИ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЛОКА КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЕГО ПАСТЕРИЗАЦИИ

Савина А.А. – науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-0257-1643); **Зайцев С.Ю.*** – д-р хим. наук, д-р биол. наук, вед. науч. сотр., рук. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Воронина О.А.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0002-6774-4288)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

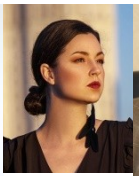
* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: *молоко коров, пастеризация молока, компонентный состав, антиоксидантная активность.*

Key words: *cow's milk, milk pasteurization, component composition, antioxidant activity.*

Финансирование: *Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР FGGN-2024-0016).*

Поступила: 15.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025


РЕФЕРАТ

Молоко является исключительно важным продуктом питания человека и молодняка ряда сельскохозяйственных животных. Цель работы заключается в сравнительном исследовании такого интегрального показателя как суммарное количество водорастворимых антиоксидантов (СКВА) до и после пастеризации молока коров голштинской породы с анализом деталей этих изменений и сопоставлением с биохимическим профилем. Исследования по пастеризации были проведены по промышленному технологическому регламенту (при 72°С за 15 секунд) с образцами молока коров племенного хозяйства «Ладожское». В каждую из 6 сформированных групп вошло по 22-е головы коров, что достаточно для статистического анализа. Обнаружено значительное увеличение значений СКВА в пастеризованных образцах молока до средних значений 24,3 мг/л в группе 1 (удой 16,6 л) и 25,4 мг/л в группе 2 (удой 30,2 л); до 25,9 мг/л в группе 3 (МДЖ 3,50%) и 24,0 мг/л в группе 4 (МДЖ 4,62%); до 26,0 мг/л в группе 5 (МДБи и МДБо 3,09% и 3,24%) и 23,7 мг/л в группе 6 (МДБи и МДБо 4,31% и 4,34%) по сравнению с контролем до пастеризации. Эти существенные отличия связаны (как по-нашему мнению, так и по литературным данным) с некоторой степенью денатурации белков и окисления липидов молока, что делает ряд функциональных групп этих компонентов молока более доступными для процессов окисления-восстановления, регистрируемых

амперометрическим методом как СКВА. Диапазон средних значений СКВА молока после пастеризации (от 22 до 26 мг/л) может служить «референсным» интервалом для практического использования. Таким образом, анализ изменений СКВА при пастеризации молока коров свидетельствует, что антиоксидантная активность молока значительно увеличивается после пастеризации. Это является положительной тенденцией для практики с точки зрения высокого качества молока после его традиционной переработки.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Молоко является ценным продуктом питания, благодаря своему богатому составу, включающему белки, витамины, минералы и другие полезные вещества. Оно играет важную роль в поддержании здоровья человека, особенно в отношении костей, зубов, нервной системы и пищеварения [1,2] и молодняка ряда значимых сельскохозяйственных животных [3,4]. О важности этого продукта говорит постоянный рост производства общего объема сырого молока в мире до 978,5 млн. тонн (включая 673.29 млн. тонн коровьего молока) в 2024 г., в том числе – в РФ до 32,5 млн. тонн в 2024 г. [5].

Известно, что супрамолекулярная организация биологически-активных веществ (БАВ) молока [2,5] способствует «высокой пищевой ценности этого продукта» [6-8]. Многие БАВ молока являются антиоксидантами (белки, пептиды, витамины, гормоны и др.) т.е. веществами, которые «предотвращают окисление компонентов биологических структур и/или разрушают образующиеся активные радикалы» [8-10]. Трудно переоценить значение этих БАВ, включая их роль в предотвращении преждевременной порче вкусовых качеств молока [5-8]. В литературе описываются методы измерения как антиоксидантной активности отдельных БАВ [8-11], так и суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) [5, 12-14]. Авторы данной работы считают наиболее предпочтительным из методов определения интегральной антиоксидантной активности молока - амперометрию. Однако определение таких параметров как антиоксидантная активность отдельных БАВ или даже СКВА пока не включены в ГОСТы типа: ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия»; ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко натуральное коровье - сырье. Технические условия» (дата введения в действие 01.01.2004 г. Дата завершения срока действия 01.01.2025) и ГОСТ Р 52054-2023 ГОСТ «Молоко коровье сырое. Технические условия» (дата введения в действие 01.01.2025 г.). Это во многом связано с тем, что перечисленные параметры недостаточно изучены в плане дальнейшей переработки молока [6-8, 15-17].

Пастеризация, как форма переработки молока путем термической обработки, необходима для его безопасности, но при этом изменяет супрамолекулярную организацию БАВ молока. Термообработка может снижать уровень некоторых индивидуальных термолабильных водорастворимых антиоксидантов [18] и может влиять на активность ферментов и белков, отвечающих за антиоксидантную активность [11-14]. Данное исследование позволяет выявить, насколько и в каком направлении изменяется антиоксидантная активность молока после пастеризации, что важно для обеспечения его пищевой и технологической ценности.

В настоящий момент существует несколько методов тепловой обработки молока. Наиболее старым методом является длительная низкотемпературная пастеризация (ДНТП) молока коров или пастеризация по Холдеру (особенно для донорского грудного молока), которая характеризуется достаточно длительным (в течение 30 минут) выдерживанием молока при нагреве до 62,5-63°C [3,5]. При ДНТП белки молока не денатурируют, но образуется «чёткая линия сливок», что позволяет оценить качество молока визуально [3,5]. Хотя ДНТП используется до сих пор, этот метод был признан неидеальным из-за следующих проблем: долгая «выдержка молока в пастеризационных ваннах», что существенно замедляла производство; требование больших энергозатрат; некоторые «термофильные штаммы микроорганизмов» при ДНТП не погиба-

ли, т.е. продукция не была достаточно безопасной [5]. Более современным методом явилась «высокотемпературная пастеризация» (ВТП). Хотя ВТП характеризуется немного более сильным нагревом (до +72°С), но время выдерживания очень кратко (всего 15-20 секунд) [5]. Хотя сам метод был предложен во второй половине 1940-х во Франции, но он стал быстро набирать популярность в США, где получил название «высокотемпературная кратковременная пастеризация». Достоинствами метода являлось: возможность «пастеризовать молоко в потоке»; увеличение скорости процесса; увеличение «безопасности молока, за счёт уничтожения гораздо большего числа бактерий» [3, 15-17]. Мелкие недостатки ВПТ связаны с небольшими изменениями вкусовых характеристик и запаха, что не является существенным и может быть связано с «частичной коагуляцией альбуминов и глобулинов» [3, 15-17]. Таким образом, «высокотемпературная пастеризация» является оптимальным методом среди всех способов тепловой переработки молока, в том числе - и для наших исследований.

Однако, термическая обработка молока хоть и обеспечивает микробиологическую и вирусологическую безопасность продукта, оставляет открытым вопрос химического преобразования БАВ в процессе хранения. Образование альдегидов, кетонов, перекисей и других соединений может неблагоприятно сказываться на качественных характеристиках конечного продукта. Контроль и коррекция антиоксидантного статуса молока для лучшей сохранности и улучшения качественных характеристик является актуальным и значимым направлением в молочной промышленности, особенно в линейках, предназначенных для детского возраста.

Главное, что определение и изучение именно таких «интегральных параметров молока» как СКВА перспективно для оценки качества полученной молочной продукции, чтобы повысить ее востребованность и конкурентоспособность [5]. В последнее время регулярно выходят работы, связанные с изучением изменений в антиоксидантной активности отдельных БАВ или цельного молока при его тепловой обработке [15-17]. Как многообразие, так и полифункциональность антиоксидантов молока, делает сложным их раздельное определение и преимущество получает знание интегрального параметра типа СКВА молока. Одним из уже изученных методов-аналогов СКВА является определение интегральной антиоксидантной активности молока «кулонометричсским метод с помощью электрогенерированного брома» (КМЭГБ), способного вступать как «в радикальные и окислительно-восстановительные реакции», так и «в реакции электрофильного замещения и присоединения по кратным связям» [19,20]. Этот метод позволяет охватить большие «группы соединений, проявляющих антиоксидантные свойства» [Будников и др., 2004-2010; Абдуллин и др., 2002]. В работах Балакиревой Ю.В. и других [15-17,19,20] проведено определение антиоксидантной емкости (АОЕ) молока, которое осуществляли методом. Авторами [19,20] были установлены изменения АОЕ в широком интервале значений: «6,51 – 17,00 кКл/л и 5,12 – 12,84 кКл/л, соответственно для козьего и коровьего молока». Авторами [19,20] было выявлено влияние возраста и физиологического состояния животного на КМЭГБ биологических жидкостей (крови и молока), а также - получены «адекватные корреляционные зависимости» [19,20]. Одновременно авторы [19,20] оценили влияние ряда промышленных режимов пастеризации коровьего и козьего молока на изменение их полипептидного состава, что позволило сделать вывод о «наименьшем разрушении нативных полипептидов молока при режиме пастеризации 76°С, 5 мин.» [19,20]. Однако, метод амперометрического детектирования более дёшев и прост в применении, и представляется более перспективным для массового использования, предоставляя новые возможности анализа в области животноводства. Все эти данные свидетель-

ствуют об актуальности исследований в области изучения «интегральной активности антиокислительной системы коровьего молока» и развития инструментально-аналитической базы для таких работ. В том числе значимым и новым результатом будет выявление взаимосвязи СКВА с главными экономическими показателями – продуктивность, количество жира и белка. Ранее нами были получены отдельные результаты по увеличению СКВА после пастеризации, но мы не разбирали этот феномен системно, тем более - с точки зрения изменения продуктивности животных, количества жира и белка в молоке, что явилось основанием для данной работы.

Таким образом, цель нашей работы заключается в исследовании общего количества водорастворимых антиоксидантов и деталях их изменений при пастеризации молока коров, исследование взаимосвязи показателя СКВА с суточным удоем, содержанием жира и белка в молоке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Среди всех способов термической обработки молока, авторы выделили и использовали «высокотемпературную пастеризацию» (при 72°С за 15 секунд, как описано в ГОСТ 32922-2014) как признанный технологический метод, что оптимально для наших исследований. После пастеризации пробам давали остыть до комнатной температуры в течение получаса, одинаковые по температуре опытные и контрольные образцы анализировали попарно.

Исследования были проведены с образцами молока клинически здоровых коров голштинской породы 1 и 2 лактации из племенного хозяйства «Ладожское» (Краснодарский край) и в лабораториях ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (в течении 2024-2025 гг.). Содержание соматических клеток молока находилось в пределах допустимых значений молока второго сорта (ГОСТ Р 52054—2023).

Из 44 коров, составивших генеральную совокупность по результатам контрольной дойки, последовательно формировалась следующие группы: по величине суточного удоя (группы 1 и 2), по содержанию жира (группы 3 и 4), по содержанию белка (группы 5 и 6). Во время контрольной дойки отбирали среднюю пробу молока согласно ГОСТ 26809.1-2014, проводили учет суточного удоя. Анализировали СКВА молока методом амперометрического детектирования на приборе «ЦветЯуза-01-АА» [5, 12-14]. Оценка изменений СКВА проводилась после принятия пастеризованными пробами температуры соответствующего сырого молока. Измерения для каждого образца выполнялись последовательно: сначала определялись показатели сырого молока, затем — пастеризованного варианта этого же образца, после чего переходили к следующему образцу. Определение компонентного состава молока проводили с помощью системы «Combi Foss 7» (Дания); изучаемые показатели: массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка истинного (МДБи), массовая доля белка общего (МДБо). Статистическая обработка полученных данных и корреляционный анализ в программе «MicrosoftExcel» с помощью надстройки «Анализ данных».

Кормление коров осуществлялось согласно общепринятым нормам и по утвержденному в хозяйстве рациону из расчета на голову: концентрированных кормов 12,0 кг, сенаж 14,0 кг, силос 8,0 кг, сено 3,0 кг. От начала лактации и к её завершению в структуре рациона менялась пропорция и соотношение («%» от питательности), что приходится на долю каждого вида кормов. Таким образом доля концентратов постепенно снижалась с 45% в начале до 24% к концу лактации, вместе с параллельным повышением доли силоса, сенажа и сена в рационе.

Все полученные в опыте результаты обработаны биометрически с вычислением следующих величин: среднеарифметическая ошибка (M±m), среднеквадратическая ошибка (MES) и уровень значимости (p). Результаты исследований будем считать: высокодостоверными при $p<0,001$ и

достоверными при $p<0,01$ и $p<0,05$; при $0,05<p<0,1$ – тенденция к достоверности полученных данных; при $p>0,1$ разницу будем считать недостоверной. Достоверность оценивалась тестами Стьюдента и Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Основным результатом наших исследований является оценка величин СКВА молока коров и их изменений после пастеризации с учётом удоя, жирности и содержания белка, тогда как другие показатели (влияющие на величину СКВА) в рамках данной работы не рассматривались. Величины СКВА до и после пастеризации молока обозначены как СКВА-1 и СКВА-2, соответственно. Как известно, тепловая обработка молока является одной из обязательных процедур при производстве коммерческого молока и продуктов на его основе [5, 15-20].

В таблицах 1 и 2 приведены статистические данные по измерениям СКВА и основных параметров молока коров в группах 1 и 2 с низким (16,6 л) и высоким (30,2 л) суточным удоем, соответственно.

Таблица 1 - Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группе 1 (низкий удой), n=22

Параметры, ед.измерений	СКВА-1*, мг/л	СКВА-2*, мг/л	сут. удой, литры	МДЖ, %	МДБи, %	МДБо, %
Среднее	13,41	24,32	16,64	4,57	4,17	4,23
Стандартная ошибка	0,96	0,74	1,08	0,13	0,19	0,18
Медиана	12,43	23,81	16,00	4,57	4,26	4,32
Стандартное отклонение	3,19	2,45	3,59	0,42	0,64	0,58
Дисперсия выборки	10,16	6,01	12,85	0,17	0,41	0,34
Эксцесс	9,40	0,07	-0,51	-0,54	2,80	2,94
Асимметричность	3,00	0,63	0,38	-0,36	0,95	0,97
Интервал	11,04	8,30	12,00	1,30	2,47	2,27
Минимум	11,71	20,81	11,00	3,92	3,21	3,34
Максимум	22,76	29,12	23,00	5,22	5,68	5,61

*Примечания: *СКВА-1 и СКВА-2 – это величины СКВА до и после пастеризации молока; МДЖ - содержание жира; МДБи и МДБо – содержание белка истинного и общего, соответственно. СКВА1/СКВА2 различия не достоверные, но с тенденция к достоверности полученных данных, при $0,05<p<0,1$*

Сравнение этих статистических данных (табл. 1 и 2) показало, что значения СКВА до и после пастеризации увеличиваются от 13,41 мг/л до 24,32 мг/л в молоке коров группе 1 (низкий удой, минимальное значение 11 л, максимальное 23 л, среднее 16,6 л) или от 21,29 мг/л до 25,39 мг/л в молоке коров группе 2 с высоким удоем от 24 до 37 л, среднее значение 30,2 л. Таким образом, относительное увеличение СКВА при пастеризации в молоке коров группы 1 составило 81,36%, а в группе 2 – 19,26%, что отличается практически в 4 раза. Это может быть связано: 1) с существенными отличия в первоначальных величинах СКВА (до пастеризации) наряду с близкими величинами СКВА после пастеризации; 2) с относительным сужением интервала минимальных и максимальных значений для СКВА в молоке коров группы 1 до и после пастеризации 11,04 мг/л и 8,30 мг/л, тогда как в молоке коров группы 2 - до и после пастеризации 15,78 мг/л и 12,42 мг/

л. Рассматривая эти данные с другой стороны, становится ясно, что наряду с сужением интервала минимальных и максимальных значений наблюдается увеличением интервала этих значений СКВА группе 2 по сравнению с группой 1.

При этом среднее содержание МДЖ и МДБ в молоке коров стало ниже при увеличении суточного удоя от группы 1 до группы 2: от 4,57% до 3,65% (МДЖ) и от 4,17% до 3,22% (МДБ). Это свидетельствует о том, что организм коровы не в состоянии продуцировать существенно больше жира и белка при увеличении общего (суточного) удоя. Тем не менее общее достоверное увеличением значений СКВА (наряду с уменьшением процентного содержания МДЖ и МДБ) в группе 2 по сравнению с группой 1 объясняется увеличением общего количества БАВ (как жира, так и белка) в группе 2 по сравнению с группой 1.

Таблица 2 - Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группе 2 (высокий удой), n=22

Параметры, ед.измерений	СКВА-1*, мг/л	СКВА-2*, мг/л	сут. удой, литры	МДЖ, %	МДБи, %	МДБо, %
Среднее	21,29	25,39	30,18	3,65	3,22	3,35
Стандартная ошибка	1,83	1,10	1,17	0,15	0,13	0,11
Медиана	22,94	25,57	30,59	3,56	3,22	3,35
Стандартное отклонение	6,34	3,83	4,06	0,53	0,44	0,39
Дисперсия выборки	40,14	14,64	16,51	0,28	0,20	0,15
Эксцесс	-1,65	-0,71	-0,48	-0,41	0,14	0,06
Асимметричность	-0,46	-0,11	-0,10	-0,30	0,96	0,91
Интервал	15,78	12,42	13,00	1,72	1,32	1,19
Минимум	12,53	18,61	24,00	2,63	2,72	2,88
Максимум	28,31	31,03	37,00	4,35	4,04	4,07

Примечания: как в таблице 1. Отличия по удою, МЖД и МДБ и СКВА 1 (гр1 / гр2) достоверны, p<0,01, СКВА 2 (гр1 / гр2) не достоверны.

Для более краткого и наглядного представления результатов рационально оценить отношение СКВА-1 и СКВА-2 к величине удоя в виде следующих коэффициентов (К): для группы 1) 0,81 (К10) и 1,46 (К11) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 0,71 (К20) и 0,84 (К21), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 80,2% и на 19,3% для групп 1 и 2, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДЖ определили следующие коэффициенты: для группы 1) 2,93 (К12) и 5,32 (К13) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 5,83 (К22) и 6,95 (К23), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 81,6% и на 19,4% для групп 1 и 2, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБи определили следующие коэффициенты: для группы 1) 3,22 (К14) и 5,83 (К15) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 6,61 (К24) и 7,89 (К25), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 81,1% и на 19,3% для групп 1 и 2, соответственно. Для отношения СКВА к величине МДБо определили следующие коэффициенты: для группы 1) 3,17 (К16) и 5,75 (К17) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 6,36 (К26) и 7,58 (К27), соответственно. Таким образом,

этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 81,4% и на 19,2% для групп 1 и 2, соответственно.

Это позволяет увидеть реальную динамику изменения К, которая во всех случаях выглядит как увеличение К на 80,2-81,6% и на 19,2-19,4% для групп 1 и 2, соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается в 4 раз больше после пастеризации молока от группы коров с низким удоем (группа 1), чем с высоким удоем (группа 2), что отражает положительную динамику процессов.

Для более глубокого понимания взаимосвязи СКВА как с величиной удоя, так и с основными компонентами молока (МДЖ и МДБ), нами было проведено формирование еще ряда групп коров. В первую очередь это были группы 3 и 4 с низкой и высокой жирностью молока (табл. 3 и 4).

Таблица 3 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группе 3 (низкий МДЖ), n=22

Параметры, ед.измерений	СКВА-1*, мг/л	СКВА-2*, мг/л	сут. удой, литры	МДЖ, %	МДБи, %	МДБо, %
Среднее	19,16	25,88	27	3,50	3,33	3,45
Стандартная ошибка	2,08	1,16	1,89	0,14	0,19	0,17
Медиана	18,38	25,99	29,50	3,47	3,14	3,29
Стандартное отклонение	6,59	3,68	5,99	0,44	0,62	0,55
Дисперсия выборки	43,44	13,57	35,78	0,19	0,38	0,30
Эксцесс	-2,12	-1,58	-0,15	0,15	-0,65	-0,67
Асимметричность	0,17	0,09	-0,99	-0,80	0,82	0,79
Интервал	16,22	9,57	18	1,35	1,76	1,59
Минимум	12,08	21,46	16	2,63	2,72	2,88
Максимум	28,31	31,03	34	3,98	4,48	4,47

Примечания: как в таблице 1. Достоверность различий СКВА1/СКВА2 3-ей группы находится в зоне неопределённости.

Сравнение этих статистических данных (табл. 3 и 4) показало, что значения СКВА до и после пастеризации увеличиваются от 19,16 мг/л до 25,88 мг/л в молоке коров группе 3 (низкая жирность 3,50%) или от 15,9 мг/л до 24,00 мг/л в молоке коров группе 4 (высокая жирность 4,62%). Таким образом, относительное увеличение СКВА в молоке коров группы 3 составило 35,07%, а в группе 4 – 50,94%, что является достоверным и значимым отличием. Это связано с относительным изменением активности всех БАВ молока (а не только жиров) при пастеризации. Рассматривая эти данные, с другой стороны, становится ясно сужением интервала минимальных и максимальных значений как по МДЖ, так и по значениям СКВА, в группе 4 по сравнению с группой 3. При этом среднее содержание МДБи и МДБо в молоке коров было выше в группе 4 (4,0% и 4,1%) по сравнению с группой 3 (3,33% и 3,45%), соответственно. Все эти данные хорошо объясняют общее достоверное увеличением значений СКВА в группе 4 по сравнению с группой 3.

Таблица 4 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров группе 4 (высокий МДЖ), n=22

Параметры, ед.измерений	СКВА-1*, мг/л	СКВА-2*, мг/л	сут. удой, литры	МДЖ, %	МДБи, %	МДБо, %
Среднее	15,85	24,00	20,42	4,62	4,00	4,07
Стандартная ошибка	1,81	0,81	2,40	0,09	0,20	0,19
Медиана	12,70	24,08	18,50	4,56	4,11	4,15
Стандартное отклонение	6,28	2,80	8,32	0,31	0,70	0,64
Дисперсия выборки	39,43	7,82	69,17	0,10	0,49	0,42
Эксцесс	0,26	0,57	0,41	-0,65	1,98	1,97
Асимметричность	1,41	-0,06	1,12	0,57	0,99	0,99
Интервал	16,02	10,51	26,00	0,96	2,47	2,27
Минимум	11,71	18,61	11,00	4,26	3,21	3,34
Максимум	27,74	29,12	37,00	5,22	5,68	5,61

Примечания: как в таблице 1. Отличия по МДЖ достоверны p<0,01; по удою и МДБ 4-ой группы находится в зоне неопределённости; и СКВА 1 (гр3 / гр4) достоверны, p<0,01, СКВА 2 (гр3 / гр4) не достоверны.

Таблица 5 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров в группе 5 (низкий МДБ), n=22

Параметры, ед.измерений	СКВА-1*, мг/л	СКВА-2*, мг/л	сут. удой, литры	МДЖ, %	МДБи, %	МДБо, %
Среднее	22,36	26,00	29,09	3,71	3,09	3,24
Стандартная ошибка	1,73	0,98	1,84	0,19	0,08	0,07
Медиана	23,40	25,75	31,00	3,48	3,21	3,34
Стандартное отклонение	5,74	3,26	6,09	0,64	0,26	0,24
Дисперсия выборки	32,96	10,63	37,09	0,41	0,07	0,06
Эксцесс	-1,10	-1,19	0,11	-0,75	-1,85	-1,70
Асимметричность	-0,76	0,31	-0,86	0,01	-0,11	-0,11
Интервал	14,84	9,57	20,00	2,12	0,68	0,65
Минимум	13,47	21,46	17,00	2,63	2,72	2,88
Максимум	28,31	31,03	37,00	4,75	3,40	3,53

Примечания: как в таблице 1. Достоверность различий СКВА1/СКВА2 5-ой различия не достоверные, но с тенденция к достоверности полученных данных, при 0,05<p<0,1.

Таблица 6 – Сравнение статистических данных по измерениям СКВА и основных параметров молока коров в группе 6 (высокий МДБ), n=22

Параметры, ед.измерений	СКВА-1*, мг/л	СКВА-2*, мг/л	сут. удой, литры	МДЖ, %	МДБи, %	МДБо, %
Среднее	12,34	23,72	17,73	4,51	4,31	4,34
Стандартная ошибка	0,16	0,92	1,47	0,13	0,15	0,14
Медиана	12,43	23,78	16,00	4,54	4,26	4,32
Стандартное отклонение	0,51	3,04	4,88	0,44	0,49	0,45
Дисперсия выборки	0,27	9,25	23,82	0,20	0,24	0,20
Эксцесс	-1,46	-0,21	-1,02	-1,10	7,29	7,33
Асимметричность	0,17	0,20	0,51	-0,03	2,51	2,51
Интервал	1,44	10,51	15,00	1,30	1,78	1,65
Минимум	11,71	18,61	11,00	3,92	3,90	3,96
Максимум	13,15	29,12	26,00	5,22	5,68	5,61

Примечания: как в таблице 1. Отличия по удою, МДЖ, МДБ и СКВА 1 (гр 5 / гр 6) достоверны p<0,01; неопределённости; и СКВА 1 (гр5 / гр6) достоверны, p<0,01, СКВА 2 (гр 5 / гр 6) не достоверны.

Теперь оценим отношения СКВА-1 и СКВА-2 к величине удоя в виде следующих коэффициентов (К): группы 3) 0,71 (К30) и 0,96 (К31) до и после пастеризации, тогда как для группы 4) 0,78 (К40) и 1,18 (К41), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации 35,2% и на 51,3% для групп 3 и 4, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДЖ определили следующие коэффициенты: для группы 3) 5,47 (К32) и 7,39 (К33) до и после пастеризации, тогда как для группы 4) 3,43 (К42) и 5,19 (К43), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 35,1% и на 51,3% для групп 3 и 4, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБи определили следующие коэффициенты: для группы 3) 5,75 (К34) и 7,77 (К35) до и после пастеризации, тогда как для группы 4) 3,96 (К44) и 6,00 (К45), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 35,1% и на 51,5% для групп 3 и 4, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБо определили следующие коэффициенты: для группы 1) 5,55 (К44) и 7,50 (К45) до и после пастеризации, тогда как для группы 2) 3,89 (К44) и 5,90 (К45), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 35,1% и на 51,7% для групп 3 и 4, соответственно.

Это позволяет увидеть реальную динамику изменения К, которая во всех случаях выглядит как увеличение К на 35,1-35,2% и на 51,3-51,7% для групп 3 и 4, соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается почти в 1,5 раза больше после пастеризации молока от группы коров с низким МДЖ (группа 3), чем с высоким МДЖ (группа 4), что отражает положительную динамику процессов.

Для более понимания взаимосвязи СКВА не только с величинами МДБо и МДБи, нами было проведено формирование групп 5 и 6 с низкой и высокой белковостью молока (табл. 5 и 6).

Сравнение этих статистических данных (табл. 5 и 6) показало, что значения СКВА до и после пастеризации изменяются мало от 22,36 мг/л до 26,00 мг/л в молоке коров группе 5 (3,09% и 3,24%) или значительно от 12,34 мг/л до 23,72 мг/л в молоке коров группе 6 (4,31% или 4,34%), МДБи и МДБо, соответственно. Таким образом, относительное увеличение СКВА в молоке коров группы 5 составило 16,28%, а в группе 6 – 92,22%, что почти в 5,7 раза больше. Это может быть связано с относительным увеличением интервала минимальных и максимальных значений для СКВА в молоке коров группы 6 до и после пастеризации по сравнению с группой 5 (до и после пастеризации).

При оценке отношения СКВА к величине удоя получены следующие коэффициенты (К): для группы 5) 0,77 (К50) и 0,90 (К51) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 0,70 (К60) и 1,34 (К61), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 16,9% и на 91,4% для групп 5 и 6, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДЖ определили следующие коэффициенты: для группы 5) 6,03 (К52) и 7,01 (К53) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 2,74 (К62) и 5,26 (К63), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 16,3% и на 92,0% для групп 5 и 6, соответственно.

Для отношения СКВА к величине МДБи определили следующие коэффициенты: для группы 5) 7,24 (К54) и 8,41 (К55) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 2,86 (К64) и 5,50 (К65), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 16,2% и на 92,2% для групп 5 и 6, соответственно. Для отношения СКВА к величине МДБо определили следующие коэффициенты: для группы 5) 6,90 (К56) и 8,02 (К57) до и после пастеризации, тогда как для группы 6) 2,84 (К66) и 5,47 (К67), соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается после пастеризации на 14,0% и на 92,4% для групп 5 и 6, соответственно.

Это позволяет увидеть реальную динамику изменения К, которая во всех случаях выглядит как увеличение К на 14,0-16,9% и на 91,4-92,4% для групп 5 и 6, соответственно. Таким образом, этот коэффициент увеличивается в 6 раз после пастеризации молока от группы коров с высоким содержанием белка (как истинного, так и общего) (группа 6), чем с низким (группа 5), что отражает положительную динамику процессов.

Отличия значений СКВА в пастеризованных образцах молока по сравнению с контролем связаны, по нашему мнению, с определённой денатурацией части белков и окисления части жиров молока, что делает ряд функциональных групп белков и липидов молока более доступными для фиксации методом СКВА.

Стоит отметить то факт, что при определении общего белка в молоке методом инфракрасной спектроскопии учитывается весь белок, который присутствует в пробе, включая белок из разрушенных соматических клеток. Анализ молока с помощью системы «Combi Foss 7» (Дания) основан на измерении спектров поглощения инфракрасного излучения, который зависит от общего содержания белков в образце молока, не зависимо от их происхождения. Учитывая этот факт при интерпретации полученных нами результатов, можно предположить, что увеличение содержания соматических клеток повысит показатель общего белка, который становится более доступным после термической обработки молока и вносит свой вклад в антиоксидантную ёмкость молока.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, увеличение значений СКВА в пастеризованных образцах молока по сравнению с контролем является значительным и достоверным во всех группах. Причем, после пастеризации молока показатель СКВА имеет небольшой предел колебания (при сравнении всех шести групп) и составляет всего 9,6% между наименьшими и наибольши-

ми значениями СКВА по всем исследуемым группам. Тогда как в образцах молока до пастеризации этот исходный показатель проявляет вариабельность до 81,2%. Таким образом, высокотемпературная пастеризация молока приводит не только к возрастанию показателей СКВА (вне зависимости от исходных показателей СКВА молока), но и стабилизирует эти значения, что важно для практического использования этого подхода наряду со всеми другими факторами (качество, увеличение срока годности молока и т.п.). При распределении проб молока по принципу продуктивности выявлена тенденция к большему количеству жира и белка в группе с меньшим удоем (11-23 л), что сопоставимо к классической биохимической картиной молока многих пород коров. При этом СКВА молока у коров с высоким удоем (24-37 л) в среднем больше на 37%. При распределении проб молока по принципу жирности выявлена тенденция к большему количеству удоя при меньшем количестве жира (2,6-4%) и белка, при этом СКВА молока коров с низкой жирностью в среднем больше на 17%, чем у группы с высокой (4,2-5,3%). При распределении проб молока по количеству белка выявлена тенденция к большему количеству удоя и жира при меньшем количестве белка (2,8-3,5%), при этом СКВА молока коров с меньшим содержанием белка в среднем больше на 45%, чем у группы с большим количеством белка (4,0-5,6 %). Полученные данные по увеличению значений СКВА хорошо совпадают с повышенными органолептическими свойствами молока и увеличением длительности хранения образцов. Таким образом, можно рекомендовать диапазон средних значений СКВА молока после пастеризации (от 22 до 26 мг/л) как «референсный» для практического использования.

RELATIONSHIPS BETWEEN ANTIOXIDANT ACTIVITY AND THE MAIJOR PARAMETERS OF HOLSTEIN COW MILK DURING ITS PASTEURIZATION

Savina A.A. – Researcher of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000--0257-1643); **Zaitsev S. Yu. *** – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Voronina O.A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0002-6774-4288)

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst

* s.y.zaitsev@mail.ru

Financing: *The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment (EGISU registration number of the research topic FGGN-2024-0016).*

ABSTRACT

Milk is a very important food product for humans and young animals of some farm animals. The aim of the work is to comparatively study such an integral indicator as the total amount of water-soluble antioxidants (TAWSA) before and after pasteurization of milk of Holstein cows with the analysis of details of these changes and comparison with the biochemical profile. The pasteurization studies were carried out according to industrial technological regulations (at 72°C for 15 seconds) with milk samples of cows of the Ladozhskoye breeding farm. Each of the 6 formed groups included 22 heads of cows, which is enough for statistical analysis. A significant increase in TAWSA values was found in pasteurized milk samples to the maximum values of 24.3 mg/l in group 1 (avg. milk yield 16.6 l) and 25.4 mg/l in group 2 (avg. milk yield 30.2 l); up to 25.9 mg/l in group 3 (MDF 3.50%) and 24.0 mg/l in group 4 (MDF 4.62%); up to 26.0 mg/l in group 5 (MDPt and MDPg 3.09% and 3.24%) and 23.7 mg/l in group 6 (MDPt and MDPg 4.31% and 4.34%) compared to the control before pasteurization. These significant differences are associated (both in our

opinion and according to literature data) with a certain degree of protein denaturation and oxidation of milk lipids, which makes a number of functional groups of these milk components more accessible to oxidation-reduction processes recorded by the amperometric method as TAWSA. The range of average SCWA values of milk after pasteurization (from 22 to 26 mg/l) can serve as a "reference" interval for practical use. Thus, the analysis of TAWSA changes during pasteurization of cow's milk indicates that the antioxidant activity of milk increases significantly after pasteurization. This is a positive trend for practice in terms of high milk quality after its traditional processing.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев С.Ю., Воронина О.А., Колесник Н.С., Сивкина О.Н., Сермягин А.А., Осадчая О.Ю. Биохимические и физико-химические методы исследования молока коров. Монография. — Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2024. - 396 с.
2. Зайцев, С.Ю. Биологическая химия: от биологически активных веществ до органов и тканей животных: монография. / С.Ю. Зайцев – Москва: ЗАО «Капитал Принт», 2017. – 517 с.
3. Богатова О. В., Догарева Н. Г. Химия и физика молока // Оренбург: ГОУ ОГУ. 2004. – 137 с.
4. Харитонов Е.Л. Физиология и биохимия питания молочного скота / Е. Харитонов // Боровск: Оптима Пресс. – 2011. – 372 с.
5. Зайцев, С.Ю. Антиоксидантная активность молока: методич. пособие / С.Ю. Зайцев. – Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2022. – 56 с.
6. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов / К.К. Горбатова, П.И. Гунькова. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Гиорд, 2010. – 330 с.
7. Твердохлеб, Г.В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г.В. Твердохлеб, Р.И. Раманаскас. – М.: ДеЛипринт, 2006. – 260 с.
8. Stobiecka, M. Antioxidant activity of milk and dairy products/ M. Stobiecka, J. Król, A. Brodziak // Animals. – 2022. – V. 12. – №. 3. – P. 245.
9. Malaka, R. Evaluation of the potential of matoa (Pometia pinnata) leaf extract as an antioxidant activity in pasteurized milk / Malaka R. et al. // Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal. – 2023. – P. 100-118.
10. Zhou, X. Evaluating the total antioxidant capacity of processed milk: utilising applicable antioxidant assays and key antioxidant components / Zhou X. et al. // International Journal of Food Science & Technology. – 2024. – V. 59. – №. 3. – P. 1351-1362.
11. Савина А.А. Активность каталазы в молоке и ее корреляции с молочной продуктивностью коров в зависимости от срока лактации / Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. // Аграрная наука. – 2024. – Т. 1. – №. 8. – С. 118-123. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-118-123
12. Савина, А.А. Изменение количества водорастворимых антиоксидантов в молоке коров утренней и вечерней дойки / Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. - 2024. - №9, - С. 116-122. https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202409012 .
13. Voronina, O.A. Seasonal changes in the antioxidant activity and biochemical parameters of goat milk / Voronina O.A., Zaitsev S.Y., Savina A.A., Rykov R.A., Kolesnik N.S. // Animals. – 2023. – Т. 13. – №. 10. – С. 1706. https://doi.org/10.3390/ani13101706
14. Zaitsev, S.Yu. Comparative Study of the Water-Soluble Antioxidants in Fodder Additives and Sheep Blood Serum by Amperometric and Biochemical Methods / Zaitsev S.Yu., Savina A.A., Volnin A.A., Voronina O.A., Bogolyubova N.V. // Animals, 2020, v.10, N.7, 1186. https://doi.org/10.3390/ani10071186
15. Молоко: состояние и проблемы производства / В.И. Трухачев и др. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. - 300 с.
16. Deeth, H.C. Heat-induced inactivation of enzymes in milk and dairy products. A review / Deeth H.C. // International Dairy

Journal. – 2021. – V. 121. – P. 105104.
17. Van den Oever S.P. Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products / van den Oever S.P., Mayer H.K. // International Dairy Journal. – 2021. – V. 121. – P. 105097.
18. Донская Г. А., Дрожжин В. М. Влияние теплового воздействия на антиокислительные свойства молока //Сыроделие и маслоделие. – 2021. – №. 4. – С. 53-54.
19. Балакирева, Ю.В. Изменение антиоксидантной активности молока при пастеризации. / Балакирева, Ю.В., Ахмадуллина, Ф.Ю., Лапин, А.А., Каримова Ф.Г. // Молочная промышленность. – 2010. – №. 9. – С. 74-74.
20. Балакирева, Ю.В. Изучение антиоксидантной ёмкости коровьего и козьего молока. / Балакирева, Ю.В., Ахмадуллина, Ф.Ю., Лапин, А.А. // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – №. 1. – С. 56-59.

REFERENCES

1. Zaitsev S.Yu., Voronina O.A., Kolesnik N.S., Sivkina O.N., Sermyagin A.A., Osadchaya O.Yu. Biochemical and physicochemical methods for studying cow's milk. Monograph. - Dubrovitsy: FGBNU FRC VIZh named after L.K. Ernst, 2024. - 396 p.
2. Zaitsev, S.Yu. Biological chemistry: from biologically active substances to animal organs and tissues: monograph. / S.Yu. Zaitsev - Moscow: ZAO "Capital Print", 2017. - 517 p.
3. Bogatova O.V., Dogareva N.G. Chemistry and physics of milk // Orenburg: State Educational Institution OSU. 2004. - 137 p.
4. Kharitonov E.L. Physiology and biochemistry of dairy cattle nutrition / E. Kharitonov // Borovsk: Optima Press. - 2011. - 372 p.
5. Zaitsev, S.Yu. Antioxidant activity of milk: methodological manual / S.Yu. Zaitsev. - Dubrovitsy: FGBNU FNTs VIZh im. L.K. Ernst. 2022. - 56 p.
6. Gorbatova, K.K. Biochemistry of milk and dairy products / K.K. Gorbatova, P.I. Gunkova. 4th ed., revised. and additional - St. Petersburg: Giord, 2010. - 330 p.
7. Tverdokhleb, G.V. Chemistry and physics of milk and dairy products / G.V. Tverdokhleb, R.I. Ramanaskas. – M.: DeLiprint, 2006. – 260 p.
8. Stobiecka, M. Antioxidant activity of milk and dairy products/ M. Stobiecka, J. Król, A. Brodziak // Animals. – 2022. – V. 12. – No. 3. – P. 245.
9. Malaka, R. Evaluation of the potential of matoa (Pometia pinnata) leaf extract as an antioxidant activity in pasteurized milk / Malaka R. et al. // Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal. – 2023. – P. 100-118.
10. Zhou, X. Evaluating the total antioxidant capacity of processed milk: utilizing applicable antioxidant assays and key antioxidant components / Zhou X. et al. // International Journal of Food Science & Technology. – 2024. – V. 59. – No. 3. – P. 1351-1362.
11. Savina A.A. Catalase activity in milk and its correlation with milk productivity of cows depending on the lactation period / Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. // Agrarian science. – 2024. – V. 1. – No. 8. – P. 118 -123. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-118-123
12. Savina, A.A. Changes in the amount of water-soluble antioxidants in the milk of cows milked in the morning and evening / Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. // Veterinary science, zootechnics and biotechnology. - 2024. - No. 9, - P. 116-122. https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202409012 .
13. Voronina, O.A. Seasonal changes in the antioxidant activity and biochemical parameters of goat milk / Voronina O.A., Zaitsev S.Y., Savina A.A., Rykov R.A., Kolesnik N.S. // Animals. - 2023. - T. 13. - No. 10. - P. 1706. https://doi.org/10.3390/ani13101706
14. Zaitsev, S.Yu. Comparative Study of the Water-Soluble Antioxidants in Fodder Additives and Sheep Blood Serum by Amperometric and Biochemical Methods / Zaitsev S.Yu., Savina A.A., Volnin A.A., Voronina O.A., Bogolyubova N.V. // Animals, 2020, v.10, N.7, 1186. https://doi.org/10.3390/ani10071186
15. Milk: state and production issues / V.I. Trukhachev et al. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2018. - 300 p.
16. Deeth, H.C. Heat-induced inactivation of

enzymes in milk and dairy products. A review / Deeth H.C. // International Dairy Journal. – 2021. – V. 121. – P. 105104.

17. Van den Oever S.P. Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products / van den Oever S.P., Mayer H.K. // International Dairy Journal. – 2021. – V. 121. – P. 105097.

18. Donskaya G. A., Drozhzhin V. M. Influence of heat exposure on the antioxidant properties of milk // Cheese and butter making. – 2021. – No. 4. – P. 53-54.

19. Balakireva, Yu.V. Changes in the antioxidant activity of milk during pasteurization. / Balakireva, Yu.V., Akhmadullina, F.Yu., Lapin, A.A., Karimova F.G. // Dairy industry. – 2010. – No. 9. – P. 74-74.

20. Balakireva, Yu.V. Study of antioxidant capacity of cow and goat milk. / Balakireva, Yu.V., Akhmadullina, F.Yu., Lapin, A.A. // Bulletin of Kazan Technological University. – 2009. – No. 1. – P. 56-59.

УДК: 637.56.054:547.441:639.3.043.2
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.411

СОДЕРЖАНИЯ МАЛОНОВОГО ДИАЛЬДЕГИДА В ТКАНЯХ ЗОЛОТИСТОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORCHYNCHUS MYKISS*) ПРИ ОБОГАЩЕНИИ КОРМОВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ ХЕЛАТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Полистовская П.А. – канд. биол. наук., доц. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0003-1977-0913); **Карпенко Л.Ю.** – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-2781-5993); **Махнин И.А.**[*] – аспирант 2-го года обучения, асс. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-7484-3591)

ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины"

ilya.makh@mail.ru

Ключевые слова: *хелатные комплексы, форель, малоновый альдегид, каталаза, антиоксидантная система*

Keywords: *chelate complexes,trout,malonic aldehyde,catalase,antioxidant system*

Благодарность: *Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда 23-76-01042*, https://rscf.ru/project/23-76-01042/

Поступила: 02.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Активность антиоксидантных ферментов зависит от ряда переменных в т.ч. содержания нутриентов в рационе. Для нормализации минеральной компоненты рационов предлагается применять различные металлсодержащие препараты в т.ч хелатные (внутрикомплексные) соединения. Рядом исследований продемонстрировано, что хелатные соединения обладают большей биодоступностью в сравнении с неорганическими источниками микроэлементов. Целью исследования явилось изучение влияния хелатного комплекса на процессы свободнорадикального окисления в организме форели, путем определения активности каталазы и содержания малонового альдегида. Исследовали органоминеральный хелатный комплекса (ООО "Юпитер", Россия). Действующая основа минеральной добавки: комплекс этилендиаминдиянтарной кислоты и лизина с микроэлементами (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Se, I). Рыбам опытных групп (n=10) в течение 30-ти дней задавали добавку, данные сравнивали с контролем (n=10). Хелатный комплекс задавали вместе с кормом один раз в день, в концентрации 0,5 г/кг (считая от массы корма). Определяли активность каталазы и концентрацию малонового альдегида в печени и мышцах. Применение органоминеральных хелатных комплексов приводило к снижению содержания малонового диальдегида в печени и скелетных мышцах. Снижение продуктов перекисного окисления липидов сопровождалось значимым увеличением активности каталазы. Проведенные исследования позволяют предположить, что металлы в составе хелатных комплексов приводят к уве-

личению активности антиоксидантных ферментов, в результате чего происходит снижение продуктов перекисного окисления липидов. Таким образом полученные результаты служат косвенным подтверждением эффективности применения органоминеральных хелатных комплексов в индустриальной аквакультуре.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Аквакультура является одним из приоритетных направлений развития животноводства, обеспечивающих продовольственную безопасность страны [1].

Интенсификации индустриальной аквакультуры сопровождается увеличением числа технологических стрессоров, таких как высокая плотность посадки, гипоксия и недоедание [2]. Суммация данных факторов может приводить к увеличению генерации активных форм кислорода и развитию некомпенсированного окислительного (оксидативного) стресса [3]. Показано, что окислительный стресс приводит к повреждению белков и нуклеиновых кислот, деградации фосфолипидов мембран, образованию межмолекулярных комплексов [4]. Противодействует окислительному стрессу система антиоксидантной защиты. Данная система включает в себя антиоксидантные ферменты, такие как супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза, глутатион-S-трансфераза, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа и глутатионредуктаза, а также антиоксиданты неферментативной природы, такие как восстановленный глутатион, витамин Е, витамин С, мелатонин и флавоноиды [5].

Активность антиоксидантных ферментов зависит от ряда переменных в т.ч. содержания нутриентов в рационе [3,6]. Показано, что недостаток селена, цинка, марганца или меди являются факторами, способствующими развитию окислительного стресса [7]. Для коррекции минеральной компоненты рационов предлагается применять различные металлсодержащие препараты в т.ч хелатные (внутрикомплексные) соединения. Рядом исследований продемонстрировано, что хелатные соединения обладают большей биодоступностью в сравнении с неорганическими источниками микроэлементов [8-10]. Весьма немногочисленны исследования, посвященные изучению эффектов хелатных комплексов, выполненные на рыбах.

Целью исследования явилось изучение влияния хелатного комплекса на процессы свободнорадикального окисления в организме форели, путем определения активности каталазы и содержания малонового альдегида.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводили в соответствии с международным этическим стандартом, изложенным в Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в других научных целях (Страсбург, 18.03.1986).

Работа выполнена на базе кафедры биохимии и физиологии ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины”.

Эксперимент проводили в течение месяца. Объектом исследования служили сеголетки (0+) радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), содержащиеся в рыбном хозяйстве на территории Ленинградской области. Методом пар-аналогов были сформированы опытная (n=10) и контрольная (n=10) группы. Длина тела (от рострума до кончика хвоста) и масса представлены в таблице 1.

Исследовали органоминеральный хелатный комплекса (ООО “Юпитер”, Россия). Действующая основа минеральной добавки: комплекс этилендиаминдиянтарной кислоты и лизина с микроэлементами (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Se, I). Микроэлементный состав хелатного комплекса представлен в таблице 2.

Рыбам опытных групп (n=10) в течение 30-ти дней задавали добавку, данные сравнивали с контролем (n=10). Хелатный комплекс задавали вместе с кормом один раз в день, в концентрации 0,5 г/кг (считая от массы корма). Рыб эвтаназировали раствором трикаина (МС-222) в концентрации 170 мг/л. Контрольный метод

эвтаназии - обезглавливание.

Проводили терминальный отбор крови из сердца с помощью инъекционных одноразовых шприцов 2 мл с иглой 23G (SFM, Германия). Предварительно шприц промывали раствором гепарина 5000 МЕ/ мл (Московский эндокринный завод, Россия). После отбора кровь переносили в пробирки вакуумные с активатором свертывания и гелем 2 мл (АО Елатомский приборный завод, Россия). Сыворотку крови получали путем центрифугирования в течение 15 минут при 3000 об/ мин на центрифуге Heraeus Megafuge 40/40R (ThermoFisher Scientific, США).

Получали образцы печени и мышечной ткани (в области спинных мышц). Ткани отмывали физиологическим раствором, после чего замораживали (-18^{o}C). Непосредственно перед исследованием образцы печени и мышц взвешивали, измельчали и гомогенизировали, добавляя при этом 0,1 М фосфатный буфер (pH 7,4), охлажденный до 0 °С, в соотношении «ткань-буфер» 1:6.

Определение активности каталазы проводили методом перманганатометрии по А.Н. Баху, С.З. Зубкову [11].

Определение концентрации малонового диальдегида проводили колориметрическим колориметрическим методом с тиобарбитуровой кислотой [12].

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе GraphPad Prism 8 (GraphPad Software, Inc.). Сравнения двух независимых групп проводилось с помощью критерия Стьюдента. Данные с нормальным распределением представлены как среднее ± стандартная ошибка среднего –Mean. Различия между группами считали достоверными при $p<0.05$.

Таблица 1 — Размерно-весовые показатели рыб

Длина тела, см	16,4±2,4
Масса, г	50,4±5,7

Таблица 2 — Микроэлементный состав исследуемого органоминерального хелатного комплекса

Микроэлемент	**Содержание г/кг**
Железо	33,1
марганец	6,7
медь	3,4
цинк	18,6
кобальт	0,76
селен	0,43
йод	1,01
Общее количество (сумма) элементов	64

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Оксидативный стресс в индустриальном рыбоводстве возникает из-за ряда технологических особенностей, например, перепадов уровня кислорода (гипоксия), регулярных сортировок (в т.ч. бонитировка), высокой плотности посадки. Хелатные комплексы могут оказывать влияние на активность антиоксидантной системы, поскольку металлы (в т.ч. входящие в состав комплекса) являются кофакторами антиоксидантных ферментов (например, каталазы).

Применение органоминеральных хелатных комплексов приводило к снижению содержания малонового диальдегида в печени и скелетных мышцах (см. рис.1,2). Снижение продуктов перекисного окисления липидов сопровождалось значимым увеличением активности каталазы (см.рис.3). Полученные данные согласуются с рядом аналогичных исследо-

ваний. Например, было показано снижение малонового альдегида у белого амура получавшего корм с добавлением селена [13]. Кроме того, применение дрожжевого селена привело к достоверному увеличению активности каталазы и глутатионпероксидазы [14]. Железо также участвует в модуляции антиоксидантной защиты. Исследования, проведенные на индийских карпах, показали, что применение наночастиц железа приводит к увеличению активности супероксиддисмутазы и каталазы и снижению концентрации малонового альдегида [15]. Цинк предотвращает перекисное окисление липидов и, таким образом, играет важную роль в защите клеток от окислительного стресса. В ранее проведенном исследование, обогащение корма пангасиусов цинком, приводило к снижению окислительного стресса, что объясняется повышением активности Zn-зависимой супероксиддисмутазы [16]. Медь является структурным компонентом металлоэнзимов в т.ч. Cu-зависимой супероксиддисмутазы. Применение меди в составе кормов для белого амура приводило к снижению концентрации малонового альдегида, увеличивая при этом активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы, глутатион-S-трансферазы и содержания глутатиона в гепатопанкреасе и кишечнике [17]. Марганец эссенсален для функционирования антиоксидантной защиты и активации различных ферментов [18]. Однако в высоких дозах марганец является гепато- и нейротоксичным [19]. Марганец может накапливаться в митохондриях гепатоцитов, нарушать окислительное фосфорилирование и увеличивать количество активных форм кислорода [20].

Проведенные исследования позволяют предположить, что металлы в составе хелатных комплексов приводят к увеличению активности антиоксидантных ферментов, в результате чего происходит снижение продуктов перекисного окисления липидов. Таким образом полученные результаты служат косвенным подтверждением эффективности применения органоминеральных хелатных комплексов в индустриальной аквакультуре.

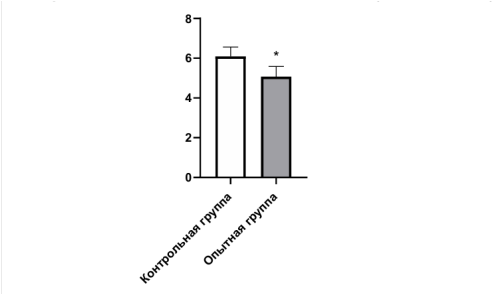


Рисунок 1 — Содержание малонового альдегида в мышцах (нмоль/ г ткань).

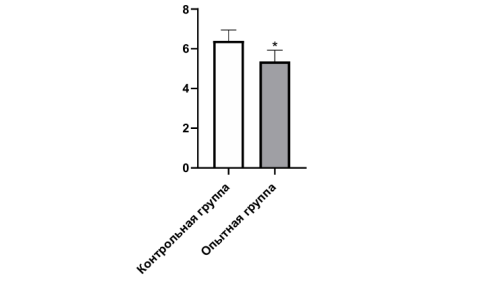


Рисунок 2 — Содержание малонового альдегида в печени (нмоль/ г ткани).

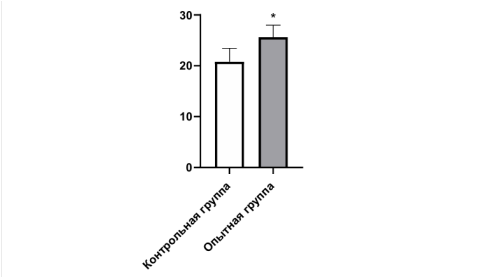


Рисунок 3 — Активность каталазы сыворотки крови (мкмоль/ мг белка за мин).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведено изучение влияния хелатного комплексов на процессы свободнорадикального окисления в организме форели, путем определения активности каталазы и содержания малонового альдегида. Показано, что применение хелатного комплекса приводит к модуляции актив-

ности антиоксидантной системы. Динамика активности каталазы и концентрации малонового альдегида может быть обусловлена тем, что металлы выступают в качестве коферментов металлоэнзимов.

CONTENT OF MALONIC DIALDEHYDE IN THE TISSUES OF GOLDEN TROUT (ONCORCHYNCHUS MYKISS) WHEN FEED IS ENRICHED WITH ORGANOMINERAL CHELATE COMPLEXES

Polistovskaya P.A. – PhD., associate Professor of the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID 0000-0003-1977-0913); **Karpenko L.Yu.** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department. Biochemistry and physiology (ORCID 0000-0002-2781-5993); **Makhnin I.A.*** - post-graduate student of the 2st year of study, assistant of the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID 0000-0002-7484-3591)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

* ilya.makh@mail.ru

Financing:*The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation 23-76-01042, https://rscf.ru/project/23-76-01042/*

ABSTRACT

The activity of antioxidant enzymes depends on a number of variables, including the content of nutrients in the diet. To normalize the mineral component of diets, it is proposed to use various metal-containing preparations, including chelated (intracomplex) compounds. A number of studies have demonstrated that chelated compounds have greater bioavailability compared to inorganic sources of trace elements. The aim of the study was to study the effect of the chelate complex on the processes of free radical oxidation in trout by determining the activity of catalase and the content of malonic aldehyde. An organomineral chelate complex (Jupiter LLC, Russia) was investigated. The active base of the mineral supplement is a complex of ethylenediaminediantharic acid and lysine with trace elements (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Se, I). Fish of the experimental groups (n=10) were given the supplement for 30 days; the data were compared with the control (n=10). The chelate complex was administered together with the feed once a day, at a concentration of 0.5 g/kg (counting from the weight of the feed). The activity of catalase and the concentration of malonic aldehyde in the liver and muscles were determined. The use of organomineral chelate complexes led to a decrease in the content of malondialdehyde in the liver and skeletal muscles. A decrease in lipid peroxidation products was accompanied by a significant increase in catalase activity. The conducted studies suggest that metals in the composition of chelate complexes lead to an increase in the activity of antioxidant enzymes, resulting in a decrease in lipid peroxidation products. Thus, the results obtained serve as an indirect confirmation of the effectiveness of the use of organomineral chelate complexes in industrial aquaculture.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Марченко Ирина Сергеевна Развитие аквакультуры как фактор обеспечения продовольственной безопасности // Евразийский Союз Ученых. 2015. №11-4 (20).

2.Martos-Sitcha, Juan Antonio et al. “Editorial: Welfare and Stressors in Fish: Challenges Facing Aquaculture.” Frontiers in physiology vol. 11 162. 25 Feb. 2020, doi:10.3389/fphys.2020.00162

3.Zengin, H. The effects of feeding and starvation on antioxidant defence, fatty acid composition and lipid peroxidation in reared Oncorhynchus mykiss fry. Sci Rep 11, 16716 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-96204-y

4.Карбышев, М. С. Биохимия оксидативного стресса: Учебно-методическое пособие / М. С. Карбышев, Ш. П. Абдуллаев; под общ. ред. А. В. Шеспопалова. - Москва: Издательство XX, 2018. - 60с.

5.Tunçelli G, Ertik O, Bayrak BB, Memiş D, Yanardag R. Effects of swimming activity and feed restriction on antioxidant and digestive enzymes in juvenile rainbow trout: Im-

plications for nutritional and exercise strategies in aquaculture. Vet Med Sci. 2024 May;10(3):e1466. doi: 10.1002/vms3.1466.
6.Лудан В. В., Польская Л. В. Роль антиоксидантов в жизнедеятельности организма // ТМБВ. 2019. №3.).
7.Ивахненко, В. И. Исследование активности металло-зависимых ферментов антиоксидантной защиты и показателей перекисного окисления липидов у крыс при действии алиментарных факторов: специальность 03.00.04 «Биохимия»: Автореферат на соискание кандидата биолологических наук / Ивахненко, В. И.; ГУ НИИ питания РАМН. — Москва, 2008. — 23 с.
8.Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Hafizi, M. et al. Effect of advanced chelate technology-based trace minerals on growth performance, mineral digestibility, tibia characteristics, and antioxidant status in broiler chickens. Nutr Metab (Lond) 17, 94 (2020). https://doi.org/10.1186/s12986-020-00520-5
9.Каркищенко Н. Н., Каркищенко В. Н., Люблинский С. Л., Капанадзе Г. Д., Шустов Е. Б., Ревякин А. О., Болотских Л. А., Касинская Н. В., Станкова Н. В. Роль микроэлементов в спортивном питании и безопасность металлохелатов // Биомедицина. 2013. №2.
10.Кощаев А.Г., Горковенко Н.Е., Косых А.В., Антипова Д.В. Хелатные соединения и их использование для коррекции микроэлементозов сельскохозяйственных животных (обзор литературы). Ветеринария сегодня. 2024;13(2):136-142.
11.Лившиц, В. М. Биохимические анализы в кли нике: справочник [Текст] / В. М. Лившиц, В. И. Си дельникова. – М.: Медицинское информационное агентство, 1998. – С. 303 (20).
12.Богачева Е. В., Алабовский В. В., Перов С. Ю. Определение концентрации малонового диальдегида в сыворотке крыс, облученных электромагнитным полем метрового диапазона // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. №1.
13.Yu, H., Zhang, C., Zhang, X., Wang, C., Li, P., Liu, G., et al. (2020). Dietary nanoselenium enhances antioxidant capacity and hypoxia tolerance of grass carp Ctenopharyngodon idella fed with high-fat diet. Aquac. Nutr. 26, 545–557. doi:10.1111/anu.13016
14.Liu, G. X., Jiang, G. Z., Lu, K. L., Li, X. F., Zhou, M., Zhang, D. D., et al. (2017). Effects of dietary selenium on the growth, selenium status, antioxidant activities, muscle composition and meat quality of blunt snout bream, Megalobrama amblycephala. Aquac. Nutr. 23, 777–787. doi:10.1111/anu.12444
15.Behera, T., Swain, P., Rangacharulu, P.V. et al. Nano-Fe as feed additive improves the hematological and immunological parameters of fish, Labeo rohita H.. Appl Nanosci 4, 687–694 (2014). https://doi.org/10.1007/s13204-013-0251-8
16.Kumar, N., Krishnani, K.K. & Singh, N.P. Effect of Dietary Zinc-Nanoparticles on Growth Performance, Anti-Oxidative and Immunological Status of Fish Reared Under Multiple Stressors. Biol Trace Elem Res 186, 267–278 (2018). https://doi.org/10.1007/s12011-018-1285-2
17.Tang, Q.Q., Feng, L., Jiang, W.D. et al. Effects of Dietary Copper on Growth, Digestive, and Brush Border Enzyme Activities and Antioxidant Defense of Hepatopancreas and Intestine for Young Grass Carp (Ctenopharyngodon idella). Biol Trace Elem Res 155, 370–380 (2013). https://doi.org/10.1007/s12011-013-9785-6
18.Hernroth B., Baden S. P., Holm K., André T., Söderhäll I. (2004). Manganese induced immune suppression of the lobster, nephrops norvegicus. Aquat. Toxicol. 70:3, 223–231. doi: 10.1016/j.aquatox.2004.09.004
19.Abarghoei S., Hedayati A., Ghorbani R., Miandareh H. K., Bagheri T. (2016). Histopathological effects of waterborne silver nanoparticles and silver salt on the gills and liver of goldfish carassius auratus. Int. J. Environ. Sci. Technol. 13 (7), 1753–1760. doi: 10.1007/s13762-016-0972-9
20.Liu X. F., Zhang L. M., Guan H. N., Zhang Z. W., Xu S. W. (2013). “Effects of oxidative stress on apoptosis in manganese-induced testicular toxicity in cocks.” Food & Chemical Toxicology 60. Complete (2013), 168–176. doi: 10.1016/j.fct.2013.07.058

REFERENCES

1. Irina Sergeevna Marchenko Development of aquaculture as a factor of ensuring food security // The Eurasian Union of Scientists. 2015. №11-4 (20).
2.Martos-Sitcha, Juan Antonio et al. "Editorial: Welfare and Stressors in Fish: Challenges Facing Aquaculture." Frontiers in physiology vol. 11 162. 25 Feb. 2020, doi:10.3389/fphys.2020.00162
3.Zengin, H. The effects of feeding and starvation on antioxidant defence, fatty acid composition and lipid peroxidation in reared Oncorhynchus mykiss fry. Sci Rep 11, 16716 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-96204-y
4. Karbyshev, M. S. Biochemistry of oxidative stress: an educational and methodical manual / M. S. Karbyshev, Sh. P. Abdullaev; under the general editorship of A.V. Shespopalov. - Moscow: Publishing House XX, 2018. - 60s.
5.Tunçelli G, Ertik O, Bayrak BB, Memiş D, Yanardag R. Effects of swimming activity and feed restriction on antioxidant and digestive enzymes in juvenile rainbow trout: Implications for nutritional and exercise strategies in aquaculture. Vet Med Sci. 2024 May;10(3):e1466. doi: 10.1002/vms3.1466.
6. Ludan V. V., Polskaya L. V. The role of antioxidants in the vital activity of the body. 2019. №3.).
7. Ivakhnenko, V. I. Investigation of the activity of metal-dependent enzymes of antioxidant protection and indicators of lipid peroxidation in rats under the action of nutritional factors: specialty 03.00.04 "Biochemistry" : Abstract for candidate of Biological Sciences / Ivakhnenko, V. I.; State Research Institute of Nutrition of the Russian Academy of Medical Sciences. — Moscow, 2008. — 23 p.
8.Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Hafizi, M. et al. Effect of advanced chelate technology-based trace minerals on growth performance, mineral digestibility, tibia characteristics, and antioxidant status in broiler chickens. Nutr Metab (Lond) 17, 94 (2020). https://doi.org/10.1186/s12986-020-00520-5
9. Karkishchenko N. N., Karkishchenko V. N., Lyublinsky S. L., Kapanadze G. D., Shustov E. B., Revyakin A. O., Bolotskikh L. A., Kasinskaya N. V., Stankova N. V. The role of trace elements in sports nutrition and the safety of metallochelates // Biomedicine. 2013. №2.
10. Koshchaev A.G., Gorkovenko N.E., Kosykh A.V., Antipova D.V. Chelated compounds and their use for the correction of microelementosis in farm animals (literature review). Veterinary medicine today. 2024;13 (2):136-142.
11. Livshits, V. M. Biochemical analyses in the clinic: a handbook [Text] / V. M. Livshits, V. I. Sinelnikova. – M. : Medical Information Agency, 1998. – p. 303 (20).
12. Bogacheva E. V., Alabovsky V. V., Perov S. Yu. Determination of the concentration of malonic dialdehyde in the serum of rats irradiated with an electromagnetic field of the meter range // Izv. Sarath. University of Nov. ser. Ser. Chemistry. Biology. Ecology. 2016. No. 1.).
13.Yu, H., Zhang, C., Zhang, X., Wang, C., Li, P., Liu, G., et al. (2020). Dietary nanoselenium enhances antioxidant capacity and hypoxia tolerance of grass carp Ctenopharyngodon idella fed with high-fat diet. Aquac. Nutr. 26, 545–557. doi:10.1111/anu.13016
14.Liu, G. X., Jiang, G. Z., Lu, K. L., Li, X. F., Zhou, M., Zhang, D. D., et al. (2017). Effects of dietary selenium on the growth, selenium status, antioxidant activities, muscle composition and meat quality of blunt snout bream, Megalobrama amblycephala. Aquac. Nutr. 23, 777–787. doi:10.1111/anu.12444
15.Behera, T., Swain, P., Rangacharulu, P.V. et al. Nano-Fe as feed additive improves the hematological and immunological parameters of fish, Labeo rohita H. Appl Nanosci 4, 687 –694 (2014). https://doi.org/10.1007/s13204-013-0251-8
16.Kumar, N., Krishnani, K.K. & Singh, N.P. Effect of Dietary Zinc-Nanoparticles on Growth Performance, Anti-Oxidative and Immunological Status of Fish Reared Under Multiple Stressors. Biol Trace Elem Res 186, 267–278 (2018). https://doi.org/10.1007/s12011-018-1285-2
17.Tang, Q.Q., Feng, L., Jiang, W.D. et al.

Effects of Dietary Copper on Growth, Digestive, and Brush Border Enzyme Activities and Antioxidant Defense of Hepatopancreas and Intestine for Young Grass Carp (Ctenopharyngodon idella). Biol Trace Elem Res 155, 370–380 (2013). https://doi.org/10.1007/s12011-013-9785-6

18.Hernroth B., Baden S. P., Holm K., André T., Söderhäll I. (2004). Manganese induced immune suppression of the lobster, nephrops norvegicus. Aquat. Toxicol. 70:3, 223–231. doi: 10.1016/j.aquatox.2004.09.004

19.Abarghoei S., Hedayati A., Ghorbani R., Miandareh H. K., Bagheri T. (2016). Histopathological effects of waterborne silver nanoparticles and silver salt on the gills and liver of goldfish carassius auratus. Int. J. Environ. Sci. Technol. 13 (7), 1753–1760. doi: 10.1007/s13762-016-0972-9

20.Liu X. F., Zhang L. M., Guan H. N., Zhang Z. W., Xu S. W. (2013). "Effects of oxidative stress on apoptosis in manganese-induced testicular toxicity in cocks." Food & Chemical Toxicology 60. Complete (2013), 168–176. doi: 10.1016/j.fct.2013.07.058

УДК: 619:636.2
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.419

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ИНФУЗОРИЙ РУБЦА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОБИОТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСАДКИ

Слепцов Е.С. [1] – д-р ветеринар. наук, гл. науч. сотр. лаб. оленеводства и традиционных отраслей; **Алферов И.В.** [1] – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории селекции и разведения лошадей; **Корякина Л.П.** [2] – канд. ветеринар. наук, доц., зав. каф. физиологии с.-х. животных и экологии; **Саввинова М.С.** [2] – д-р ветеринар. наук, проф. каф. ветеринарно-санитарной экспертизы и гигиены; **Румянцева Т.Д.** [2] – вед. специалист научно-исследовательской части

[1] ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова»
[2] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образование «Арктический государственный агротехнологический университет»

*evgeniycemenovic@mail.ru

Ключевые слова: *Эндобионтные инфузории, рубец крупного рогатого скота, видовое разнообразие, морфометрические характеристики, пробиотическая пересадка, якутская аборигенная порода, симментальская порода, помесный скот, пищеварение, микрофлора рубца.*

Key words: *Endobiotic ciliates, cattle rumen, species diversity, morphometric characteristics, probiotic transplantation, Yakutian aboriginal breed, Simmental breed, crossbred cattle, digestion, rumen microbiota.*

Поступила: 02.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В настоящем исследовании проведен сравнительный анализ видового состава, морфометрических характеристик и численности эндобионтных инфузорий рубца у крупного рогатого скота трех пород: якутской аборигенной, симментальской и помесной. Пробы рубца собирались через пищеводный зонд, фиксировались 4% или 10% раствором формалина и анализировались в течение 6 часов. Численность инфузорий варьировала от 535 до 26 500 особей/мл в зависимости от сезона и типа кормления (грубый корм у якутского скота, комбинированный рацион у симментальского и помесного). Бактерии достигали концентрации от 100 млн до 10 млрд/мл. Наибольшее видовое разнообразие (36 видов, 12 родов) выявлено у якутского скота, включая 13 специфичных видов, таких как редкий *Charonina ventriculi* и ранее не описанный *Metadinium* sp., что связано с адаптацией к грубым кормам и системой содержания «корова-телёнок». У симментальской породы отмечено 2 специфичных вида, у помесного — специфичные виды отсутствовали. Морфометрический анализ показал значимые различия в размерах клеток ($p<0,001$): *Metadinium medium* — самая крупная инфузория (длина до 224,2 мкм), *Entodinium exiguum* — самая мелкая (28,3–36,4 мкм). Сравнение фаун с использованием коэффициента Жаккара-Малышева

(Kj–m = 0,67) и индекса Чекановского-Сьеренсена (Ics = 40%) выявило наибольшие различия между якутским и симментальским скотом. Пересадка пробиотов (биомасса с концентрацией >5 000 инфузорий/мл) от здоровых доноров якутской породы трем телкам холмогорской породы подтвердила эффективность метода для нормализации пищеварения, восстановления микрофлоры после антибиотикотерапии, профилактики желудочно-кишечных расстройств, повышения переваримости корма и продуктивности животных. Метод показал снижение диарейных эпизодов и улучшение азотного баланса, что подчеркивает его потенциал в скотоводстве.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Микробиота и микрофауна рубца крупного рогатого скота играют ключевую роль в процессах пищеварения, обеспечивая ферментацию клетчатки, синтез летучих жирных кислот, белков и витаминов, необходимых для поддержания здоровья и продуктивности животных. Эндобионтные инфузории, составляющие значительную часть микрофауны рубца, обладают высокой ферментативной активностью, включая целлюлазную и амилолитическую, что способствует эффективному разложению кормовых субстратов и стабилизации среды преджелудков. Видовой состав, численность и морфологические характеристики инфузорий зависят от множества факторов, включая породу животных, тип кормления, сезонные изменения и условия содержания.

Особое внимание в данном исследовании уделено якутскому аборигенному скоту — уникальной породе, адаптированной к суровым условиям арктического климата. Предполагается, что особенности микробиоты рубца этой породы, сформировавшиеся в условиях ограниченного кормового ресурса и экстремальных температур, могут обеспечивать повышенную устойчивость и эффективность пищеварения. Сравнительный анализ с симментальской породой и помесным скотом позволяет выявить различия в составе и функциональной активности эндобионтной фауны, а также их связь с генетическими и экологическими факторами. Одним из перспективных подходов к оптимизации пищеварения и продуктивности КРС является пересадка пробиотов — содержимого рубца от здоровых животных, богатого симбионтными микроорганизмами. Этот метод направлен на восстановление микрофлоры, нарушенной антибиотикотерапией, стрессами или некачественным кормлением, и может быть особенно эффективен для молодняка и животных с желудочно-кишечными расстройствами.

Цель исследования — изучить видовое разнообразие, морфометрические характеристики и численность эндобионтных инфузорий рубца у трех пород КРС, а также оценить эффективность пересадки пробиотов для нормализации пищеварительных процессов, повышения переваримости корма и общей продуктивности животных. Исследование направлено на подтверждение гипотезы о влиянии системы содержания «корователёнок», характерной для якутского скота, на формирование уникальной микрофлоры и её функциональных преимуществ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования по изучению видового и количественного разнообразия эндобионтных инфузорий рубца крупного рогатого скота проводились в 2022–2025 годах на базе лаборатории воспроизводства и физиологии животных ФИЦ ЯНЦ СО РАН Якутский НИИСХ им. М. Г. Сафронова. Объектами исследования были крупный рогатый скот трех пород: якутская аборигенная (n=60, 30 коров и 30 телят), симментальская (n=71, 40 коров и 31 теленок) и помесный (n=65, 33 коровы и 32 теленка). Якутский скот содержался преимущественно на пастбищном режиме с грубым кормом (сено, травы), тогда как симментальский и помесный скот получали комбинированный рацион, включающий сено, силос и концентраты.

Пробы содержимого рубца отбирались утром через пищеводный зонд или с использованием фистул у специально

подготовленных животных (n=10 на группу). Образцы (50 мл на животное) собирались в стерильные контейнеры, охлаждались до 4°C и анализировались в течение 6 часов. Идентификация и определение видов проведена с использованием определителей и профильных работ Догеля, 1929 [1]; Корниловой, 2006, 2010 [3,4]; Dehority, 1993 [5] и др. Численность инфузорий определяли методом «калиброванной капли» по Корниловой О.А. (2004) [2].

Измерения длины, ширины и отношения длины к ширине проводились на микроскопе с окулярным и объект-микрометром для не менее 30 экземпляров каждого вида. Данные обрабатывались в ImageJ. Статистический анализ выполнялся в Microsoft Excel с использованием критерия хи-квадрат ($P<0,05$; $P<0,01$; $P<0,001$). Сравнение видового состава проводилось по коэффициенту Жаккара-Малышева (Kj–m) и индексу Чекановского-Сьеренсена (Ics).

Для оценки пригодности проб для пробиотической пересадки использовался критерий концентрации экологически значимых инфузорий (>5 000 экз./мл). Пробы отбирались от здоровых доноров (n=20 на группу) и анализировались на наличие ключевых видов (Entodinium spp., Dasytricha ruminantium, Isotricha prostoma и др.). Пересадка осуществлялась путем введения 100 мл пробиотической суспензии через пищеводный зонд молодняку и животным с признаками дисфункции рубца. Эффективность метода оценивалась качественно по показателям нормализации пищеварения, снижения диарейных эпизодов и улучшения переваримости корма (на основе анализа фекалий).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Численность микроорганизмов в рубце демонстрирует значительную вариабельность, зависящую от породы, типа кормления и сезона. Для инфузорий зарегистрированы диапазоны от 200 тыс. до 2 млн экз./мл, для бактерий — от 100 млн до 10 млрд экз./мл. Сезонная динамика численности инфузорий показала летний максимум до 26 500 ос. /мл и зимний минимум около 535 ос. /мл. Эти изменения коррелируют с качеством корма: летом преобладает зеленый корм с высоким содержанием легкоферментируемых углеводов, зимой — грубые корма с повышенным содержанием клетчатки. Разночтения в численности, такие как расхождения между общими диапазонами и сезонными значениями, могут быть обусловлены различиями в подвыборках животных (интенсивное vs. пастбищное кормление), методиках учета (по мл жидкости или грамму содержимого) или ошибками округления. Эти данные подчеркивают высокую зависимость микробиоты от экологических и физиологических факторов.

Биологические особенности инфузорий включают высокую скорость размножения — 4–5 генераций в сутки после поступления в рубец с кормом. Концентрация микроорганизмов в 1 г содержимого рубца достигает 1 млн особей различных видов. Размеры инфузорий варьируют от 20 до 200 мкм, а среднее время их пребывания в рубце составляет около 10 часов. Инфузории, особенно энтодиниоморфы (семейство Ophryoscolecidae) и голотрихии (род Holotricha), активно участвуют в ферментации крахмала и растворимых сахаров, обеспечивая стабильность среды рубца. Прикрепление к крупным кормовым частицам повышает их выживаемость, предотвращая вымывание в жидкой фазе. Например, представители рода Epidinium выделяют ферменты, расщепляющие клетчатку межклеточного вещества растений, что способствует фрагментации субстрата и его дальнейшей утилизации. Голотрихии часто локализуются на слизистой оболочке рубца, что отражает их адаптацию к специфическим экологическим нишам.

Видовое разнообразие инфузорий наиболее выражено у якутской аборигенной породы, где выявлено 36 видов из 12 родов, включая 13 специфичных видов, таких как редкий Charonina ventriculi и ранее не описанный Metadinium sp., преимущественно у животных с низким уровнем кормления. Это может быть свя-

зано с более широким спектром кормовых субстратов и экологических ниш при грубом питании. У симментальской породы зарегистрировано меньшее разнообразие с 2 специфическими видами, а у помесного скота специфичных видов не выявлено. Общее ядро из 8 видов, включая Entodinium dilobum, Entodinium exiguum, Dasytricha ruminantium, Epidinium ecaudatum (morphotype caudatum), Eudiplodinium maggii, Isotricha prostoma, Metadinium spp. (affine/medium) и Polyplastron multivesiculatum, обеспечивает базовую ферментационную функцию рубца у всех групп. Наиболее распространены роды Entodinium и Isotricha, особенно Isotricha prostoma. Высокое видовое богатство у якутского скота, особенно у молодняка, вероятно, обусловлено системой содержания «корова-телёнок», при которой теленок в течение трех месяцев после рождения получает микрофлору от матери через тесный контакт, в отличие от молочного скотоводства, где телят изолируют сразу после отела.

Сезонная динамика видового состава характеризуется увеличением летом доли видов, ферментирующих растворимые углеводы и крахмал (например, Entodinium), и ростом зимой доли таксонов, способных утилизировать грубое волокно или сохранять жизнеспособность при дефиците субстрата. Наблюдались сезонные вспышки редких видов у животных, переведенных на пастбищный режим, что связано с изменением кормовой базы. Морфометрический анализ выявил значительные различия в размерах клеток инфузорий между породами, как показано в таблице ниже (среднее ± стандартная ошибка; *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001).

Таблица 1 – Сравнение размеров общих видов эндобионтных инфузорий, обнаруженных у трех пород крупного рогатого скота

Вид инфузорий / порода	Длина, мкм	Ширина, мкм	Отношение длины к ширине
Entodinium dilobum (якутский)	38,9 ± 0,35	25,9 ± 0,59	1,50
(симментальская)	38,8 ± 1,18	28,0 ± 1,41	1,36
(помесный)	38,7 ± 0,79	26,8 ± 0,56	1,45
Entodinium exiguum (якутский)	36,4 ± 1,60	19,8 ± 0,83	1,84
(симментальская)	28,3 ± 0,94 ***	18,2 ± 0,58	1,55
(помесный)	32,7 ± 1,09	18,4 ± 1,48	1,78
Eudiplodinium maggii (якутский)	188,0 ± 4,42	151,6 ± 2,73	1,24
(симментальская)	136,0 ± 6,7 ***	96,2 ± 5,46 ***	1,41
(помесный)	156,7 ± 3,2 ***	118 ± 1,31 ***	1,32
Eudiplodinium rostratu (якутский)	41,6 ± 1,60	35,1 ± 0,29	1,19
(симментальская)	38,8 ± 0,81	19,0 ± 0,77 ***	2,04
(помесный)	38,7 ± 0,94	27,4 ± 1,01 ***	1,41
Eodinium posterovesiculatum morphotype bilobosum (якутский)	54,8 ± 0,63	31,3 ± 0,61	1,75
(симментальская)	57,0 ± 1,39	35,2 ± 0,08 ***	1,62
(помесный)	58,7 ± 0,98 **	35,4 ± 0,80 ***	1,66
Metadinium medium (якутский)	224,2 ± 10,72	169,8 ± 5,56	1,32
(симментальская)	176,3 ± 2,37 *	117,5 ± 3,16 ***	1,50
(помесный)	194,7 ± 2,15 ***	135,4 ± 2,44 ***	1,44
Isotricha prostoma (якутский)	135,6 ± 6,34	88,1 ± 1,98	1,54
(симментальская)	117,5 ± 3,7	69,5 ± 2,5 ***	1,69
(помесный)	126,7 ± 2,1 *	73,4 ± 1,79 ***	1,73
Dasytricha ruminantium (якутский)	61,5 ± 2,64	31,4 ± 1,05	1,96
(симментальская)	64,0 ± 4,3	30,6 ± 1,4	2,09
(помесный)	62,7 ± 2,3	31,2 ± 1,9	1,98

Metadinium medium оказалась самой крупной инфузорией (длина 176,3–224,2 мкм, ширина 117,5–169,8 мкм), с достоверно большими размерами у якутского скота (P<0,05–0,001). Eudiplodinium maggii также демонстрировала большие размеры у якутского скота (188,0 ± 4,42 × 151,6 ± 2,73 мкм против 136,0 ± 6,7 × 96,2 ± 5,46 мкм у симментальской; P<0,001). Entodinium exiguum была самой мелкой (длина 28,3–36,4 мкм, ширина 18,2–19,8 мкм), с меньшей длиной у симментальской породы (P<0,001). Различия в отношении длины к ширине, например, у Eudiplodinium rostratum (2,04 у симментальской породы), указывают на вариации в форме клеток, вероятно, связанные с адаптацией к различным субстратам рубца. Более крупные размеры инфузорий у якутского скота могут свидетельствовать о повышенной ферментативной емкости, обусловленной большим количеством органелл и пищеварительных вакуолей, что способствует эффективной ферментации клетчатки и экстракции энергии из грубого корма. Эти различия отражают как генетические особенности фауны, так и влияние диеты, условий содержания и длительности контакта телят с матерью.

Сравнительный анализ фаун с использованием коэффициентов сходства показал: между якутским и симментальским скотом Kj–m = 0,67, Ics = 40%; между якутским и помесным — Kj–m = 0,24, Ics = 67%. Коэффициент Жаккара-Малышева отражает присутствие/отсутствие видов, тогда как индекс Чекановского-Сьеренсена учитывает их обилие. Низкий Kj–m между якутским и помесным скотом указывает на малое число общих видов, но высокий Ics — на схожее обилие этих видов. Напротив, между якутским и симментальским скотом больше общих видов, но их численность существенно различается. Эти данные подчеркивают сложные структурные различия фаун, обусловленные как видовым составом, так и относительной численностью.

Для пробиотической пересадки пригодными считались пробы с концентрацией экологически значимых инфузорий более 5 000 экз./мл. В пробах от якутского скота и здоровых доноров выявлены ключевые виды, такие как *Dasytricha ruminantium, Entodinium dilobum, Entodinium exiguum, Entodinium longinucleatum, Epidinium ecaudatum caudatum, Eudiplodinium maggii, Isotricha prostoma, Metadinium affine* и *Polyplastron multivesiculatum*. Качественный анализ подтвердил наличие таких проб, однако полный количественный разбор их доли требует дополнительных расчетов. Предварительные результаты пересадки показали нормализацию пищеварительных процессов, снижение частоты диарейных эпизодов, восстановление микрофлоры после лечения антибиотиками, антигельминтиками и кокцидиостатиками, а также улучшение переваримости клетчатки и белка, положительный баланс азота, повышение выносливости и сохранности животных. Для строгой валидации этих эффектов необходимы количественные данные, включая частоту диарей, прибавку массы и показатели переваримости до и после пересадки, с применением статистических тестов.

Пересадка пробиотов показана для профилактики и лечения желудочно-кишечных расстройств, вызванных некачественными кормами, низкой питательностью рациона, а также для восстановления микрофлоры после применения антибиотиков, антигельминтиков и других химиотерапевтических препаратов. Метод эффективен для повышения естественной резистентности, нормализации обмена веществ, профилактики инфекционных заболеваний вирусно-бактериальной этиологии, а также для снижения воздействия микотоксинов и лечения отравлений. Пересадка пробиотов рекомендована в период восстановления после инфекционных заболеваний, хирургических вмешательств, при гипотрофии и снижении живой массы, вызванных потерей аппетита или плохой усвояемостью корма. Метод также показан для стельных коров для поддержания нормального функционирования организма и получения здорового потомства, а также при вакцинациях для усиления иммунного ответа и профилак-

тики поствакцинальных осложнений.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Полученные результаты подтверждают значительное влияние породы, типа кормления и сезонных факторов на состав и функциональную активность микробиоты рубца. Высокое видовое разнообразие у якутского скота, особенно в условиях низкого уровня кормления, указывает на адаптацию его микрофлоры к грубым кормам и экстремальным условиям. Это согласуется с данными отечественных исследователей (Бурков, Дехорити, 1978, 1986; Корнилова, 2004, 2006;), которые подчеркивали уникальность микробиоты якутского скота. Система содержания «корова-телёнок», обеспечивающая передачу микрофлоры от матери к теленку в течение первых трех месяцев, вероятно, способствует формированию более разнообразной и функционально активной фауны, что подтверждается повышенной переваримостью клетчатки и белка у якутского скота по сравнению с помесным (Корякина, 2013).

Морфометрические различия, особенно у крупных видов, таких как *Metadinium medium* и *Eudiplodinium maggii*, могут быть связаны с большей ферментативной емкостью, обусловленной увеличенным количеством пищеварительных вакуолей и органелл. Это обеспечивает более эффективную переработку грубых кормов, что особенно важно для якутского скота в условиях ограниченного рациона. Различия в форме клеток, выраженные в отношении длины к ширине, вероятно, отражают адаптацию к различным типам кормовых субстратов, что требует дальнейшего изучения с использованием молекулярных методов.

Сравнительный анализ фаун выявил сложные структурные различия, где низкий Kj–m между якутским и помесным скотом указывает на ограниченное число общих видов, но высокое Ics свидетельствует о схожем обилии этих видов. Это может быть связано с экологическими нишами, формируемыми различными кормовыми базами и условиями содержания. Пересадка пробиотов показала перспективность для восстановления микрофлоры и улучшения пищеварения, особенно у молодняка и животных после антибиотикотерапии. Однако для подтверждения эффективности метода необходимы дополнительные количественные исследования, включая анализ динамики массы тела, переваримости корма и клинических показателей.

SPECIES DIVERSITY OF RUMEN CILIATES IN CATTLE AND EFFICACY OF PROBIOTIC TRANSPLANTATION

Sleptsov E.S. [1] – Doctor of Veterinary Sciences, Chief Scientific Officer. co-lab. reindeer husbandry and traditional industries; **Alferov I.V.** [1] – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher. comp. laboratories of horse breeding and breeding; **Koryakina L.P.** [2] – Candidate Veterinary Sciences, Assoc., Head of the Department of Physiology of Agricultural Animals and Ecology; **Savvinova M.S.** [2] – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Hygiene; **Rumyantseva T.D.** [2] – leading specialist of the research department

[1] Yakut Scientific Research Institute of Agriculture

[2] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Arctic State Agrotechnological University»

ABSTRACT

This study conducted a comparative analysis of the species composition, morphometric characteristics, and abundance of rumen ciliate protozoa in three cattle breeds: Yakutian aboriginal, Simmental, and crossbred. Rumen samples were collected via esophageal probe, fixed in 4% or 10% formalin, and analyzed within 6 hours. Ciliate abundance ranged from 535 to 26,500 individuals/mL, influenced by season and feeding type (roughage for Yakutian cattle, mixed rations for Simmental and crossbred). Bacterial concentrations ranged from 100 million to 10 billion/mL. The highest species diversity (36 species, 12 genera) was observed in Yakutian cattle, including 13 breed-specific species, such as the rare *Charonina*

ventriculi and a previously undescribed *Metadinium* sp., likely due to adaptation to coarse feed and the cow-calf housing system. Simmental cattle exhibited two specific species, while crossbred cattle lacked specific species. Morphometric analysis revealed significant differences in cell sizes among breeds ($p<0.001$), with *Metadinium medium* being the largest ciliate (up to 224.2 μm in length) and *Entodinium exiguum* the smallest (28.3–36.4 μm). Faunal comparisons using the Jaccard-Malyshev coefficient (Kj–m = 0.67) and the Chekanovsky-Sørensen index (Ics = 40%) indicated the greatest differences between Yakutian and Simmental cattle. Probiotic transplantation (biomass with >5,000 ciliates/mL) from healthy Yakutian donors to three Holstein heifers confirmed the method's efficacy in normalizing digestion, restoring microbiota post-antibiotic therapy, preventing gastrointestinal disorders, enhancing feed digestibility, and improving productivity. The method reduced diarrheal episodes and improved nitrogen balance, highlighting its potential in cattle farming.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Догель, В. А. Простейшие – Protozoa. Малоресничные инфузории – Infusoria Oligotricha. Сем. Ophryoscolecidae. Определитель по фауне СССР. [Текст] / В. А. Догель. – Л.: АН СССР, 1929. – 96 с.
2. Корнилова О.А. Метод комплексного обследования фауны эндобионтных инфузорий // Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. Сборник научных трудов кафедры зоологии РГПУ им. А.И. Герцена. Выпуск 4 // СПб: ТЕССА, 2004. С. 75-77.
3. Корнилова О.А. Эндобионтные инфузории млекопитающих // Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. Сборник научных трудов кафедры зоологии РГПУ им. А.И. Герцена. Выпуск 6 // СПб: ТЕССА, 2006. С. 21-78.
4. Корнилова О.А. Определитель инфузорий, обитающих в пищеварительном тракте млекопитающих. Сборник научных трудов кафедры зоологии РГПУ им. А.И. Герцена. Выпуск 10 // СПб: ТЕССА, 2010. С. 59-94.
5. Dehority B.A. Laboratory Manual for Classification and Morphology of Rumen Ciliate Protozoa, CRC Press, Boca Raton, FL.27. 1993. 128 pp.

REFERENCE

1. Dogel', V. A. Prostejshie – Protozoa. Maloresnichnye infuzorii – Infusoria Oligotricha. Sem. Ophryoscolecidae. Opredelitel' po faune SSSR. [Tekst] / V. A. Dogel'. – L.: AN SSSR, 1929. – 96 s.
2. Kornilova O.A. Metod kompleksnogo obsledovaniya fauny endobiontnyh infuzorij // Funkcional'naya morfologiya, ekologiya i zhiznennye cikly zhivotnyh. Sbornik nauchnyh trudov kafedry zoologii RGPU im. A.I. Gercena. Vypusk 4 // SPb: TESSA, 2004. S. 75-77.
3. Kornilova O.A. Endobiontnye infuzorii mlekopitayushchih // Funkcional'naya morfologiya, ekologiya i zhiznennye cikly zhivotnyh. Sbornik nauchnyh trudov kafedry zoologii RGPU im. A.I. Gercena. Vypusk 6 // SPb: TESSA, 2006. S. 21-78.
4. Kornilova O.A. Opredelitel' infuzorij, obitayushchih v pishchevaritel'nom trakte mlekopitayushchih. Sbornik nauchnyh trudov kafedry zoologii RGPU im. A.I. Gercena. Vypusk 10 // SPb: TESSA, 2010. S. 59-94.

УДК: 611.14.08
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.426

РАЗВИТИЕ АРТЕРИАЛЬНОГО РУСЛА РУБЦА И ЕГО РОЛЬ В РОСТЕ СТЕНКИ ПРЕДЖЕЛУДКА У ЭДИЛЬБАЕВСКИХ ОВЕЦ

Мельников С.И. – канд. ветеринар. наук, доц. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0002-0963-8751); **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»

*Seeer_good97@mail.ru

Ключевые слова: *рубец, оболочка, артерии, овца, пропорциональная взаимосвязь, функционирование, рост и развитие.*

Key words: *scar, sheath, arteries, sheep, proportional relationship, functioning, growth and development.*

Поступила: 01.07.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Многокамерный желудок жвачных животных представляет собой уникальную пищеварительную систему, обеспечивающую эффективное усвоение растительных кормов за счет микробиальной ферментации. Актуальность дальнейших исследований обусловлена необходимостью получения комплексных морфометрических и физиологических данных, позволяющих установить взаимосвязь между структурными особенностями органов и их функциональной зрелостью на разных этапах онтогенеза. Цель исследования – оценить взаимосвязь развития артериального русла рубца в росте и формировании стенки преджелудка у овец эдильбаевского породы на разных этапах постнатального онтогенеза. Для изучения строения стенки рубца и его сосудов был применен комплекс современных мероприятий, включающий в себя различные методы исследования: тонкое анатомическое препарирование; микроморфометрия; вазорентгенография с предварительно контрастированным сосудистым руслом; изготовление гистологических препаратов с последующей окраской; компьютерная томография. Трупы овец были разделены на три группы, согласно классификации и периодизации жизни животного по Тельцову Л.П. Первая группа: новорожденные животные (10-14 дней); вторая группа: молодняк животных (5-6 месяцев); третья группа: овцы старше 12 месяцев. Представленные данные убедительно доказывают существование прямой и пропорциональной взаимосвязи между ростом и функциональной дифференцировкой оболочек стенки рубца и увеличением диаметра кровоснабжающих его артерий, что является ярким примером гармоничного морфофункционального приспособления органа к изменяющимся условиям питания в онтогенезе. Рост всех метаболически активных оболочек рубца (слизистой и мышечной) напрямую коррелирует с увеличением диаметра кровоснабжающих артерий. Орган не просто увеличивается в размерах, а происходит его качественное функциональное созревание, которое обеспечивается обильным кровоснабжением.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Многокамерный желудок жвачных животных представляет собой уникальную пищеварительную систему, обеспечивающую эффективное усвоение растительных кормов за счет микробиальной ферментации. Ключевую роль в этом процессе играет рубец, где осуществляется симбиотическое расщепление клетчатки и синтез питательных веществ при участии специализированных микроорганизмов. Последующие отделы – сетка, книжка и сычуг – последовательно обеспечивают механическую обработку, всасывание и переваривание. Несмотря на достаточно изученную физиологию пищеварения, морфофункциональные аспекты постнатального развития отдельных камер желудка остаются малоисследованными, особенно у адаптивных пород животных, таких как эдильбаевские овцы, демонстрирующих высокую резистентность к изменяющимся условиям среды. Актуальность дальнейших исследований обусловлена необходимостью получения комплексных морфометрических и физиологических данных, позволяющих установить взаимосвязь между структурными особенностями органов и их функциональной зрелостью на разных этапах онтогенеза. Использование современных методов исследования открывает возможности для детального сравнительного анализа, что имеет не только теоретическое значение для понимания механизмов адаптации, но и практическое – для прогнозирования продуктивности, оценки здоровья животных и оптимизации технологий содержания. Полученные данные могут стать основой для разработки критериев оценки адаптивного потенциала сельскохозяйственных животных в условиях антропогенно изменяющейся среды.

Цель исследования – оценить взаимосвязь развития артериального русла рубца в росте и формировании стенки преджелудка у овец эдильбаевского породы на разных этапах постнатального онтогенеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования и анализ полученных морфометрических данных, стенки желудка и сосудистого русла, были проведены на сертифицированном оборудовании в ветеринарных центрах и на кафедре анатомии животных ФГБОУ ВО «Санкт–Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». Трупным материалом для исследования послужили овцы эдильбаевской породы, полученные при вынужденном забое, а также павших от механических травм из фермерских хозяйств Ленинградской области. Для изучения строения стенки рубца и его сосудов был применен комплекс современных мероприятий, включающий в себя различные методы исследования: тонкое анатомическое препарирование; микроморфометрия; вазорентгенография с предварительно контрастированным сосудистым руслом; изготовление гистологических препаратов с последующей окраской; компьютерная томография. Трупы овец были разделены на три группы, согласно классификации и периодизации жизни животного по Тельцову Л.П. Первая группа - новорожденные животные (10-14 дней); вторая группа - молодняк животных (5-6 месяцев); третья группа – овцы старше 12 месяцев. Органокомплекс извлекался из брюшной полости овец при помощи тонкого анатомического препарирования. Перед проведением каждого исследования были исключены патологии желудочно-кишечного тракта. Гистологическому исследованию были подвергнуты разные участки рубца. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина в течение 24 часов, после чего заключали в парафин. В дальнейшем на санном микротоме изготавливали гистологические тонкие срезы толщиной 3-5 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином, трихромом по Массону. Визуальный анализ гистологических препаратов проводился при помощи светооптического микроскопа Carl Zeiss Axioskop 2 Plus при увеличении 40, 100, 400, 1000. Микрофотографирование проводили на

цифровую фотокамеру Carl Zeiss AxioCam ERc5s с программным обеспечением AxioVision 4.8. Морфометрические измерения проводили вручную при помощи программного обеспечения AxioVision 4.8, ImageJ. Компьютерную томографию проводили с использованием контраста Омнипак (раствор для инъекций) на компьютерном томографе Siemens Somatom Emotion 16 Slice. Вариационно-статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета анализа данных в программе «Excel Windows Office XP» и «Statistika 6,0» с расчётом средней арифметической и стандартной ошибки (M±m).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При исследовании было установлено, что стенка рубца у овец эдильбаевской породы представлена слизистой, мышечной и серозной оболочками. У новорожденных ягнят эдильбаевской породы, формирующиеся соединительнотканные сосочки в эпителии слизистой оболочки покрыты многослойным плоским эпителием. Соединительнотканные сосочки плотно подходят к базальному слою эпителиоцитов, а единичные сосочки начинают выступать над его поверхностью. Толщина слизистой оболочки вместе с подслизистой основой составила в среднем 163,40±24,10 мкм. Толщина эпителиальной выстилки слизистой составила в среднем 80,70±14,30 мкм. Слизистая оболочка рубца в значительной степени начинает истончаться, в частности за счет эпителия. Высокими темпами начинает увеличиваться толщина мышечной оболочки. Мышечная оболочка рубца состоит из внутреннего кольцевого и наружного продольного слоев гладкомышечных клеток. В новорожденный период мышечная оболочка стенки рубца у данной породы ягнят занимает больше половины всей толщины стенки. Толщина мышечной оболочки составила в среднем 191,30±23,40 мкм (толщина внутреннего слоя составила в среднем 113,70±15,20 мкм, наружного – 79,90±6,50 мкм). У серозной оболочки наблюдается такая же закономерность роста, как и в слизистом и мышечном слоях, была представлена рыхлой соединительной тканью и покрыта мезотелием, а ее толщина составляет в среднем 23,10±2,80 мкм. У молодняка пяти-шестимесячного возраста толщина слизистой оболочки вместе с подслизистой основой составила в среднем 335,00±30,10 мкм. Мышечная оболочка в среднем составляет 602,12±50,10 мкм. Толщина серозной оболочки составляет в среднем 19,50±1,55 мкм. Слизистая оболочка рубца у взрослых животных выстлана многослойным плоским ороговевающим эпителием. Толщина слизистой оболочки вместе с подслизистой основой составила в среднем 436,40±62,70 мкм. Мышечная оболочка рубца состояла из внутреннего кольцевого и наружного продольного слоя гладкомышечных клеток. Толщина мышечной оболочки составила в среднем 842,20±104,70 мкм (толщина внутреннего слоя составила в среднем 569,80±52,30 мкм, наружного – 388,20±31,90 мкм). Серозная оболочка рубца имела типичное строение, была представлена рыхлой соединительной тканью, покрытой мезотелием. Толщина серозной оболочки составила 15,60±1,30 мкм (Табл. 1).

Проанализировав морфометрические показатели, можно сделать следующее заключение, что к пяти-шестимесячному возрасту, толщина слизистой оболочки рубца увеличивается в среднем в 2,05 раза. У взрослых животных толщина этой оболочки увеличивается 2,67 раза по сравнению с новорожденным периодом; толщина мышечной оболочки рубца у молодняка овец эдильбаевской породы увеличивается в среднем в 3,15 раза, а у взрослых животных толщина этой оболочки увеличивается 4,40 раза по сравнению с новорожденным периодом; толщина серозной оболочки рубца к пяти-шести месячному возрасту животного уменьшается в среднем в 1,18 раза, а у взрослых особей толщина данной оболочки уменьшается в 1,48 раза по сравнению с новорожденным периодом. С возрастом увеличение оболочек рубца у овец, в частности эдильбаевской породы, происходит

вследствие фундаментальной перестройки данного органа, связанной с переходом от молочного кормления к потреблению грубых растительных кормов. Этот процесс является ярким примером функциональной адаптации. У новорожденных ягнят рубец еще не развит и не функционирует, что отражается на его строении: формирующиеся сосочки лишь начинают выступать, а слизистая оболочка, толщина которой вместе с подслизистой основой составляет около 163 мкм, даже несколько истончается после рождения. Наибольшая толщина в этот период отмечена у мышечной оболочки, которая занимает больше половины толщины стенки рубца (около 191 мкм), что, вероятно, закладывает основу для ее будущего мощного развития. Серозная оболочка в это время также хорошо выражена (около 23 мкм). К пяти-шестимесячному возрасту толщина слизистой оболочки увеличивается в 2,05 раза (до 335 мкм), что обусловлено активным формированием и удлинением соединительнотканных сосочков и развитием эпителия для защиты от механических повреждений грубыми кормами. Еще более интенсивно растет мышечная оболочка (увеличивается в 3,15 раза, до 602 мкм), так как для постоянного перемешивания большого объема плотного пищевого кома требуется мощная мускулатура. При этом толщина серозной оболочки уже начинает незначительно уменьшаться (до 19,5 мкм), что связано с опережающим ростом других, функционально более важных в данный момент слоев. У взрослых животных, рубец которых активно функционирует на полноценном рационе, эти процессы достигают своего пика. Слизистая оболочка, выстланная ороговевающим эпителием для максимальной защиты, утолщается в 2,67 раза по сравнению с новорожденным периодом (до 436 мкм). Мышечная оболочка демонстрирует наибольший абсолютный и относительный рост, увеличиваясь в 4,4 раза (до 842 мкм), что обеспечивает мощную моторику рубца. В то же время серозная оболочка, выполняющая в основном барьерную функцию, продолжает относительно истончаться (в 1,48 раза, до 15,6 мкм), так как ее рост не поспевает за интенсивным утолщением мышечного слоя. Таким образом, увеличение оболочек рубца с возрастом является прямым морфологическим отражением его функционального созревания и адаптации к физиологическим процессам пищеварения жвачного животного.

Таблица 1 – Толщина стенки рубца овец эдильбаевской породы в возрастном аспекте

Показатели	Новорожденные 10–14 дней	Половозрелые 5-6 месяцев	Годовалые 12 месяцев и старше
Толщина слизистой оболочки рубца (мкм)	163,40±24,10	335,00±30,10*	436,40±62,70**
Толщина мышечной оболочки рубца(мкм)	191,30±23,40	602,12±50,10*	842,20±104,70**
Толщина серозной оболочки рубца (мкм)	23,10±2,80	19,50±1,55*	15,60±1,30**

* P<0,05 уровень достоверности при сравнении с новорожденными ягнятами.
** P<0,05 уровень достоверности при сравнении с новорожденными ягнятами.

При исследовании установлено, что основной артериальной магистралью многокамерного желудка овец эдильбаевской породы является чревная артерия. Чревная артерия ответвляется от брюшной аорты в области 13-го грудного – 1-го поясничного позвонка и направляется на правую поверхность рубца. Диаметр чревной артерии у новорожденных ягнят данной породы составляет 2,52±0,25 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте данный показатель равен 4,54±0,45 мм. У взрослых годовалых животных он составляет 5,87±0,60 мм. Таким образом, поперечник чревной артерии у изученных животных к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,80 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,33 раза. Правая рубцовая артерия отходит от чревной артерии и идет по правой продольной борозде рубца и выходит на его левую поверхность. Селезеночная артерия ответвляет толстую правую рубцовую артерию, а сама в виде тонкого сосуда направляется в селезенку. Диаметр правой рубцовой артерии у новорожденных животных в среднем составляет 2,14±0,21 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте он составляет 4,05±0,40 мм. У годовалых животных в среднем равен 5,04±0,50 мм. Таким образом, калибр правой рубцовой артерии у животных данной породы к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,90 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,35 раза. Правые и левые вентральные и дорсальные венечные артерии идут по правой и левой поверхностям рубца, ответвляясь от правой рубцовой артерии. Диаметр правой вентральной венечной артерии у новорожденных животных в среднем равен 1,29±0,12 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте он составляет 2,41±0,25 мм. У годовалых животных – 3,57±0,35 мм. Таким образом, диаметр правой вентральной венечной артерии у животных данной породы к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,86 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,76 раза. Диаметр левой вентральной венечной артерии у новорожденных животных в среднем равен 1,11±0,10 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте он составляет 2,05±0,20 мм. У годовалых животных – 2,24±0,25 мм. Таким образом, диаметр левой вентральной венечной артерии у животных данной породы к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,84 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,01 раза. 126 Диаметр правой дорсальной венечной артерии у новорожденных животных в среднем равен 1,20±0,10 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте он составляет 2,20±0,20 мм. У годовалых животных – 3,13±0,30 мм. Таким образом, диаметр правой дорсальной венечной артерии у животных данной породы к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,83 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,60 раза. Диаметр левой дорсальной венечной артерии у новорожденных животных в среднем равен 1,05±0,10 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте он составляет 1,99±0,20 мм. У годовалых животных – 2,23±0,20 мм. Таким образом, диаметр левой дорсальной венечной артерии у животных данной породы к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,89 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,12 раза. Левая рубцовая артерия проходит в левой продольной борозде рубца. Диаметр левой рубцовой артерии у новорожденных животных в среднем составляет 2,12±0,21 мм. У животных в пяти-семимесячном возрасте он составляет 4,15±0,40 мм. У годовалых животных в среднем равен 5,10±0,50 мм. Таким образом, калибр левой рубцовой артерии у животных данной породы к пяти-семимесячному возрасту увеличивается в 1,96 раза по сравнению с новорожденными животными, а у взрослых годовалых животных в 2,40 раза (Табл. 2).

Таблица 2 – Артериальное русло рубца овец эдильбаевской породы в возрастном аспекте

Показатели	Новорожденные 10–14 дней	Половозрелые 5-6 месяцев	Годовалые 12 месяцев и старше
d - Чревной артерии (мм)	2,52±0,25	4,54±0,45*	5,87±0,60**
d - Правой рубцовой артерии (мм)	2,14±0,21	4,05±0,40*	5,04±0,50**
d - Правой вентральной венечной артерии (мм)	1,29±0,12	2,41±0,25*	3,57±0,35**
d - Левой вентральной венечной артерии (мм)	1,11±0,10	2,05±0,20*	2,24±0,25**
d - Правой дорсальной венечной артерии (мм)	1,20±0,10	2,20±0,20*	3,13±0,30**
d - Левой дорсальной венечной артерии (мм)	1,05±0,10	1,99±0,20*	2,23±0,20**
d - Левой рубцовой артерии (мм)	2,12±0,21	4,15±0,40*	5,10±0,50**

* P<0,05 уровень достоверности при сравнении с новорожденными ягнятами.
** P<0,05 уровень достоверности при сравнении с новорожденными ягнятами.

Проведенный морфометрический анализ выявляет наличие тесной и закономерной взаимосвязи между постнатальным ростом стенки рубца и развитием его артериальной системы у овец эдильбаевской породы. Установленные изменения отмечают выраженный адаптивный характер и направлены на обеспечение интенсивного метаболизма развивающегося органа. Наблюдается четкий параллелизм в увеличении толщины основных оболочек рубца и диаметра кровоснабжающих его артерий по мере взросления животного. Наиболее значительный рост демонстрирует слизистая оболочка, толщина которой у взрослых животных увеличивается в 2,67 раза, а высота сосочков — в 9,14 раз по сравнению с новорожденными ягнятами, что свидетельствует о значительном увеличении поверхности и метаболической активности этого отдела преджелудков. Мышечная оболочка также активно развивается, увеличивая свою толщину в 4,4 раза, что обеспечивает мощную моторику для брожения и продвижения грубых кормов. Это морфофункциональное усложнение стенки рубца требует адекватного обеспечения кислородом и питательными веществами, что и подтверждается данными по артериальной системе. Калибр правой рубцовой артерии, основного магистрального сосуда, увеличивается в 2,35 раза у взрослых животных, а ее основные ветви — венечные артерии, кровоснабжающие участки стенки, показывают еще более значительный рост: диаметр правой вентральной венечной артерии увеличивается в 2,76 раза, а правой дорсальной — в 2,60 раза. Эта неравномерность в увеличении диаметра разных артерий, вероятно, отражает функциональные особенности и неодинаковую нагрузку на различные зоны рубца. Примечательно, что даже к пятисемимесячному возрасту темпы прироста артерий (в 1,83–1,90 раза) практически синхронны с темпами утолщения мышечной (в 3,15 раза) и слизистой (в 2,05 раза) оболочек, демонстрируя сбалансированность процессов роста и васкуляризации. Единственным исключением является серозная оболочка, которая выполняет в основном защитную и барьерную функцию и не участвует активно в метаболизме, в связи с чем ее толщина закономерно уменьшается по мере роста общего объе-

ма органа.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, представленные данные нашего исследования, убедительно доказывают существование прямой и пропорциональной взаимосвязи между ростом и функциональной дифференцировкой оболочек стенки рубца и увеличением диаметра кровоснабжающих его артерий, что является ярким примером гармоничного морфофункционального приспособления органа к изменяющимся условиям питания в онтогенезе. Рост всех метаболически активных оболочек рубца (слизистой и мышечной) напрямую коррелирует с увеличением диаметра кровоснабжающих артерий. Орган не просто увеличивается в размерах, а происходит его качественное функциональное созревание, которое обеспечивается обильным кровоснабжением. Параллельное увеличение высоты сосочков рубца и диаметра артерий (в 2,35–2,76 раза) является адаптационным механизмом, обеспечивающим возросшие потребности развивающихся тканей в кислороде и питательных веществах. Наличие незначительных различий в темпах роста разных артерий (например, правая вентральная венечная артерия растет быстрее, чем левая) указывает на сложную и дифференцированную перестройку кровоснабжения, отражающую неодинаковую функциональную нагрузку на различные участки рубца.

THE DEVELOPMENT OF THE ARTERIAL BED OF THE SCAR AND ITS ROLE IN THE GROWTH OF THE WALL OF THE PANCREAS IN EDILBAEV SHEEP

Melnikov S.I. – Candidate of Veterinary Sciences, Assistant Professor of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0000-0002-0963-8751); **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

* Seeer_good97@mail.ru

ABSTRACT

The multi-chambered stomach of ruminants is a unique digestive system that ensures effective absorption of plant foods through microbial fermentation. The relevance of further research is determined by the need to obtain complex morphometric and physiological data that make it possible to establish the relationship between the structural features of organs and their functional maturity at different stages of ontogenesis. The aim of the study was to evaluate the relationship between the development of the arterial scar in the growth and formation of the pancreatic wall in sheep of the Edilbaevsky breed at different stages of postnatal ontogenesis. To study the structure of the scar wall and its vessels, a complex of modern measures was applied, including various research methods: fine anatomical dissection; micromorphometry; vasorentgenography with a pre-contrasted vascular bed; production of histological preparations with subsequent staining; computed tomography. The sheep corpses were divided into three groups, according to the classification and periodization of animal life according to L.P. Teltsov. The first group: newborn animals (10-14 days); the second group: young animals (5-6 months); the third group: sheep older than 12 months. The presented data convincingly prove the existence of a direct and proportional relationship between the growth and functional differentiation of the membranes of the scar wall and an increase in the diameter of the arteries supplying it, which is a vivid example of the harmonious morphofunctional adaptation of the organ to changing nutritional conditions in ontogenesis. The growth of all metabolically active membranes of the scar (mucosa and muscle) directly correlates with an increase in the diameter of the blood-supplying arteries. The organ does not just increase in size, but its high-quality functional maturation occurs, which is ensured by an abundant blood supply.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Валькова, В. В. Морфология многокамерного желудка овец эдильбаевской

породы при искусственном выращивании / В. В. Валькова, О. С. Бушукина, В. А. Здоровинин // ученые записки казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 2 – С. 33 – 37.
2. Мельников, С. И. Постнатальный гистогенез преджелудков у овец эдильбаевской породы / С. И. Мельников, М. В. Щипакин // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика: Сборник трудов всероссийской (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. 127-130. – EDN IBJYCR.
3. Юнси, И.Р. Особенности синтопии многокамерного желудка ягнят новорожденного этапа развития / И.Р. Юнси // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. – №18(181). – С. 94-99.
4. Шпыгова, В. М. Изменение гистоархитектоники стенки правой рубцовой артерии желудка крупного рогатого скота в постнатальном онтогенезе // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 13. С. 139 – 146.
5. Мельников, С. И. Линейные показатели многокамерного желудка у овец эдильбаевской породы / С. И. Мельников, М. В. Щипакин // Научные основы развития АПК : Сборник научных трудов по материалам XXIV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Томск, 24 апреля – 10 2022 года. – Томск-Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2022. – С. 165-167. – EDN MQTGTT.
6. Груздев, П. В. Морфогенез слизистой оболочки рубца желудка крупного рогатого скота в пре- и постнатальном онтогенезе / П. В. Груздев, В. А. Беляев, В. М. Шпыгова, Г. Н. Губанова, В. А. Мещеряков // Морфология. 1998. – Т. 113. – № 3. – С. 40.
7. Особенности кровоснабжения многокамерного желудка козы англо-нубийской породы / М. В. Щипакин, Н. В. Зеленевский, Д. С. Былинская [и др.] // Современные проблемы морфологии: Материалы научной конференции, посвященной памяти академика РАН, профессора Льва Львовича Колесникова, Москва, 10 декабря 2020 года. – Москва: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2020. – С. 265-267. – EDN QVJJQW.
8. Дилекова, О. В. Гистологическое строение преджелудка плодов овец ставропольской породы / О. В. Дилекова // Актуальные проблемы охраны здоровья животных: сб. науч. тр. по материалам II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Ставрополь, 16-18 ноября 2004 г.) /СтГАУ, Ставрополь, 2004. – С. 43-46.
9. Мельников, С. И. Топография и морфометрия многокамерного желудка у новорожденных ягнят эдильбаевской породы / С. И. Мельников, М. В. Щипакин // Проблемы и пути развития ветеринарной и зоотехнической наук : Материалы Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти заслуженного деятеля науки, доктора ветеринарных наук, профессора кафедры "Болезни животных и ветеринарно-санитарная экспертиза" Колесова Александра Михайловича, Саратов, 14–15 апреля 2021 года. – Саратов: Саратовская региональная общественная организация Центр вынужденных переселенцев "Саратовский источник", 2021. – С. 215-218. – EDN LBRTXE.
10. Мельников, С. И. Особенности хода и ветвления артериального русла многокамерного желудка овец эдильбаевской породы / С. И. Мельников, М. В. Щипакин // Современное состояние и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической науки: Материалы Всероссийской научно -практической конференции с международным участием, Чебоксары, 29 октября 2020 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2020. – С. 293-296. – EDN LDOMNZ.

11. Тельцов, Л. П. Смена генераций органов пищеварения в онтогенезе / Л. П. Тельцов, И. Р. Шашанов, Ю. С. Шагиахметов, В. А. Столяров, О. С. 172 Бушукина, В. В. Мартьянов, И. Л. Чегодаев // III съезд анатомов, гистологов и эмбриологов' материалы съезда – Тюмень, 1994. – С. 202-203.
12. Прусаков, А. В. Основные методики изучения артериальной системы, применяемые на кафедре анатомии животных ФГБОУ ВО СПБГАВМ / А. В. Прусаков, М. В. Щипакин, С. В. Вирунен, Ю. Ю. Бартенева, Д. В. Васильев // Вопросы нормативно–правого регулирования в ветеринарии. – Санкт–Петербург, 2016. – № 4. – С.255–259.

REFERENCES

1. Valkova V. V., Bushukina O. S., Zdorovinin V. A. Morphology of the multicameral stomach of sheep of the Edilbaev breed under artificial cultivation // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. – 2014. – No. 2 – pp. 33-37.
2. Melnikov, S. I. Postnatal histogenesis of the pre-ventricles in sheep of the Edilbaev breed / S. I. Melnikov, 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 named after K.I. Scriabin", 2021. – pp. 127-130. – EDN IBJYCR.
3. Yunsi, I.R. Features of the syntopy of the multi-chambered stomach of lambs of the newborn stage of development / I.R. Yunsi // Proceedings of agricultural science of Taurida. 2019. – №18(181). – Pp. 94-99.
4. Shpygova, V. M. A change in the histoarchitectonics of the wall of the right cicatricial artery of the stomach of cattle in postnatal ontogenesis // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2008. No. 13. pp. 139-146.
5. Melnikov, S. I. Linear parameters of the multi-chamber stomach in sheep of the Edilbaev breed / S. I. Melnikov, M. V. Shchipakin // Scientific foundations of the development of agriculture: A collection of scientific papers based on the materials of the XXIV All-Russian (national) scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, Tomsk, April 24 – 10, 2022 of the year. Tomsk-Novosibirsk: Publishing Center of Novosibirsk State Agrarian University "Zolotoy kolos", 2022. pp. 165-167. - EDN MQTGTT.
6. Gruzdev, P. V. Morphogenesis of the mucous membrane of the stomach scar of cattle in pre- and postnatal ontogenesis / P. V. Gruzdev, V. A. Belyaev, V. M. Shpygova, G. N. Gubanova, V. A. Meshcheryakov // Morphology. 1998. – Vol. 113. – No. 3. – p. 40.
7. Features of blood supply to the multicameral stomach of the Anglo-Nubian goat / M. V. Shchipakin, N. V. Zelenevsky, D. S. Bylinskaya [et al.] // Modern problems of morphology: Proceedings of a scientific conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor Lev Lvovich Kolesnikov, Moscow, December 10, 2020. – Moscow: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2020. – pp. 265-267. – EDN QVJJQW.
8. Dilekova O. V. Histological structure of the pre-pancreas of Stavropol sheep fruits / O. V. Dilekova //Actual problems of animal health protection: collection of scientific papers based on the materials of the II International Scientific and Practical Conference (Stavropol, November 16-18, 2004) /SSAU, Stavropol, 2004. – pp. 43-46.
9. Melnikov, S. I. Topography and morphometry of the multicameral stomach in newborn lambs of the Edilbaev breed / S. I. Melnikov, M. V. Shchipakin // Problems and ways of development of veterinary and zootechnical sciences : Materials of the International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the memory of the Honored Scientist, Doctor of Veterinary Sciences, professor of the department "Animal diseas-

es and veterinary and sanitary expertise" by Alexander Mikhailovich Kolesov, Saratov, April 14-15, 2021. – Saratov: Saratov regional public organization Center for Internally Displaced Persons "Saratov source", 2021. – pp. 215-218. – EDN LBRTXE.
10. Melnikov, S. I. Features of the course and branching of the arterial bed of the multicameral stomach of sheep of the Edilbaev breed / S. I. Melnikov, M. V. Shchipakin // Current state and prospects of development of veterinary and zootechnical science: Materials of the All-Russian Scientific and Practical conference with international participation, Cheboksary, October 29, 2020. Cheboksary: Chuvash State Agrarian University, 2020. pp. 293-296. EDN LDOMNZ.
11. Teltsov, L. P. Change of generations of digestive organs in ontogenesis / L. P. Teltsov, I. R. Shashanov, Yu.S. Shagiakhmetov, V. A. Stolyarov, O. S. 172 Bushukina, V. V. Martyanov, I. L. Chegodaev // III Congress of anatomists, histologists and embryologists' proceedings of the Congress – Tyumen, 1994. – p. 202-203.
12. Prusakov, A.V. Basic methods of studying the arterial system used at the Department of Animal Anatomy of the FSBI VO SPBGAVM / A.V. Prusakov, M. V. Shchipakin, S. V. Virunen, Yu. Yu. Barteneva, D. V. Vasiliev // Issues of legal regulation in veterinary medicine. – St. Petersburg, 2016. – No. 4. – pp.255–259.

АКУШЕРСТВО, ГИНЕКОЛОГИЯ

УДК: 576.08; 636.4
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.436

ВЛИЯНИЕ УНИТИОЛА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ООЦИТОВ *SUS SCROFA DOMESTICUS* В СИСТЕМЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *IN VITRO*

Притужалова А.О.* – науч. сотр. лаборатории биологии развития (ORCID 0000-0002-2865-9582); **Кузьмина Т.И. –** д-р биол. наук, проф., глав. науч. сотрудник, зав. лабораторией биологии развития (ORCID 0000-0002-4218-6080).

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»

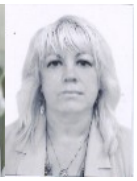
** aklevakina14@mail.ru*

Ключевые слова: *ооцит, активные формы кислорода, оксидативный стресс, Sus scrofa domesticus, унитиол.*

Keywords: *oocyte, reactive oxygen species, oxidative stress, Sus scrofa domesticus, unithiol.*

Финансирование*: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской федерации в рамках выполнения государственного задания НИОКТР 124020200127-7.*

Поступила: 30.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025

РЕФЕРАТ

Оксидативный стресс при культивировании ооцитов свиней *in vitro* является одним из факторов, снижающих жизнеспособность и выход компетентных к оплодотворению женских гамет. Экзогенные антиоксиданты, к которым относится унитиол, обеспечивают снижение продукции активных форм кислорода в клетках. В настоящем исследовании ооцит-кумулюсные комплексы (ОКК) свиней культивировали в течение 44ч без и с унитиолом в концентрациях 0,42 мг/мл и 0,84 мг/мл. Через 22 ч обнаружен рост (на 21%, $p<0,01$) доли ОКК, реинициировавших мейоз, в группах ооцитов, прокультивированных с 0,42 или 0,84 мг/мл унитиолом, в сравнении с контролем. Спустя 44ч все гаметы экспериментальных групп реинициировали мейоз (85, 83 и 90%). Спустя 44 ч, в группе ооцитов культивировавшихся с 0,42 мг/мл унитиола выявили снижение доли (на 28%) созревших клеток ($p<0,001$), а внесение 0,84 мг/мл унитиола в среду обеспечило снижение уровня клеток, завершивших мейоз, на 31% ($p<0,001$) в сравнении с контролем. Через 22 ч культивирования доля

дегенерированных клеток в группе, прокультивированной с 0,42 мг/мл унитиола была выше контроля на 14% ($p<0,05$), а с концентрацией 0,84 мг/мл - на 34% ($p<0,001$). Спустя 44 ч культивирования унитиол в концентрациях 0,42 и 0,84 мг/мл, по-прежнему, инициировал дегенеративные изменения в ооцитах. Доля клеток с признаками дегенерации была на 25 и 32% выше в сравнении с контролем, $p<0,01$). Таким образом, введение в состав культуральных сред унитиола в концентрациях 0,84 и 0,42 мг/мл вызывало снижение доли созревших ооцитов и рост уровня женских гамет с дегенерированным хроматином. Выявленные особенности воздействия унитиола в исследованных дозировках на мейотическое созревание донорских ооцитов свиней *in vitro* не позволяют рекомендовать его в качестве экзогенного антиоксиданта для снижения оксидативного стресса в ооцитах свиней при культивировании *in vitro*.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Технология получения эмбрионов сельскохозяйственных животных *in vitro* – эффективный способ тиражирования потомства от особей с превосходящими хозяйственно-полезными признаками. При этом, культивирование ооцитов *in vitro*, как первый этап, является основополагающим для приобретения компетентности ооцита к оплодотворению, и, следовательно, получению эмбрионов высокого качества.

На выход созревших ооцитов оказывает влияние множество факторов, включая качество выделенных ооцитов и условия культивирования женских гамет [1]. Однако, на сегодняшний день имеются сложности в подборе оптимального состава культуральной среды и, одной из проблем при культивировании ооцитов *in vitro*, является окислительный стресс, вызванный повышенной генерацией активных форм кислорода (АФК) ооцитами в среде для культивирования [2]. В условиях *in vivo* антиоксиданты, находящиеся в фолликулярной жидкости овариальных фолликулов самок, способствуют снижению АФК, продуцируемых ооцитами [3], а избыточная генерация АФК может, в конечном итоге, привести к гибели клеток [4]. Однако, условия созревания ооцитов *in vitro* могут провоцировать возникновение стресс-факторов для повышенной генерации АФК, а среда для культивирования в полной мере не обеспечивает антиоксидантную защиту клеток и нередко сама является причиной образования свободных радикалов [5]. В связи с этим, возникает необходимость поиска оптимальных экзогенных антиоксидантов, способных снизить избыточную генерацию АФК ооцитами в условиях культивирования *in vitro.*

Тиоловые соединения (например, глутатион – GSH) присутствуют в антиоксидантной системе клеток и являются сульфгидрильными компонентами в клетках млекопитающих, регулируя внутриклеточный окислительно-восстановительный баланс [6]. В качестве экзогенного представителя тиоловых групп выступает унитиол. Он также имеет свободные сульфигдрильные группы, способные быстро останавливать реакцию избыточного окисления [7, 8, 9]. Однако, данные, в которых применялся бы унитиол в системе культивирования ооцитов свиней *in vitro*, отсутствуют.

Цель исследования – оценить влияние унитиола в разных концентрациях на показатели ядерного созревания и дегенеративных изменений хроматина в ооцитах *Sus scrofa domesticus* при культивировании *in vitro,* с целью потенциального его применения в качестве экзогенного неферментативного антиоксиданта при экстракорпоральном созревании ооцитов свиней.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В экспериментах использовали яичники свиней породы ландрас в возрасте 6 мес., полученных *post mortem* на Тосненском мясокомбинате и доставленных в течение 1 часа. Яичники после овариоэктомии помещались в термосе в теплом (38°C) 0,9 % растворе NaCl, содержащем 100 МЕ/мл пенициллина, 50 мкг/мл стрептомицина и доставлялись от места убоя в лабораторию. Для эксперимента

отбирали яичники на стадии фолликулярного роста, без патологических изменений. Ооцит-кумулюсные комплексы (ОКК) свиней извлекали путем резекции стенок фолликулов (ø 3-5 мм) с помощью хирургического скальпеля в стерильный фосфатно-солевой буфер (PBS), после чего переносили в культуральную среду для последующего ранжирования. В выборку контрольной и экспериментальных групп включали ооциты, окруженные не менее 5 компактными, однородными слоями кумулюсных клеток, гомогенной ооплазмой и равномерной по ширине зоной пеллюцида.

Культивирование выделенных ОКК ранжировали на 3 группы и культивировали под стерильным минеральным маслом в среде ТС-199, дополненной 10% фетальной бычьей сывороткой (ФБС), 10% инактивированной фолликулярной жидкостью свиней (аспирированной из фолликулов ø 3-5 мм), 10 МЕ/мл хорионическим гонадотропином человека (ХГЧ), антибиотиком-антимикотиком (производитель Gibco) до конечной концентрации 10 мкл/1мл в среде, пируватом натрия (0,11 М), а также клетками гранулезы (КГ) в конечной концентрации $1*10^6$ клеток/мл. 1 группа являлась контрольной, в две другие добавляли 0,42 мг/мл и 0,84 мг/мл унитиола, соответственно. ОКК культивировали в 5% CO^2в атмосфере и максимальной влажности. Через 22 ч ОКК с КГ промывали, производили замену среды на вышеобозначенную, но уже без гормональных добавок и культивировали еще 22 ч при тех же условиях.

Оценку статуса хроматина проводили с помощью флуоресцентного красителя Hoechst33342 (Lumiprobe). Ооциты механически денудировали от остатков кумулюса, экспанировали в гипотоническом растворе цитрата натрия в течение 4 минут, после чего фиксировали в метаноле с добавлением ледяной уксусной кислоты (соотношение 3:1). Полученные суховоздушные цитопрепараты окрашивали раствором Hoechst33342 (рабочая концентрация 1.9 μM), с добавлением раствора Дабко (Рис.1).

Оценку ооцитов контрольной и экспериментальной групп производили спустя 22 и 44 ч культивирования. Проанализированные популяции ооцитов распределяли в следующие группы: ооциты, реинициировавшие мейоз (вышедшие из стадии диплотены (Рис. 1А); ооциты, достигшие стадии созревания (метафаза II, рис. 1Б), ооциты с признаками дегенерации хроматина (Рис.2).

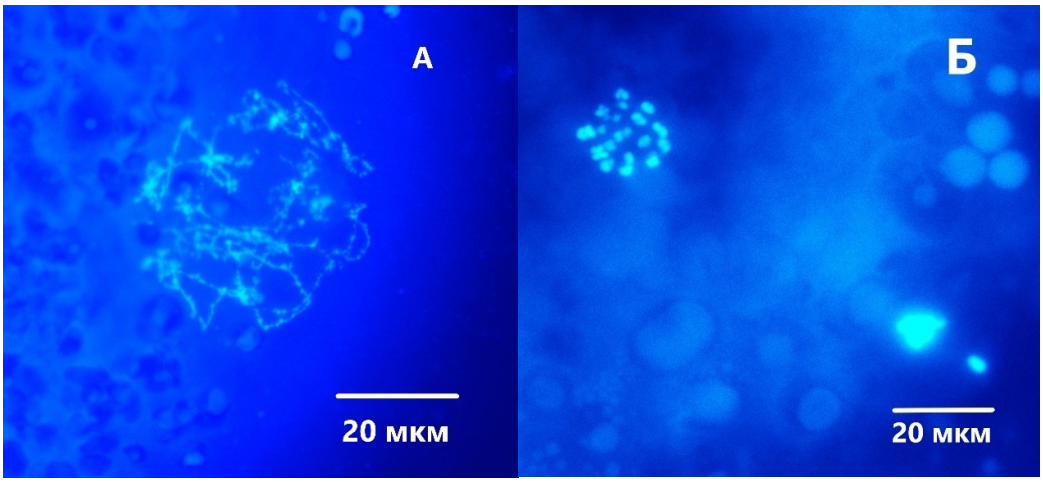


Рисунок 1 – Репрезентативное изображение хроматина ооцитов свиней на стадиях диплотены (А) и метафазы II (Б). Цитологический препарат, окрашивание Hoechst33342; микроскоп ZEISS Axio Lab. A1 (Carl Zeiss), увеличение x900.

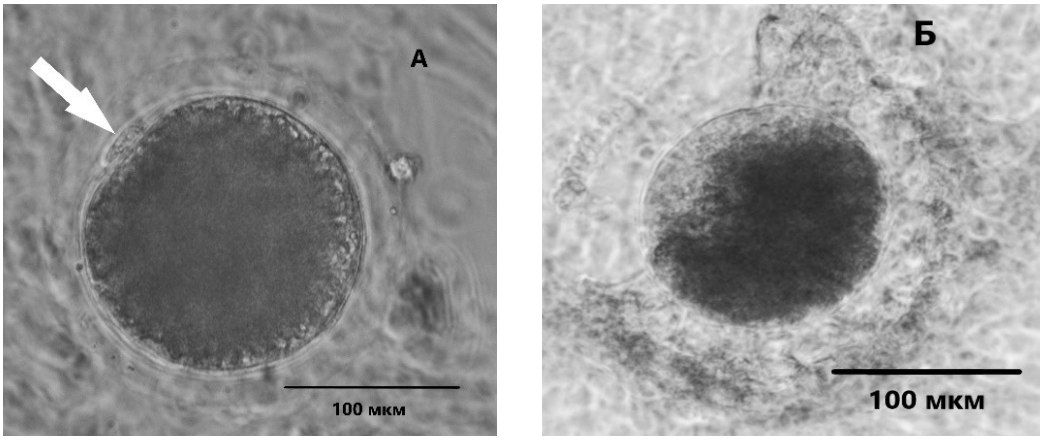


Рисунок 2 – Ооциты свиней спустя 44 часа культивирования in vitro. А –ооцит на стадии метафазы II (стрелка указывает на полярное тельце); Б - ооцит с признаками дегенерации. Увеличение х600. Инвертированный микроскоп МИБ2-ФЛ модель ICX41FLLED (Ломо МА).

Визуализацию, оценку и фотофиксацию проводили с помощью микроскопа МИБ2-ФЛ модель ICX41FLLED (Ломо МА) и программного обеспечения MCview. Результаты эксперимента были обработаны с использованием программы Sigma Stat. Все используемые в исследовании реагенты, за исключением указанных, были произведены компанией Sigma-Aldrich. Использованная лабораторная посуда произведена фирмой BD Falcon™. Для оценки статистической значимости различий между средними значениями применялся критерий x^2 при трех уровнях значимости: P<0,05, P<0,01, P<0,001.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Возобновление мейотического созревания ооцитов инициируется сложным взаимодействием гормональных и молекулярных сигналов. Результаты данного показателя отражены на Рис. 3.

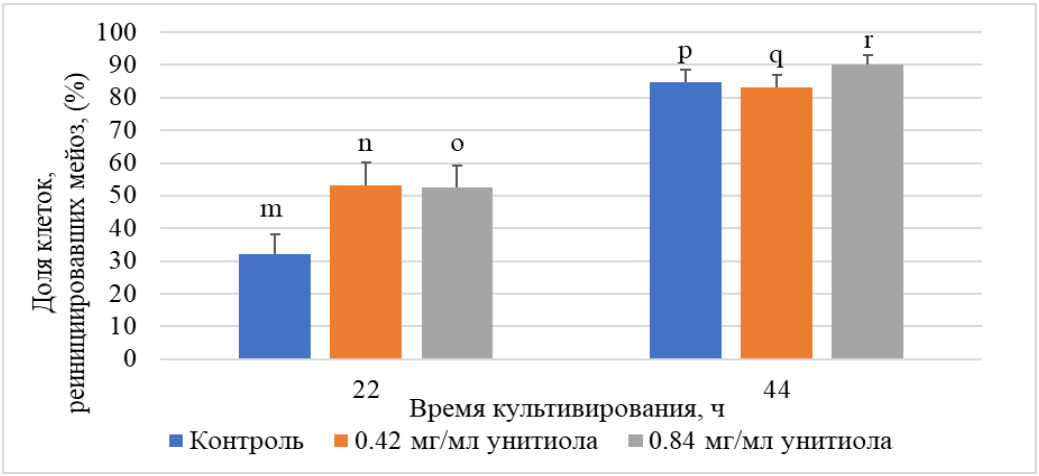


Рисунок 3 – Влияние унитиола (в концентрации 0,42 и 0,84 мг/мл) на реинициацию мейоза в ооцитах свиней при культивировании in vitro. $^{m:n;\ m:o}$ *- p<0,01;* $^{m:p;\ n:q;\ o:r}$ *- p<0,001. (n-429).*

В наших исследованиях через 22 ч культивирования доля ооцитов, реинициировавших мейоз в группах с 0,42 и 0,84 мг/мл унитиола составила 53% (в обоих группах), что достоверно выше контроля на 21 % ($p<0,01$). Тем не менее, спустя 44 ч все экспериментальные группы клеток имели высокий процент реинициации и достигали 85, 83 и 90% соответственно.

Завершение мейотического созревания ооцита (достижение стадии метафазы II) является критически важным, характеризующим успешное приобретение компетентности ооцита к дальнейшему оплодотворению (Рис.4).

В результате проведенных экспериментов после 44 ч культивирования доля созревших ооцитов в контрольной группе составила 67%, при этом, в экспериментальных группах значение данного показателя оказалось ниже. Так, при культивировании с 0,42 мг/мл унитиола процент клеток, завершивших созревание составил 39%, что оказалось на 28% ниже контроля ($p<0,001$), а добавление в среду 0,84 мг/мл унитиола снизило данный показатель на 31% в сравнении с контролем и составил 36% ($p<0,001$).

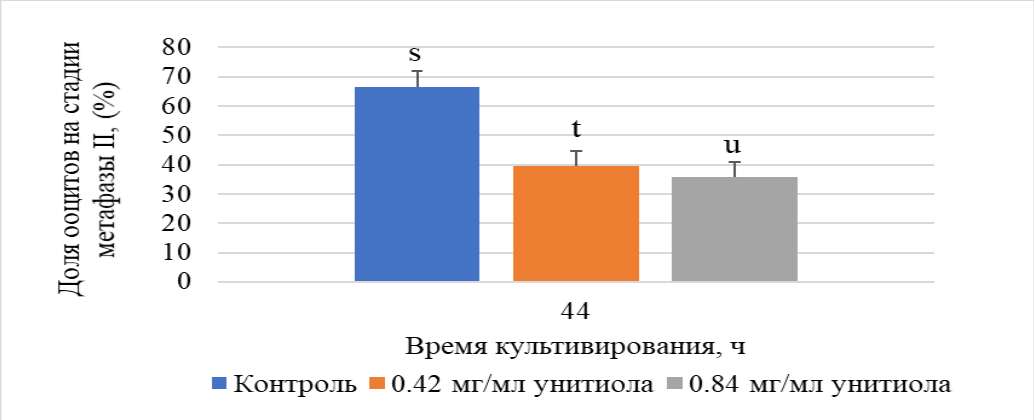


Рисунок 4 – Влияние унитиола (в концентрации 0,42 и 0,84 мг/мл) на ядерное созревание ооцитов свиней invitros$^{s:t;\ s:u}$- $p<0,001$ (n-144).

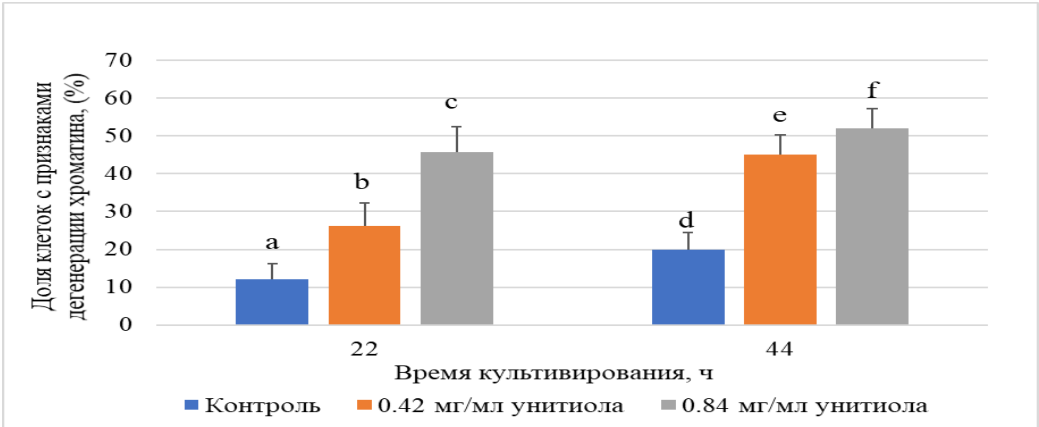


Рисунок 5 – Влияние унитиола (в концентрации 0,42 и 0,84 мг/мл) на статус хроматина в динамике культивирования (22 и 44 часа) $^{a:b;\ a:e;\ a:f}p<0,05;$ $^{b:c;\ b:d;\ c:e;\ c:f;\ d:e;\ d:f}p<0,01;$ $^{a:c;\ c:d}$- $p< 0,001$. (n-112).

Дегенерация хроматина женских гамет в динамике культивирования in vitro является важным критерием при тестировании цитотоксичных эффектов различных веществ. На Рис. 5 показаны данные, характеризующие деструкцию хроматина в ооцитах свиней (спустя 22 и 44 часа культивирования).

В нашем исследовании показано, что через 22 ч культивирования уровень клеток с дегенерированным хроматином в группе с добавлением в среду 0,42 мг/мл унитиола был значительно выше контрольной группы на 14% ($p<0,05$), а внесение в среду унитиола в концентрации 0,84 мг/мл увеличило этот показатель на 34% ($p<0,001$). Спустя 44 ч культивирования данная тенденция сохранялась: введение в культуральную среду 0,42 и 0,84 мг/мл унитиола увеличило долю клеток с признаками дегенерации хроматина в экспериментальных группах на 25 и 32% в сравнении с контролем ($p<0,01$).

Тиоловые соединения, помимо антиоксидантных свойств, способны выступать субстратом для глутатионпероксидазы [10], а также могут являться источником окислительно-восстановительных буферов, регулирующих состав тиола/дисульфида белка [6]. Дисульфидные связи поддерживают структуру растворимых белков, участвуют в ферментативных и транспортных процессах. Возможно, что добавление тиоловых соединений активирует внутриклеточные процессы, и, в нашем случае, способствует более высокой доле ооцитов, реинициировавших мейоз через 22 часа культивирования, в сравнении с контролем.

Некоторые представители тиоловых соединений, при добавлении в среду для культивирования ооцитов, способствуют их созреванию, развитию и способны улучшать качество эмбрионов. Так, показано, что один из представителей тиоловых соединений Р-меркаптоэтанол способен восстанавливать цистин до цистеина, усиливая синтез глутатиона в ооците во время их культивирования *in vitro* [11]. Применение унитиола при витрификации ооцитов крупного рогатого скота также показало положительное влияние на их жизнеспособность и дальнейшее приобретение компетенции к оплодотворению и развитию эмбрионов *in vitro* [12]. Однако, в нашем эксперименте при добавлении унитиола в концентрациях 0,84 и 0,42 мг/мл в среду для культивирования ооцитов свиней как через 22, так и 44 ч наблюдалось увеличение доли клеток с признаками дегенерации хроматина. Эти результаты согласуются с данными Aldhaheri, S. R. et al., которые показали, что добавление унитиола к ооцитам мышей в разных концентрациях вызывало нарушение образования веретена деления на стадии метафазы II и нарушения структурирования хромосом, которые ведут к необратимым дегенеративным изменениям [13]. Mohammadi Roushandeh et al. показали, что добавление цистеина (представителя тиоловой группы) ускоряет созревание ооцитов мышей, однако, в повышенных концентрациях (свыше 500 μM) оказывает цитотоксический эффект [14], что также подтверждает полученные нами результаты.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В результате исследования выявлен негативный эффект воздействия унитиола в концентрациях 0,84 и 0,42 мг/мл на ооциты свиней в системе культивирования *in vitro*. Полученные данные не позволяют рекомендовать данное соединение в качестве экзогенного антиоксиданта (в вышеобозначенных дозировках) для снижения оксидативного стресса в ооцитах *Sus scrofa domesticus* при культивировании *in vitro*. Вышесказанное не исключает вероятности выявления позитивных эффектов унитиола на жизнеспособность ооцитов в культуре при использовании других диапазонов концентраций.

EFFECT OF UNITHIOL ON THE VIABILITY OF *SUS SCROFA DOMESTICUS* OOCYTES IN AN *IN VITRO* CULTURE SYSTEM

Prituzhalova A.O.* – Researcher, Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0002-2865-9582); **Kuzmina T.I.** – Doctor of Biological Sciences, Professor,

Chief Researcher, Head of the Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0002-4218-6080)

The All-Russian Scientific Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center of Animal Husbandry named after Academician L. K. Ernst

Financing: *the work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment R&D 124020200127-7.*

**aklevakina14@mail.ru*

ABSTRACT

Oxidative stress during *in vitro* maturation of porcine oocytes is one of the factors that reduce viability and exit of competent to insemination female gametes. Exogenous antioxidants, which includes unithiol, reduce production of active oxygen forms in cells. In the present study, pig's cumulus-oocyte complexes (COC) were cultivated for 44h with and without single-agent at concentrations of 0,42 mg/ml and 0,84 mg/ml. After 22 h was found an increasing (by 21%, p<0,01) of the proportion of COC reinitiated meiosis in oocyte groups cultivated with 0,42 or 0,84 mg/ml of unithiol in comparison with control. After 44h all gametes in experimental groups reinitiated meiosis (85, 83 and 90%). After 44 h, in oocyte group cultivated with 0,42 mg/ml of unithiol there was a decreasing (by 28%) in proportion of mature cells (p<0,001), and introduction of 0,84 mg/ml of unithiol into environment resulted in a decrease of 31% (p 0,001) in level of cells having completed meiosis compared to control. After 22 h of cultivation, proportion of degenerated cells in a group cultivated with 0,42 mg/ml of unithiol was above control by 14% (p<0,05), and with a concentration of 0,84 mg/ml - by 34% (p<0,001). After 44 h of cultivation, unithiol in concentrations of 0,42 and 0,84 mg/ml continued to initiate degenerative changes in oocytes. Proportion of cells with degeneration was 25 and 32% higher compared to control, p<0,01). Introduction of unithiol in concentrations of 0,84 and 0,42 mg/ml into cultural media caused a decreasing percentage of mature oocytes and increasing level of female gametes with degenerated chromatin. Observed effects of unithiol in studied dosages on meiotic maturation of pig's *in vitro* donor oocytes do not allow to recommend it as an exogenous antioxidant for reducing oxidative stress in pig oocytes under *in vitro* maturation.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Jiang, H. Laminarin improves developmental competence of porcine early-stage embryos by inhibiting oxidative stress / Jiang H., Liang S., Yao X.R. [et al.] // Theriogenology. – 2018. - Vol. 115. – P. 38 – 44. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.04.019.

2.Ye R. Protective Effect of Icariin on the Development of Preimplantation Mouse Embryos against Hydrogen Peroxide-Induced Oxidative Injury / Ye R., Xu S., Liu Y. [et al.] //Oxidative medicine and cellular longevity. - Vol. 2017. – Iss. 2704532. doi: 10.1155/2017/2704532 Режим доступа: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5478867.

3.Khazaei M. Reactive oxygen species generation and use of antioxidants during in vitro maturation of oocytes / M. Khazaei, F. Aghaz // International journal of fertility & sterility. - 2017. – Vol. 11. – P. 63–70. doi: 10.22074/ijfs.2017.4995.

4.Artini P. G. Oxidative Stress-Related Signaling Pathways Predict Oocytes' Fertilization In Vitro and Embryo Quality / P. G. Artini, G. Scarfò, I. Marzi, [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2022. - Vol. 23. - № (21). – Iss. 13442. doi: 10.3390/ijms232113442. Режим доступа: https://www.mdpi.com/1422-0067/23/21/13442.

5.Torres-Osorio V. Oxidative stress and antioxidant use during in vitro mammal embryo production. Review / V. Torres-Osorio, R. Urrego, J. J. Echeverri-Zuluaga [et al.] // Revista mexicana de ciencias pecuarias. – 2019. - Vol.10 - №2. - P. 433-459 https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4652. Режим

доступа: https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4652.
6. Flohe L. Free Radicals in Biology. New York, 1982, 305 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-566505-6.X5001-7.
7. Яблоков В. Е. Сорбционное концентрирование ионов кадмия и свинца в виде комплексов с унитиолом на поверхности силикагеля, модифицированного группами четвертичной аммониевой соли / Яблоков В. Е., Ищенко Н. В., Алексеев С. А. // Журнал аналитической химии. – 2013. – Т. 68. - №3. – с. 224 – 229. DOI: 10.7868/S0044450213030146.
8. Жоров Г. А. Применение антиоксидантных серосодержащих соединений в качестве биопротекторных средств при свободнорадикальных процессах и интоксикациях тяжелыми металлами / Жоров Г. А., Рубченков П. Н., Захарова Л. Л. [и др.] // Российский журнал проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2016. - №40(20). – с. 113-121.
9. Гребенюк, А. Н. Токсикология и медицинская защита: учебник / А. Н. Гребенюк, Н. В. Аксенова, А. Е. Антушевич ; под редакцией А. Н. Гребенюка. — Санкт -Петербург: ФОЛИАНТ, 2016. — 672 с.
10. Gilbert H. F. Thiol/disulfide exchange equilibria and disulfide bond stability / H. F. Gilbert // Methods in enzymology. – 1995. – Vol. 251. – P. 8-28. doi:10.1016/0076-6879(95)51107-5.
11. De Matos D. G., Furnus C. C. The importance of having high glutathione (GSH) level after bovine in vitro maturation on embryo development: Effect of β-mercaptoethanol, cysteine and cystine / D. G. De Matos, C. C. Furnus // Theriogenology. - 2000. – Vol. 53. – Iss. 3. – P. 761– 771. doi:10.1016/s0093 691x(99)00278 2. Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X99002782?via%3Dihub.
12. Trotskiy P. A. Cryopreservation of oocyte-cumulus complexes of cows with different bioactive substances / P. A. Trotskiy // Animal Breeding and Genetics. – 2018. - Vol. – 51. P. 255-260. DOI: 10.31073/abg.51.34.
13. Aldhaheri S. R. Dimercapto-1-propanesulfonic acid (DMPS) induces metaphase II mouse oocyte deterioration / S. R. Aldhaheri, R. Jeelani, H.-R. Kohan-Ghadr, S. N. Khan, S. Mikhael, C. Washington, H. M. Abu-Soud // Free Radical Biology and Medicine. - 2017 – Vol. 112. - P. 445–451. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.08.015.
14. Mohammadi Roushandeh A. The influence of meiotic spindle configuration by cysteamine during in vitro maturation of mouse oocytes / A. Mohammadi Roushandeh, M. Habibi Roudkenar // Iranian biomedical journal. – 2009. – Vol. 13(2). - P. 73-78.

REFERENCES

1. Jiang, H. Laminarin improves developmental competence of porcine early-stage embryos by inhibiting oxidative stress / Jiang H., Liang S., Yao X.R. [et al.] // Theriogenology. – 2018. - Vol. 115. – P. 38 – 44. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.04.019.
2. Ye R. Protective Effect of Icariin on the Development of Preimplantation Mouse Embryos against Hydrogen Peroxide-Induced Oxidative Injury / Ye R., Xu S., Liu Y. [et al.] //Oxidative medicine and cellular longevity. - Vol. 2017. – Iss. 2704532. doi: 10.1155/2017/2704532 Режим доступа: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5478867.
3. Khazaei M. Reactive oxygen species generation and use of antioxidants during in vitro maturation of oocytes / M. Khazaei, F. Aghaz // International journal of fertility & sterility. - 2017. – Vol. 11. – P. 63–70. doi: 10.22074/ijfs.2017.4995.
4. Artini P. G. Oxidative Stress-Related Signaling Pathways Predict Oocytes' Fertilization In Vitro and Embryo Quality / P. G. Artini, G. Scarfò, I. Marzi, [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2022. - Vol. 23. - № (21). – Iss. 13442. doi: 10.3390/ijms232113442. Режим доступа: https://www.mdpi.com/1422-0067/23/21/13442.
5. Torres-Osorio V. Oxidative stress and antioxidant use during in vitro mammal embryo production. Review / V. Torres-Osorio, R. Urrego, J. J. Echeverri-Zuluaga [et al.] //

Revista mexicana de ciencias pecuarias. – 2019. - Vol.10 - №2. - P. 433-459 https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4652. Режим доступа: https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4652.
6. Flohe L. Free Radicals in Biology. New York, 1982, 305 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-566505-6.X5001-7.
7. Yablokov V. E. Sorption preconcentration of cadmium and lead ions as complexes with unithiol on a silica surface modified by quaternary ammonium salt groups / V. E. Yablokov, N. V. Ishchenko, S. A. Alekseev // Journal of analytical chemistry. - 2013. - Vol. 68. - № 3. – P. 206-211. DOI: 10.7868/S0044450213030146 (In Russ.).
8. Zhorov G. A. The use of antioxidant sulfur-containing compounds as bioprotectors in free-radical processes and intoxications by heavy metals / G. A. Zhorov, P. N. Rubchenkov, L. L. Zakharova [et al.] // Russian journal problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology. – 2016. - Vol. (20). – P. 113-121 (In Russ.).
9. Grebenyuk, A. N. Toxicology and medical protection: textbook / A. N. Grebenyuk, N. V. Aksenova, A. E. Antushevich; edited by A. N. Grebenyuk. - St. Petersburg: FOLIANT, 2016. - 672 p (In Russ.).
10. Gilbert H. F. Thiol/disulfide exchange equilibria and disulfide bond stability / H. F. Gilbert // Methods in enzymology. – 1995. – Vol. 251. – P. 8-28. doi:10.1016/0076-6879(95)51107-5.
11. De Matos D. G., Furnus C. C. The importance of having high glutathione (GSH) level after bovine in vitro maturation on embryo development: Effect of β-mercaptoethanol, cysteine and cystine / D. G. De Matos, C. C. Furnus // Theriogenology. - 2000. – Vol. 53. – Iss. 3. – P. 761– 771. doi:10.1016/s0093 691x(99)00278 2. Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X99002782?via%3Dihub.
12. Trotskiy P. A. Cryopreservation of oocyte-cumulus complexes of cows with different bioactive substances / P. A. Trotskiy // Animal Breeding and Genetics. – 2018. - Vol. – 51. P. 255-260. DOI: 10.31073/abg.51.34.
13. Aldhaheri S. R. Dimercapto-1-propanesulfonic acid (DMPS) induces metaphase II mouse oocyte deterioration / S. R. Aldhaheri, R. Jeelani, H.-R. Kohan-Ghadr, S. N. Khan, S. Mikhael, C. Washington, H. M. Abu-Soud // Free Radical Biology and Medicine. - 2017 – Vol. 112. - P. 445–451. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.08.015.
14. Mohammadi Roushandeh A. The influence of meiotic spindle configuration by cysteamine during in vitro maturation of mouse oocytes / A. Mohammadi Roushandeh, M. Habibi Roudkenar // Iranian biomedical journal. – 2009. – Vol. 13(2). - P. 73-78.

УДК: 576.08; 577.21
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.445

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ВНЕКЛЕТОЧНОЙ ДНК ИЗ АНТРАЛЬНЫХ ОВАРИАЛЬНЫХ ФОЛЛИКУЛОВ *SUS SCROFA DOMESTICUS*

Кузьмина Т.И. – д-р биол. наук, проф., глав. науч. сотрудник, зав. лабораторией биологии развития (ORCID 0000-0002-4218-6080); **Притужалова А.О.** – науч. сотр. лаборатории биологии развития (ORCID 0000-0002-2865-9582); **Баранова Е.И.* –** лаборант-исследователь лаборатории биологии развития (ORCID 0009-0004-1980-9333)

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»

**elenabaranova666@gmail.com*

Ключевые слова: *фолликулярная жидкость, внеклеточная ДНК, клетки гранулезы, Sus scrofa domesticus, пикноз.*

Keywords: *follicular fluid, extracellular DNA, granulosa cells, Sus scrofa domesticus, pyknosis.*

Финансирование*: Материалы подготовлены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования (№ FGGN-2024–0014)*

Поступила: 06.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Оценка качества донорских ооцитов животных и их компетентности к оплодотворению является важной задачей в репродуктивной биотехнологии. Одним из перспективных неинвазивных биомаркеров, который может использоваться для вышеобозначенных целей, является внеклеточная ДНК (внДНК). Этот показатель активно исследуется в медицине, ориентированной на человека, однако его значение в оценке женских гамет продуктивных животных остается недостаточно изученным. В настоящем исследовании проведен анализ содержания внДНК в фолликулярной жидкости свиней, аспирированной из антральных овариальных фолликулов (диаметр >3мм, 3-5мм, <5мм), проанализировано влияние различных режимов центрифугирования на её выделение, а также оценена жизнеспособность клеток гранулезы (доля клеток с пикнотическими ядрами). Уровень клеток в состоянии пикноза определяли методом Тарковского, включающим гипотоническую обработку цитратом натрия, фиксацию уксусно-метанольной смесью и микроскопический анализ после окрашивания по Романовскому–Гимзе. Установлено, что концентрация внДНК в жидкости фолликулов изменяется в зависимости от их диаметра и режима центрифугирования. При увеличении ускорения центрифугирования наблюдалось снижение количества внДНК и рост доли клеток с пикнотическими ядра-

ми, что свидетельствует об их повреждении. Идентифицирован режим центрифугирования (603,72 g в течение 5 минут), обеспечивающий максимальный уровень содержания внДНК при минимальном количестве пикнотических клеток. Кроме того, полученные данные согласуются с гипотезой о том, что внДНК может служить индикатором клеточного стресса, что особенно важно при оценке качества биоматериала в условиях *in vitro*. Представленные результаты подчеркивают важность выбора параметров центрифугирования для эффективного выделения внДНК с целью ее дальнейшего изучения как потенциального биомаркера качества ооцитов и перспективного прогностического индикатора фертильности продуктивных животных.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Вспомогательные репродуктивные технологии занимают важное место в сохранении генетического разнообразия и воспроизводстве сельскохозяйственных животных. Оценка качества донорского ооцита и его компетентности к оплодотворению - важный этап клеточных репродуктивных технологий. В настоящее время при оценке женских гамет используют морфологические показатели клеток кумулюса и гранулезы, анализ гормонального статуса фолликулярной жидкости [1, 2, 3]. Вышеуказанные показатели не дают полного представления о степени компетентности женской гаметы к созреванию и оплодотворению. В связи с чем поиск биомаркеров, позволяющий оценивать их качество, продолжается. На сегодняшний день имеется информация о таком неинвазивном критерии качества женской гаметы, как циркулирующие свободные нуклеиновые кислоты (внДНК). Этот параметр в гуманной медицине рассматривается в качестве перспективного биомаркера женской фертильности при различных гинекологических и акушерских патологиях [4]. Он может иметь диагностическую ценность для выявления нарушений овариального резерва и оценки состояния фолликулярного микроокружения [5].

Внеклеточная ДНК (внДНК) представляет собой фрагменты генетического материала, находящиеся в крови, слюне, моче, спинномозговой, амниотической и семенной жидкостях. Ее количество и характеристика позволяют получать важные сведения о генетических изменениях и клеточном состоянии неинвазивным методом [6, 7]. Гипотеза клеточной гибели предполагает, что в процессе апоптоза и некроза происходит высвобождение ДНК [8]. Это объясняет наличие внеклеточной ДНК в виде мелких фрагментов, а также соответствует наблюдениям, что при состояниях, сопровождающихся гибелью клеток, уровень внДНК в крови возрастает. Однако, внДНК находится даже там, где не произошла массовая гибель клеток [9], что может быть следствием других процессов, в которые вовлечена внДНК: активное участие в процессе окислительного стресса клеток, перенос генетического материала в другие клетки, роль в качестве межклеточного мессенджера [10, 11]. Молекулы внДНК различаются по источникам и механизмам образования, длине фрагментов, видам циркуляции и модификациям [12, 13, 14, 15]. Концентрация внДНК в биологических жидкостях пациентов с онкологическими заболеваниями оценивается в три раза выше, чем у здоровых людей [16, 17, 18]. Внеклеточная ДНК выявлена при гипертонии [19], болезнях Паркинсона и Альцгеймера [20] и ряде аутоиммунных заболеваниях [21]. В связи с уже имеющимися данными о содержании внДНК в различных биологических жидкостях, исследование внДНК в фолликулярной жидкости рассматривается как перспективный неинвазивный метод оценки качества женских гамет продуктивных животных. Фолликулярная жидкость – сложная биологическая среда, содержащая в себе множество компонентов, способных выступать прогностическим признаком качества ооцита, циркулирующая в ней внДНК может служить потенциальным биомаркерам фертильности [22, 23]. Присутствие внеклеточной ДНК в фолликулярной жидкости

связано с апоптозом и некрозом клеток, окружающих развивающийся ооцит по мере роста фолликула [24]. В этом аспекте уровень внеклеточной ДНК может выступать дополнительным индикатором характера влияния гонадотропной стимуляции на процессы фолликулогенеза и оогенеза [5]. Информация о внДНК в фолликулярной жидкости и ее связь с качеством ооцитов крайне ограничена, и в основном такие исследования относятся к области вспомогательных репродуктивных технологий у женщин [3, 23]. Наличие единичных данных о концентрации внДНК в фолликулярной жидкости крупного рогатого скота и свиней не предоставляют достаточно информации для понимания степени её влияния на ооциты, методические подходы к выделению внеклеточной ДНК из фолликулярной жидкости свиней не разработаны, а сведения о различиях её содержания в фолликулах различного диаметра отсутствуют [25]. В связи с вышеизложенным, актуальным представляется вопрос о роли внеклеточной ДНК и её значении в динамике фолликулогенеза.

Цель настоящего исследования – адаптация этапов методологии выделения внДНК в фолликулярной жидкости овариальных фолликулов *Sus scrofa domesticus* путем выявления оптимальных режимов и продолжительности центрифугирования с учетом показателя уровня клеток гранулезы с дегенерированным хроматином и концентрации внДНК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В экспериментах использовали постмортальные яичники свинок породы ландрас (возраст 5-8 месяцев), полученные на мясокомбинате "Тосненский" с последующей их транспортировкой в физиологическом растворе (t 37°C). Для исследований отбирали яичники на стадии фолликулярного роста, без видимых патоло-

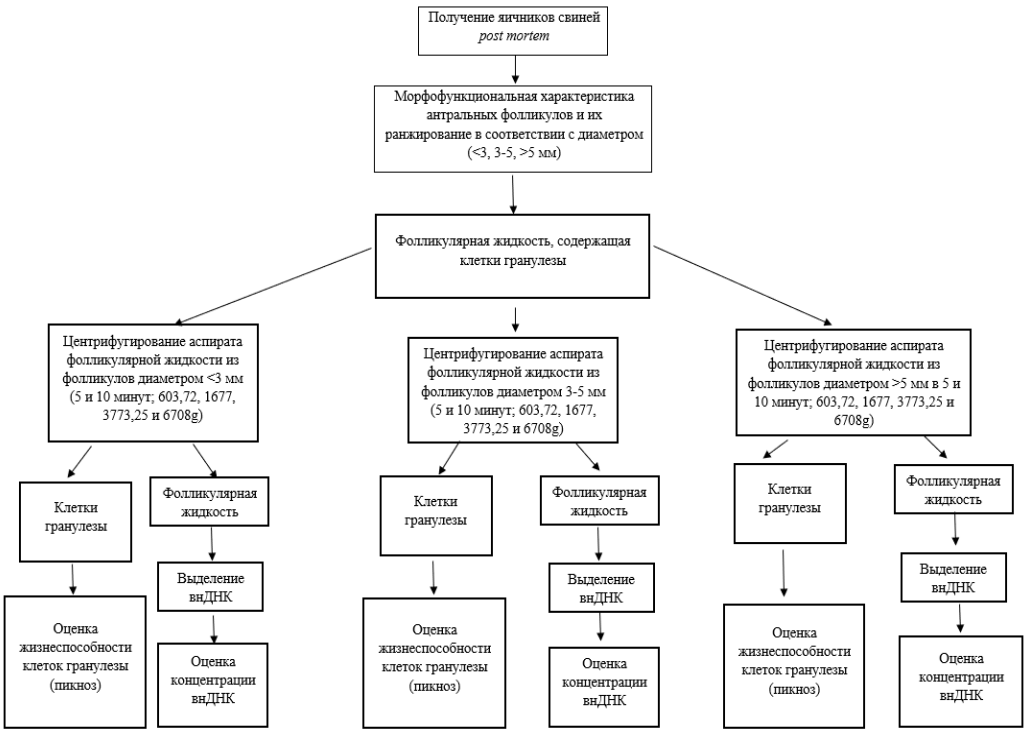


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема эксперимента.

гических изменений. Фолликулярную жидкость и клетки гранулезы аспирировали из 10–15 фолликулов каждого яичника, ранжируя их в группы по диаметру (ø <3, 3–5, 5–8 мм) после чего центрифугировали при следующих режимах: 5 и 10 минут при 603,72, 1677, 3773,25 и 6708 g. Полученный осадок, содержащий клетки гранулезы, суспендировали в PBS для дальнейшего цитологического исследования (пикноз). Супернатант отбирали для последующей оценки концентрации внДНК с помощью набора QuDye dsDNA HS для определения количества двухцепочечной ДНК (Lumiprobe). Полученные образцы внДНК анализировали на флуориметре Qubit 3.0 (Thermo Fisher Scientific).

Определение доли пикнотичесчких клеток проводили по методу Тарковского [26]. Клетки гранулезы выдерживали в гипотоническом растворе цитрата натрия в течение 4 минут, после чего фиксировали раствором ледяной уксусной кислоты и метилового спирта (в соотношении 1:3). Высохшие суховоздушные препараты образцов клеток гранулезы окрашивали 4% раствором Романовского–Гимзе (азур -эозином) в течение 3–4 мин., после чего промывали стекла проточной водой, сушили на воздухе, а затем исследовали с помощью масляных импрессий под увеличением x900 на микроскопе Axio Imager A1, Carl Zeiss (Германия).

Схема эксперимента представлена на Рис.1.

Результаты обрабатывали с помощью статистической программы Excel. Достоверность исследуемых средних значений оценивали с помощью критерия x2 и критерия Стьюдента при трех уровнях значимости: p <0,05, p <0,01, p <0,001.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты экспериментов по отработке режимов центрифугирования жидкости из фолликулов разного диаметра представлены на рисунке 2, при центрифугировании 603,72 g в течение 5 минут содержание внДНК в фолликулах ø <3 мм оказалось значительно выше, чем в фолликулах ø 3–5 мм (на 4,99 нг/мкл, p <0,001) и ø >5 мм (на 8,25 нг/мкл, p <0,05). Указанная тенденция сохранялась по мере увеличения числа оборотов (8,37 нг/мкл при 1677g, 9,05 нг/мкл при 3773,25g и 10,01 нг/мкл при 6708 g, в течение 5 минут). При этом, внутри каждой группы, ранжированной по диаметру фолликулов, наблюдались достоверные отличия в уровне внДНК по мере изменения режима центрифугирования. В группах ø <3 мм центрифугирование при 603,72 g показало более высокую концентрацию внДНК в ФЖ в сравнении с группами, центрифугированными при 1677, 3773,25 и 6708 g (на 3,23, 2,55 и 1,5 нг/мкл соответственно, p <0,001). Следует отметить, что в жидкости из фолликулов <3 мм, центрифугированной при 6708 g, уровень внДНК был ниже, чем при использовании режимов ускорения 1677 и 3773,25 g (на 1,64 и 0,96 нг/мкл, p <0,001; p <0,05). В группе, содержащей жидкость, аспирированную из фолликулов ø 3-5 мм, также наблюдали снижение уровня внДНК в фолликулярной жидкости, отцентрифугированной при 6708 g в сравнении с режимами центрифугирования 1677 и 3773,5 g (на 1,38 и 2,61 нг/мкл, p <0,01). В образцах, содержащих жидкость из фолликулов ø >5 мм, была выявлена достоверная разница между группами жидкости фолликулов, отцентрифугированных при 1677 и 3773,25 g с увеличением в отношении второй на 1,09 нг/мкл, (p <0,001, Рис. 2). В вышеобозначенной группе фолликулов в результате центрифугирования при 6708 g также наблюдали минимальную концентрацию внДНК в сравнении с другими режимами центрифугирования (на 1,67 нг/мкл в сравнении с центрифугированием при 603,72 g, на 1,32 нг/мкл при 1677 g, и на 2,41 нг/мкл в сравнении с 3773,25 g, p <0,001, Рис.2).

Увеличение времени центрифугирования до 10 минут при тех же скоростных режимах демонстрирует схожую тенденцию с предыдущим показателем длительности центрифугирования, но с некоторыми изменениями.

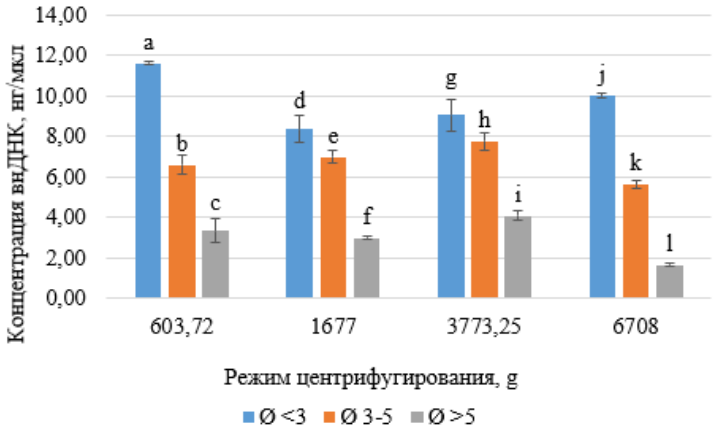


Рисунок 2 – Влияние режимов центрифугирования аспирата жидкости овариальных фолликулов разного диаметра на содержание внДНК (в течение 5 минут). $^{a:c,\ a:d;\ a:g;\ a:j;\ e:f,\ d:f,\ h:i,\ i:g,\ j:k,\ k:l,\ g:j;\ f:i;f:l;\ h:k;\ i\ l;\ j:l}$ *– p < 0,001;* $^{b:c,\ d:e,\ e:k}$ *– p< 0,01;* $^{a:b;\ d:j;\ c:l}$ *– p < 0,05. (Student's t-test).*

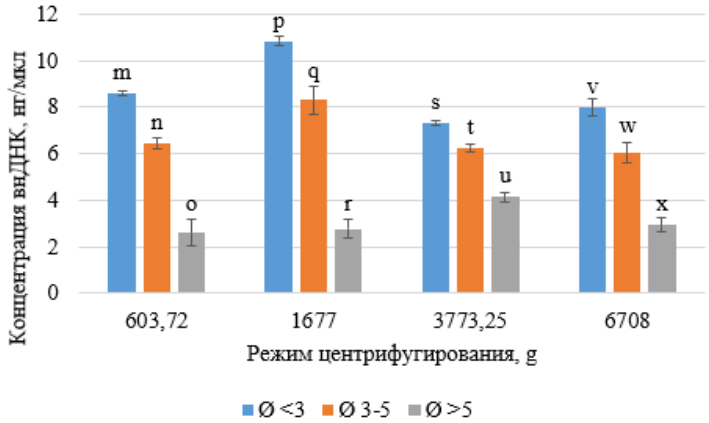


Рисунок 3 – Влияние режимов центрифугирования аспирата жидкости овариальных фолликулов разного диаметра на содержание внДНК (в течение 10 минут). $^{m:n,\ m:o,\ m:p,\ m:s,\ q:r,\ r:p,\ p:s,\ p:v,\ s:t\ ,\ t:u,\ u:s,\ w:x,\ x:v}$ *– p < 0,001;* $^{p:q,\ v:w,\ q:w}$ *– p< 0,01;* $^{n:q,\ q:t,\ o:u,\ r:u,\ u:x}$ *– p < 0,05. (Student's t-test).*

Достоверные отличия между временем центрифугирования по рис. 2 и рис. 3: $^{a:m,\ j:v}$ *– p <0,001;* $^{d:p,\ h:t}$ *- p <0,01;* $^{l:x}$ *– p <0,05.*

Согласно данным, представленным на рисунке 3, содержание внДНК в фолликулах ø <3 мм при увеличении времени центрифугирования до 10 минут составило 8,6 нг/мкл при 603,72 g, 10,84 нг/мкл при 1677 g, 7,35 нг/мкл при 3773,25 g и 7,99 нг/мкл при 6708 g, что значительно выше как уровня внДНК в жидкости фолликулов ø 3-5 мм (на 2,17, 2,53, 1,1 и 1,96 нг/мкл, p < 0.001), так и в жидкости фолликулов ø >5 мм (на 6, 8,08, 3,21 и 5,05 нг/мкл, p < 0,001) при одинаковых скоростях центрифугирования. Однако, при увеличении времени центрифугирования до 10 минут наблюдали изменения в соотношении уровня внДНК в жидкости из фолликулов одинакового диаметра в зависимости от числа оборотов. Так, в ФЖ из фол-

ликулов ø <3 мм наблюдался рост уровня внДНК при увеличении оборотов от 603,72 до 1677 g (на 2,24 нг/мкл, p <0,001) и от 603,72 до 3773,25 g (на 1,25 нг/мкл, p <0,001). Схожую тенденцию наблюдали при увеличении числа оборотов при центрифугировании с 1677 до 3773,25 g (на 3,49 нг/мкл, p <0,001) и с 1677 до 6708 g (на 2,85 нг/мкл, p <0,001). В результате оценки уровня содержания внДНК в жидкости, аспирированной из фолликулов ø 3-5 мм, обнаружено, что при центрифугировании образцов с использованием режима ускорения - 1677 g, содержание внДНК увеличивается в сравнении с центрифугированием при 603,72 g (на 1,88 нг/мкл, p < 0,05), при 3773,25 g - на 2,06 нг/мкл (p < 0,05) и при 6708 g - на 2,28 нг/мкл (p < 0,05). В ФЖ из фолликулов ø >5 мм максимальная концентрация внДНК (4,14 нг/мкл), выявлена после центрифугировании при 3773,25 g, в течение 10 минут, что значительно выше на 1,54 нг/мкл, чем после центрифугирования при 603,72 g (p < 0,05), на 1,38 нг/мкл чем при 1677 g (p < 0,05) и на 1,2 нг/мкл при 6708 g (p < 0,05). Результаты, представленные на графике, показали значительное снижение концентрации внДНК по мере роста фолликулов при увеличении ускорения от 1677 g до 3773,25 g: на 3,49 нг/мкл в ФЖ из фолликулов ø <3 мм, на 2,06 нг/мкл в фолликулах ø 3-5 мм. Однако, в фолликулах ø >5 мм уровень внДНК, наоборот, оказался выше на 1,38 нг/мкл (p <0,05). Увеличение времени центрифугирования до 10 минут при тех же оборотах показало снижение концентрации внДНК в ФЖ, полученной из фолликулов ø <3 мм при ускорении 603,72 g (на 3 нг/мкл, p < 0,001) при 6708 g (на 2,02 нг/мкл, p < 0,001), из фолликулов ø 3-5 мм при 3773,25 g (на 1,52 нг/мкл, p < 0,01). После 10 минут центрифугирования в сравнении с 5 мин наблюдался рост внДНК в ФЖ, полученной из фолликулов ø <3 мм после центрифугирования при 1677 g на 2,47 нг/мкл (p < 0,01) и в ФЖ из фолликулов ø >5 мм при 6708 g – на 1,26 нг/мкл (p <0,05).

Разница в режимах ускорения и времени центрифугирования оказывает существенное влияние на показатели жизнеспособности гранулезных клеток, вызывая повреждения, инициирующее клеточную гибель. Для выявления характера влияния вышеуказанных факторов в нашем исследовании был оценен статус хроматина (уровень пикноза) в гранулезных клетках при различных режимах центрифугирования.

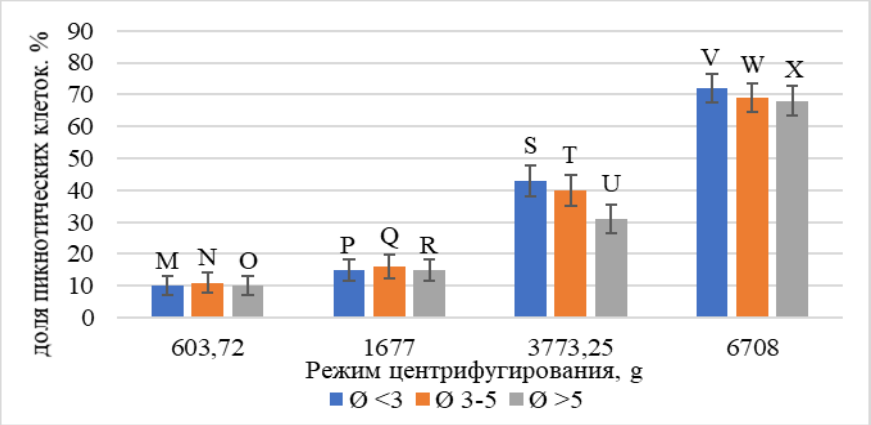


Рисунок 4 – Влияние режимов центрифугирования аспирата жидкости овариальных фолликулов на статус хроматина гранулезных клеток Sus scrofa domesticus (время центрифугирования 5 минут).
M:S, M:V, N:T, N:W, O:U, O:X, P:S, P:V, Q:T, Q:W, R:U, R:X, S:V, T:W, U:X - p < 0,001.

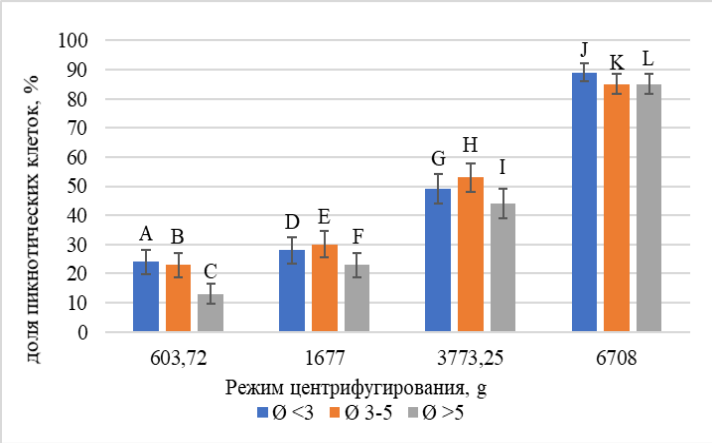


Рисунок 5 – Влияние режимов центрифугирования аспирата жидкости овариальных фолликулов на статус хроматина гранулезных клеток Sus scrofa domesticus (время центрифугирования 10 минут).

$^{A:J,\ B:H,\ B:K,\ C:I,\ C:K,\ C:L,\ D:J,\ F:L,\ G:J,\ H:K,\ I:L}$ - $p < 0,001$ $^{A:G,\ D:G,\ E:K,\ F:I}$ – $p<0,01$ $^{A:C,\ E:H}$ – $p < 0,05$

Достоверные отличия между временем центрифугирования по рис. 4 и рис. 5: $^{A:M,\ J:V,\ K:W,\ L:X}$ – $p<0,01$ $^{B:N,\ D:P,\ E:Q}$ – $p < 0,05$.

Результаты анализов по влиянию режимов центрифугирования на деструктивные изменения хроматина в клетках гранулезы свиней представлены на рис.4. После 5 минут центрифугирования доля клеток гранулезы с пикнотическими ядрами, независимо от диаметра содержащих их фолликулов, оставалась на низком уровне при ускорении 603,72 и 1677 g. Значительный рост доли пикнотических клеток наблюдали внутри каждой группы фолликулов исследованных размеров по мере увеличения ускорения. Так, при скорости центрифугирования 3773,25 g в группе фолликулов ø <3 мм наблюдали увеличение доли пикнотических клеток на 33% в сравнении с ускорением 603,72 g ($p <0,001$) и на 28% в сравнении с 1677 g ($p <0,001$); в группе фолликулов - ø 3-5 мм на 29% в сравнении с 603,72 g ($p <0,001$) и на 24% в сравнении с 1677 g ($p <0,001$); в популяции клеток из фолликулов ø >5 мм – на 21% в сравнении с 603,72 g ($p <0,001$) и на 16% в сравнении с 1677 g ($p <0,01$). Тенденция к повышению доли пикнотических клеток приобретала более выраженный характер при увеличении оборотов до 6708 g: в гранулезных клетках из фолликулов диаметром ø <3, 3 -5 и >5 мм этот показатель достигал 72%, 69% и 68% соответственно.

Согласно результатам, представленным на рисунке 5, в наших экспериментах при увеличении времени центрифугирования до 10 минут и разных режимах ускорения достоверных различий в соотношении групп клеток в состоянии пикноза из ФЖ фолликулов разного диаметра не обнаружено. Однако тенденция роста деструктивных изменений структуры хроматина в клетках гранулезы из фолликулов исследованных диаметров сохранялась. При центрифугировании КГ из фолликулов ø <3 мм при 603,72 g уровень пикнотических клеток был ниже в сравнении с клетками гранулезы после центрифугирования при 3773,25 g (на 25%, $p <0,001$) и на 65%, ($p <0,001$) после центрифугировании при 6708 g. КГ, полученные из фолликулов ø 3–5 мм имели самый низкий процент пикнотических клеток также после центрифугирования при ускорения 603,72 g, что оказалось ниже, чем при 3773,25 g (на 30%, $p <0,001$) и

6708 g (на 62%, p <0,001). В образцах КГ, выделенных из фолликулов ø >5 мм обнаружен самый низкий уровень пикнозов после центрифугирования при ускорении 603,72 g и значительно ниже группы клеток, центрифугированной при 3773,25 g (на 31%, p <0,001) и 6708 g (на 72%, p <0,001). Увеличение времени центрифугирования инициировало рост клеток с пикнотическими ядрами во всех исследуемых группах при тех же режимах центрифугирования. Так, в КГ из фолликулов ø <3 мм при увеличении времени центрифугирования до 10 минут значительно возрастала доля клеток в состоянии пикноза: после центрифугирования при 603,72 g на 14% (p <0,01), при 1677 g на 13% (p <0,05) и при 6708 g на 17%, (p <0,01). В клетках, полученных из ФЖ фолликулов ø 3-5 мм, после центрифугировании в течение 10 минут обнаружено повышение доли пикнотических клеток по сравнению с 5 минутами: при ускорении 603,72 g – на 12% (p <0,05), при 1677 g - на 30% (p <0,05) и при 6708 g на 16%, (p <0,01). В образцах клеток из фолликулов ø >5 мм, при увеличении времени центрифугирования наблюдали достоверные различия в уровне пикнотических клеток только при ускорении 6708 g (на 17%) в сравнении с 5 минутным центрифугированием (p <0,01). С увеличением времени центрифугирования до 10 минут в сравнении с 5минутами, достоверных различий в доле клеток с пикнотическими ядрами из фолликулов всех исследуемых размеров при 3773,25 g не обнаружено.

Повышенное содержание внДНК в жидкости фолликулов ø <3 мм наблюдалось независимо от времени и скорости центрифугирования, что может быть связано с деструктивными процессами на ранних этапах фолликулогенеза, когда в клетках гранулезы активируются апоптотические механизмы, инициирующие атретические процессы в фолликулах [27, 28, 29, 30, 31]. В процессе роста фолликулов клетки гранулезы активно коммуницируют, по мере их развития наблюдается сокращение количества соматических клеток, что связано со снижением пролиферативной активности, и, вероятно, влечет снижение содержания внДНК в фолликулах диаметром> 5 мм. При центрифугировании аспирата с ускорением 603,72 g в течение 5 минут выявлен минимальный процент клеток гранулезы с деструктивными изменениями хроматина. Дальнейшее повышение ускорения оборотов центрифугирования сопровождается риском механического повреждения клеточных структур, что, в свою очередь, может способствовать увеличению доли клеток, находящихся в состоянии пикноза. Как показывают полученные данные, при повышении оборотов (до 3773,25 g и 6708 g) происходит углубление процессов повреждения структуры клеток, что, хотя и увеличивает долю клеток в состоянии пикноза, однако не приводит к такой высокой концентрации внДНК, как при 603,72 (5 мин) и 1677 g (10 мин). Последнее свидетельствует о возможном осаждении фрагментов ДНК, вышедших их клеток, поврежденных при повышении режимов центрифугирования. Сокращение времени частично снижает негативное влияние высоких режимов центрифугирования, однако тенденция к уменьшению жизнеспособности клеток при повышении g сохраняется, что указывает на то, что продолжительность центрифугирования также является важным фактором, влияющим на сохранность соматических клеток. Центрифугирование при 3773,25 g и 6708 g оказывает выраженное повреждающее воздействие, вне зависимости от времени. Последнее подтверждается высоким процентом пикнотических клеток в образцах при использовании обоих временных режимов.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Отработаны этапы методологии получения внДНК и клеток гранулезы *Sus scrofa domesticus* из антральных овариальных фолликулов (ø <3, 3-5 и >5 мм). Содержание внДНК в фолликулах разного диаметра составило, соответственно: в фолликулах диаметром <3 мм – 11.6 нг/мкл, диаметром 3-5 мм – 6.61 нг/мкл, диаметром >5 мм – 3,35 нг/мкл. Высокий

уровень внДНК и низкие уровни пикнотических клеток, выявленных при центрифугировании с ускорением 603,72 g в течение 5 минут, позволяют рекомендовать данный режим, как оптимальный для центрифугирования аспирата жидкости фолликулов диаметром <3, диаметром 3-5 и диаметром >5 мм, т. к. дальнейшее увеличение числа оборотов и времени центрифугирования повышает концентрацию внДНК, обусловленное, по-видимому, углублением деструктивных процессов в клетках гранулезы (увеличение доли клеток с ядрами в состоянии пикноза), что может свидетельствовать о повреждении клеток, и, как следствие, выходе ДНК во внеклеточное пространство.

TO THE TECHNIQUE OF EXTRACELLULAR DNA ISOLATION OBTAINED FROM FOLLICLES OF DIFFERENT DIAMETERS OF SUS SCROFA DOMESTICUS

Kuzmina T.I. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Developmental Biology, (ORCID 0000-0002-4218-6080); **Prituzhalova A.O.** – Researcher, Laboratory of Developmental Biology (ORCID 0000-0002-2865-9582); **Baranova E.I.** – Research Assistant at the Developmental Biology Laboratory (ORCID 0009-0004-1980-9333).

The All-Russian Scientific Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center of Animal Husbandry named after Academician L. K. Ernst

**elenabaranova666@gmail.com*

Financing: *The materials were prepared within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education (No. FGGN-2024–0014)*

ABSTRACT

Assessment of the quality of animal donor oocytes and their competence for fertilization is an important task in reproductive biotechnology. Extracellular DNA is one of the promising noninvasive biomarkers that can be used for the above purposes. This indicator is actively being investigated in human-oriented medicine, but its significance in assessing the female gametes of productive animals remains poorly understood. The present study analyzes the content of cDNA in pig follicular fluid aspirated from antral ovarian follicles (diameter 3mm, 3-5mm, <5mm), analyzes the effect of various centrifugation modes on its isolation, and evaluates the viability of granulosa cells (proportion of cells with pycnotic nuclei). The level of cells in a state of pyknosis was determined by the Tarkovsky method, which included hypotonic treatment with sodium citrate, fixation with an acetic-methanol mixture, and microscopic analysis after Romanovsky–Giemse staining. It was found that the concentration of cDNA in the follicle fluid varies depending on their diameter and mode of centrifugation. With an increase in the acceleration of centrifugation, a decrease in the amount of cDNA and an increase in the proportion of cells with pycnotic nuclei were observed, which indicates their damage. The centrifugation mode (603.72 g for 5 minutes) was identified, providing the maximum level of cDNA content with a minimum number of pycnotic cells. In addition, the data obtained is consistent with the hypothesis that cDNA can serve as an indicator of cellular stress, which is especially important when assessing the quality of biomaterials in vitro. The presented results emphasize the importance of choosing the parameters of centrifugation for the effective isolation of cDNA to further study it as a potential biomarker of oocyte quality and a promising predictive indicator of fertility in productive animals.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Сафронова Н.А., Калинина Е.А., Донников А.Е., Бурменская О.В., Макарова Н.П., Кулакова Е.В., Алиева К.У. Перспективы исследования маркеров клеток кумулюса для оценки качества ооцитов и эмбрионов в программах вспомогательных репродуктивных технологий // Акушерство и гинекология. – 2015. – № 12.

2.Станиславович Т. И., Кузьмина Т. И.,

Молчанов А. В. Оценка деструктивных процессов хроматина гранулезных клеток овариальных фолликулов коров и функциональный статус ооцита // Аграрный вестник Урала. 2019. № 12 (191) С. 60–64. DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-60-64.

3.Гапоненко А.А., Митюрина Е.В., Франкевич В.Е. Метаболомный профиль фолликулярной жидкости как маркер качества ооцитов // Акушерство и гинекология. – 2021. – № 11. – С. 26–31. DOI:10.18565/aig.2021.11.26-31.

4.Scalici E, Mulet T, Ferrier Hoa A, et al. Circulating nuclear acids and infertility. Gynecol Obstet Fertil. 2015; DOI: 10.1016/j.gyobfe.2015.07.016.

5.Андреева Е. А., Хонина Н. А., Демченко Е. Н., Гаврилова Е. Д., Пасман Н. М., Козлов В. А., Черных Е. Р. Свободная ДНК в фолликулярной жидкости у женщин с различными показателями овариальной функции. Бюллетень сибирской медицины. 2019; 18 (2): 16–23. DOI: 10.20538/1682-0363-2019-2-16-23

6.De Borre M, Che H, Yu Q, et al. Cell-free DNA methylome analysis for early preeclampsia prediction. Nat Med. 2023;29 (9):2206-15. DOI:10.1038/s41591-023-02510-5.

7.Adil, M., Kolarova, T.R., Doebley, AL. et al. Preeclampsia risk prediction from prenatal cell-free DNA screening. Nat Med (2025). DOI:10.1038/s41591-025-03509-w

8.Stroun M, Lyautey J, Olson-Sand A, Anker P. 2001. About the possible origin and mechanism of circulating DNA. Apoptosis and active DNA release. Clin Chim Acta. 313(1–2):139–142. DOI:10.1016/s0009-8981(01)00665-9.15

9.Aucamp J, Bronkhorst AJ, Badenhorst CPS, Pretorius PJ. 2018. The diverse origins of circulating cell-free DNA in the human body: a critical re-evaluation of the literature. Biol Rev Camb Philos Soc. 93(3):1649, 168. DOI: 10.1111/BRV.12413.

10. Fernández-Domínguez, I. J., Manzo-Merino, J., Taja-Chayeb, L., Dueñas-González, A., Pérez-Cárdenas, E., amp; Trejo-Becerril, C. The role of extracellular DNA (exDNA) in cellular processes. Cancer Biology & Therapy, 22(4), 267–278. Fernández-Domínguez, I. J., Manzo-Merino, J., Taja-Chayeb, L., Dueñas-González, A., Pérez-Cárdenas, E., amp; Trejo- Becerril, C. (2021). The role of extracellular DNA (exDNA) in cellular processes. Cancer Biology amp; Therapy, 22(4), 267–278. DOI:10.1080/15384047.2021.1890319

11. Keeling PJ, Palmer JD. 2008. Horizontal gene transfer in eukaryotic evolution. Nat Rev Genet. 9(8):605–618. DOI: 10.1038/nrg2386.

12. Kustanovich A, Schwartz R, Peretz T, Grinshpun A. Life and death of circulating cell-free DNA. Cancer Biol Ther. 2019;20 (8):1057–1067.
DOI:10.1080/15384047.2019. 1598759.

13. Костюк С.В. Роль внеклеточной ДНК в функциональной активности генома человека // Вестник РАН. – 2010. – Т. 80, № 9. – С. 746–752.

14. McCarthy C. G., Wenceslau C. F., Goulopoulou S., Ogbi S., Baban B., Sullivan J. C., et al. (2015). Circulating mitochondrial DNA and Toll-like receptor 9 are associated with vascular dysfunction in spontaneously hypertensive rats. Cardiovasc. Res. 107 119–130. DOI: 10.1093/cvr/cvv137

15. Rykova E, Morozkin E, Ponomaryova A, Loseva E, Zaporozhchenko I, Cherdyntseva N, Vlassov V, Laktionov P. 2012. Cell-free and cell-bound circulating nucleic acid complexes: mechanisms of generation, concentration and content. Expert Opin Biol Ther. 12(Suppl sup1):S141–S153. DOI:10.1517/14712598.2012.673577.

16. Thierry AR, El Messaoudi S, Gahan PB, Anker P, Stroun M. 2016. Origins, structures, and functions of circulating DNA in oncology. Cancer Metastasis Rev. 35(3):347–376. DOI:10.1007/s10555-016-9629-x.

17. Wang W, Kong P, Ma G, Li L, Zhu J, Xia T, Xie H, Zhou W, Wang S. 2017. Characterization of the release and biological significance of cell-free DNA from breast cancer cell lines. Oncotarget. 8(26):43180–43191. DOI: 10.18632/oncotarget.17858.

18. Sato Y, Matoba R, Kato K. 2019. Recent advances in liquid biopsy in precision oncology research. Biol Pharm Bull. 42(3):337–342. DOI: 10.1248/bpb.b18-00804.13

19. McCarthy C. G., Wenceslau C. F., Goulopoulou S., Ogbi S., Baban B., Sullivan J. C., et al. (2015). Circulating mitochondrial DNA and Toll-like receptor 9 are associated with vascular dysfunction in spontaneously hypertensive rats. Cardiovasc. Res. 107 119–130. DOI:10.1093/cvr/cvv137
20. Lowes H., Pyle A., Santibanez-Koref M., Hudson G. (2020). Circulating cell-free mitochondrial DNA levels in Parkinson's disease are influenced by treatment. Mol. Neurodegener. 15:10. DOI: 10.1186/s13024-020-00362-y
21. Vakrakou A. G., Boiu S., Ziakas P. D., Xingi E., Boleti H., Manoussakis M. N. (2018). Systemic activation of NLRP3 inflammasome in patients with severe primary Sjögren's syndrome fueled by inflammagenic DNA accumulations. J. Autoimmun. 91 23–33. DOI: 10.1016/j.jaut.2018.02.010
22. Scalici E., Mulet T., Ferrier Hoa A., Gala A., Lu V., Anahori T. et al. Circulating nuclear acids and infertility. Gynecol Obstetric Fertil. 2015; 43:593-8. DOI: 10.1016/j.gyobfe.2015.07.016.
23. Traver S, Scalici E, Mullet T, Molinari N, Vincens C, Anahory T, Hamamah S. Cell-free DNA in Human Follicular Microenvironment: New Prognostic Biomarker to Predict in vitro Fertilization Outcomes PLoS ONE. 2015;10(8):e0136172. DOI: 10.1371/journal.pone.0136172.
24. Guan Y., Zhang W., Wang X., Cai P., Jia Q., Zhao W. Cell-free DNA induced apoptosis of granulosa cells by oxidative stress. Clin. Chim. Acta. 2017; 473: 213–217. DOI: 10.1016/j.cca.2016.11.023.
25. Ichikawa K., Shibahara H., Shirasuna K., Kuwayama T., Iwata H. Cell-free DNA content in follicular fluid: a marker for the developmental ability of porcine oocytes. Reproductive Medicine and Biology. 2019. Vol. 19. P. 95-103. DOI: 10.1002/rmb2.12309.
26. Tarkowski AK. An air-drying method for chromosome preparation from mouse eggs. Cytogenetics. 1966;5(3):394-400. DOI:10.1159/000129914
27. Woodruff TK, Shea LD. The role of the extracellular matrix in ovarian follicle development. Reprod Sci. 2007 Dec;14(8 Suppl):6-10. DOI: 10.1177/1933719107309818.
28. Liu Z, Li F, Xue J, Wang M, Lai S, Bao H, He S. Esculentoside A rescues granulosa cell apoptosis and folliculogenesis in mice with premature ovarian failure. Aging (Albany NY). 2020 Aug 5;12(17):16951-16962. DOI: 10.18632/aging.103609. Epub 2020 Aug 5.
29. Xie J, Xu X, Liu S. Intercellular communication in the cumulus-oocyte complex during folliculogenesis: A review. Front Cell Dev Biol. 2023 Jan 19; 11:1087612. DOI: 10.3389/fcell.2023.1087612.
30. Avalos PN, Wong LL, Forsthoefel DJ. Extracellular vesicles promote proliferation in an animal model of regeneration. bioRxiv [Preprint]. 2024 Mar 27:2024.03.22.586206. DOI: 10.1101/2024.03.22.586206.
31. Chaves MA, Ferst JG, Fiorenza MF, Vit FF, da Silveira JC. The Influence of Ovarian-Derived Extracellular Vesicles in Reproduction. Adv Anat Embryol Cell Biol. 2025 Jan 1. DOI: 10.1007/102_2024_9.

REFERENCES

1. Safronova N.A., Kalinina E.A., Donnikov A.E., Burmenskaya O.V., Makarova N.P., Kulakova E.V., Alieva K.U. Prospects for studying cumulus cell markers to assess the quality of oocytes and embryos in assisted reproductive technology programs // Obstetrics and Gynecology. – 2015. – № 12. (In Russ.)
2. Stanislavovich T. I., Kuzmina T. I., Molchanov A. V. Assessment of the Destructive Processes of Chromatin in Granular Cells of Ovarian Follicles in Cows and the Functional Status of the Oocyte // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 12 (191). Pp. 60–64. DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-60-64. (In Russ.)
3. Gaponenko A.A., Mityurina E.V., Frankevich V.E. The metabolic profile of follicular fluid as a marker of oocyte quality // Obstetrics and Gynecology. – 2021. – No. 11. – pp. 26-31. DOI:10.18565/aig.2021.11.26-31. (In Russ.)
4. Scalici E., Mulet T., Ferrier Hoa A., Gala A., Lu V., Anahori T. et al. Circulating nuclear acids and infertility. Gynecol Obstetric Fertil. 2015; DOI:10.18565/

aig.2021.11.26-31. (in French)
5. Andreeva E.A., Honina N.A., Demchenko E.N., Gavrilova E.D., Pasman N.M., Kozlov V.A., Chernykh E.R. Free DNA in follicular fluid in women with different indicators of ovarian function. Bulletin of Siberian medicine. 2019; 18 (2): 16–23. DOI: 10.20538/1682-0363-2019-2-16-23 (In Russ.)
6. De Borre M, Che H, Yu Q, et al. Cell-free DNA methylome analysis for early preeclampsia prediction. Nat Med. 2023;29 (9):2206-15. DOI:10.1038/s41591-023-02510-5 (in English)
7. Adil, M., Kolarova, T.R., Doebley, AL. et al. Preeclampsia risk prediction from prenatal cell-free DNA screening. Nat Med (2025). DOI:10.1038/s41591-025-03509-w (in English)
8. Stroun M, Lyautey J, Olson-Sand A, Anker P. 2001. About the possible origin and mechanism of circulating DNA. Apoptosis and active DNA release. Clin Chim Acta. 313(1–2):139–142. DOI:10.1016/s0009-8981(01)00665-9.15 (in English)
9. Aucamp J, Bronkhorst AJ, Badenhorst CPS, Pretorius PJ. 2018. The diverse origins of circulating cell-free DNA in the human body: a critical re-evaluation of the literature. Biol Rev Camb Philos Soc. 93(3):1649, 168. DOI: 10.1111/BRV.12413. (in English)
10. Fernández-Domínguez, I. J., Manzo-Merino, J., Taja-Chayeb, L., Dueñas-González, A., Pérez-Cárdenas, E., amp; Trejo-Becerril, C. The role of extracellular DNA (exDNA) in cellular processes. Cancer Biology; Therapy, 22(4), 267–278. Fernández-Domínguez, I. J., Manzo-Merino, J., Taja-Chayeb, L., Dueñas-González, A., Pérez-Cárdenas, E., amp; Trejo- Becerril, C. (2021). The role of extracellular DNA (exDNA) in cellular processes. Cancer Biology amp; Therapy, 22(4), 267–278. DOI:10.1080/15384047.2021.1890319 (in English)
11. Keeling PJ, Palmer JD. 2008. Horizontal gene transfer in eukaryotic evolution. Nat Rev Genet. 9(8):605–618. DOI: 10.1038/nrg2386. (in English)
12. Kustanovich A, Schwartz R, Peretz T, Grinshpun A. Life and death of circulating cell-free DNA. Cancer Biol Ther. 2019;20 (8):1057–1067. DOI:10.1080/15384047.2019. 1598759. (in English)
13. Kostyuk S. V. The role of extracellular DNA in the functional activity of the human genome // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. - 2010. — Vol.80, No. 9. — pp. 746-752. (In Russ.)
14. McCarthy C. G., Wenceslau C. F., Goulopoulou S., Ogbi S., Baban B., Sullivan J. C., et al. (2015). Circulating mitochondrial DNA and Toll-like receptor 9 are associated with vascular dysfunction in spontaneously hypertensive rats. Cardiovasc. Res. 107 119–130. DOI: 10.1093/cvr/cvv137 (in English)
15. Rykova E, Morozkin E, Ponomaryova A, Loseva E, Zaporozhchenko I, Cherdyntseva N, Vlassov V, Laktionov P. 2012. Cell-free and cell-bound circulating nucleic acid complexes: mechanisms of generation, concentration and content. Expert Opin Biol Ther. 12(Suppl sup1):S141–S153. DOI:10.1517/14712598.2012.673577. (in English)
16. Thierry AR, El Messaoudi S, Gahan PB, Anker P, Stroun M. 2016. Origins, structures, and functions of circulating DNA in oncology. Cancer Metastasis Rev. 35(3):347–376. DOI:10.1007/s10555-016-9629-x. (in English)
17. Wang W, Kong P, Ma G, Li L, Zhu J, Xia T, Xie H, Zhou W, Wang S. 2017. Characterization of the release and biological significance of cell-free DNA from breast cancer cell lines. Oncotarget. 8(26):43180–43191. DOI: 10.18632/oncotarget.17858. (in English)
18. Sato Y, Matoba R, Kato K. 2019. Recent advances in liquid biopsy in precision oncology research. Biol Pharm Bull. 42(3):337–342. DOI: 10.1248/bpb.b18-00804.13 (in English)
19. McCarthy C. G., Wenceslau C. F., Goulopoulou S., Ogbi S., Baban B., Sullivan J. C., et al. (2015). Circulating mitochondrial DNA and Toll-like receptor 9 are associated with vascular dysfunction in spontaneously hypertensive rats. Cardiovasc. Res. 107 119–130. DOI: 10.1093/cvr/cvv137 (in English)
20. Lowes H., Pyle A., Santibanez-Koref

M., Hudson G. (2020). Circulating cell-free mitochondrial DNA levels in Parkinson's disease are influenced by treatment. Mol. Neurodegener. 15:10. DOI: 10.1186/s13024-020-00362-y (in English)
21. Vakrakou A. G., Boiu S., Ziakas P. D., Xingi E., Boleti H., Manoussakis M. N. (2018). Systemic activation of NLRP3 inflammasome in patients with severe primary Sjögren's syndrome fueled by inflammagenic DNA accumulations. J. Autoimmun. 91 23 –33. DOI:10.1016/j.jaut.2018.02.010 (in English)
22. Scalici E., Mulet T., Ferrier Hoa A., Gala A., Lu V., Anahori T. et al. Circulating nuclear acids and infertility. Gynecol Obstetric Fertil. 2015; 43:593-8. DOI: 10.1016/j.gyobfe.2015.07.016. (in English)
23. Traver S, Scalici E, Mullet T, Molinari N, Vincens C, Anahory T, Hamamah S. Cell-free DNA in Human Follicular Microenvironment: New Prognostic Biomarker to Predict in vitro Fertilization Outcomes PLoS ONE. 2015;10(8):e0136172. DOI: 10.1371/journal.pone.0136172. (in English)
24. Guan Y., Zhang W., Wang X., Cai P., Jia Q., Zhao W. Cell-free DNA induced apoptosis of granulosa cells by oxidative stress. Clin. Chim. Acta. 2017; 473: 213–217. DOI: 10.1016/j.cca.2016.11.023. (in English)
25. Ichikawa K., Shibahara H., Shirasuna K., Kuwayama T., Iwata H. Cell-free DNA content in follicular fluid: a marker for the developmental ability of porcine oocytes. Reproductive Medicine and Biology. 2019. Vol. 19. P. 95-103. DOI: 10.1002/rmb2.12309. (in English)
26. Tarkowski A. K. An air-drying method for chromosome preparation from mouse eggs. (1966) Cytogenetics, nr. 5, 3, P. 394-400. DOI:10.1159/000129914 (in English)
27. Woodruff TK, Shea LD. The role of the extracellular matrix in ovarian follicle development. Reprod Sci. 2007 Dec;14(8 Suppl):6-10. DOI: 10.1177/1933719107309818. (in English)
28. Liu Z, Li F, Xue J, Wang M, Lai S, Bao H, He S. Esculentoside A rescues granulosa cell apoptosis and folliculogenesis in mice with premature ovarian failure. Aging (Albany NY). 2020 Aug 5;12(17):16951-16962. DOI: 10.18632/aging.103609. Epub 2020 Aug 5. (in English)
29. Xie J, Xu X, Liu S. Intercellular communication in the cumulus-oocyte complex during folliculogenesis: A review. Front Cell Dev Biol. 2023 Jan 19; 11:1087612. DOI: 10.3389/fcell.2023.1087612. (in English)
30. Avalos PN, Wong LL, Forsthoefel DJ. Extracellular vesicles promote proliferation in an animal model of regeneration. bioRxiv [Preprint]. 2024 Mar 27:2024.03.22.586206. DOI: 10.1101/2024.03.22.586206. (in English)
31. Chaves MA, Ferst JG, Fiorenza MF, Vit FF, da Silveira JC. The Influence of Ovarian -Derived Extracellular Vesicles in Reproduction. Adv Anat Embryol Cell Biol. 2025 Jan 1. DOI: 10.1007/102_2024_9. (in English)

УДК: 636.4
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.458

ОКАЗАНИЕ ПОМОЩИ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫМ СВИНОМАТКАМ ПРИ НАРУШЕНИИ РОДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Секерин К.В. *[1] – асп.; **Филатов А.В.** [1,2] – д-р ветеринар. наук, проф., вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-4557-844X)

[1]*Вятский государственный агротехнологический университет*
[2] *Институт агробиотехнологий имени А.В. Журавского Коми научного центра УрО РАН*

*kirilllsekerin2001@mail.ru

Ключевые слова: *свиноводство, маточное поголовье, слабые схватки и потуги, родовспоможение, послеродовые заболевания.*

Keywords: *pig breeding, breeding stock, mild contractions and struggles, obstetric care, postpartum diseases.*

Поступила: 17.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Патологические роды у высокопродуктивных свиноматок представляет собой критическое состояние, сопряженное с высокими рисками для поросят и самой роженицы. Целью настоящей работы являлось изучение распространенности патологических родов у высокопродуктивных свиноматок и изыскание эффективного метода оказания помощи при слабости родовой деятельности. Объектом исследования служили гибридное маточное поголовье свиней (крупная белая×ландрас) и полученный от них приплод. Исследования проводили на базе промышленного свиноводческого предприятия. Распространенность патологических родов изучали у 510 ремонтных и основных свиноматок. Для разработки эффективного метода родовспоможение при слабой родовой деятельности провели сравнительную оценку разных методов. Животным при постановке диагноза: в первой группе применяли мануальный способ оказания родовспоможения; второй группы - инъецировали внутримышечно окситоцин в дозе 40 ЕД; третьей группы - вводили внутримышечно 20 ЕД окситоцина (в начале родов всем свиноматкам инъецировали внутримышечно кальция борглюконат в дозе 20 мл); четвертой группы - одновременно вводили внутримышечно 20 мл кальция борглюконат и 20 ЕД окситоцина; пятой группы - вводили внутримышечно препарат кальция борглюконат в дозе 20 мл и препарат Утеротон с действующим веществом пропанолола гидрохлорид в дозе 5 мл. Установлено, что основной причиной патологических родов у высокопродуктивных свиноматок являются слабые схватки и потуги, а также неправильного расположения плода по отношению к родовым путям самки. Клинически обоснованным и наиболее эффективным методом коррекции слабости родовой деятельности при интервале между рождением поросят более 30 минут является сочетанное внутримышечное введение препаратов кальция борглюконат в дозе 20 мл и окситоцин в дозе 20 ЕД. Данная схема способствует восстановлению координированной сократительной активности миометрия и минимизации рисков перинатальных потерь приплода.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Репродуктивная функция свиноматок представляет собой ключевой продукционный показатель в промышленном свиноводстве. Физиологическое состояние роженицы и своевременное оказание грамотной помощи при патологических родах обеспечивает благополучное завершение опороса [9]. К доминирующим акушерским патологиям у свиней относят слабость родовой деятельности и аномалии пространственных отношений плода и материнского таза [1]. Все это сопровождается увеличением продолжительности родового акта, что приводит к энергетической усталости гладких мышечных волокон матки. Вовремя оказанная помощь позволяет избежать негативных последствий в течение родовой деятельности, а, следовательно, в дальнейшем снизить риск развития послеродовых заболеваний, повысить число живорожденных поросят с хорошо выраженными рефлексами. При наступлении беременности и во время ее течения отмечается снижение уровня кальция в сыворотке крови по сравнению с фоновым прегестационным периодом. Повышенный расход кальция организмом самок связан с нарастающей минерализацией скелета плодов, а нахождение его в пределах референсных значений свидетельствует о достаточном покрытии потерь минерала усиленной кишечной абсорбцией [3]. Вероятно, перед родами в организме свиноматок уровень кальция мобилизуется не только за счет кишечной абсорбции, но и за счет его костных запасов. Исходя из этого сложилось мнение, что более низкий уровень кальция в период родов и послеродовой период нарушает сократительную активность гладкомышечных волокон матки у свиноматок, наблюдается достоверное снижение кальция у животных, которые в после опороса заболели послеродовой патологией [2, 8]. На основании снижения уровня кальция в организме роженицы и предположения о том, что оказание родовспоможения для исправления неправильного расположения плода в родовых путях является излишним, а слабость схваток и потуг основывается на физиологической недостаточности необходимых элементов в организме роженицы были разработаны и апробированы методы, представленные в работе.

Цель работы – изучить распространенность патологических родов и изыскать эффективный метод оказания помощи высокопродуктивным свиноматкам при слабости родовой деятельности.

Исходя из поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить распространение патологии родовой деятельности у высокопродуктивных свиноматок в условиях промышленного производства;
- провести сравнительную оценку различных методов оказания помощи высокопродуктивным свиноматкам при нарушении родовой деятельности**.**

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Анализ распространенности родовой патологии проводили в условиях промышленного комплекса на участке опороса у ремонтных и основных свиноматок породы F1 (крупная белая×ландрас) в количестве 510 голов. Во время родовой деятельности самок разделили на особей с нормальными и патологическими родами. Нормальными считались роды, которые протекали без каких-либо осложнений и вмешательства человека. Это значит, что схватки и потуги были достаточно сильными, плод располагался правильно, и поросята рождались без препятствий в родовых путях. Патологические роды, напротив, характеризовались осложнениями, требующими неинвазивного или инвазивного вмешательства. К таким осложнениям относятся слабые схватки и потуги, неправильное положение плода в утробе матери (например, тазовое предлежание или поперечное положение), а также любое препятствие в родовых путях, требующее ручного вмешательства для извлечения поросят [7]. Таким образом, критерием разделения служило наличие или отсутствие необходимости в акушерской помощи во время родов.

В дальнейшем ходе исследования животные с диагнозом слабости схваток и потуг были разделены на 5 экспериментальных групп (n=25), в каждой из которых использовались разные методы оказания родовспоможения. Диагноз свиноматке ставили на основании увеличении времени между выделением плодов более 30 минут.

Животным в первой группе применяли используемый на предприятии мануальный способ оказания родовспоможения. Далее, независимо от наличия плода в родовых путях или его отсутствия, вводили внутримышечно окситоцин в дозе 20 ЕД. Свиноматкам второй группы при постановке диагноза инъецировали окситоцин в дозе 40 ЕД внутримышечно через 30 минут после отсутствия поросенка. Всем роженицам третьей группы при проявлении клинических признаков родов вводили препарат кальция борглюконат внутримышечно в дозе 20 мл, а в дальнейшем, при отсутствии поросенка в течение 30 минут внутримышечно вводили 20 ЕД окситоцина. В данной группе животных учитывали только тех самок, у которых проявлялись слабые схватки и потуги во время опороса. Свиноматкам четвертой группы после постановки диагноза одновременно вводили внутримышечно 20 мл кальция борглюконата и 20 ЕД окситоцина. В пятой группе свиноматкам в случае увеличения интервала между поросятами более 30 минут вводили внутримышечно препарат кальция борглюконат в дозе 20 мл и препарат Утеротон с действующим веществом пропанолола гидрохлорид в дозе 5 мл. За животными всех экспериментальных групп проводили клинический контроль за течением родового акта. В случае отсутствия поросенка в последующие 30 минут после родовспоможения оказывали мануальную помощь.

Мануальное родовспоможение производилось путем введения в родовые пути руки в одноразовой акушерской перчатке, обработанной ихтиоловой мазью после проведения туалета наружных половых органов. После опороса свиноматок подвергали клиническому исследованию на выявление послеродовых заболеваний (эндометрит, послеродовая дисгалактия). Постановку диагноза осуществляли на основании «Методические указания по диагностике, терапии и профилактике болезней органов размножения и молочной железы у свиноматок» (М., 2005).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе мониторинга течения родовой деятельности у свиноматок установлено, что у 26,67% рожениц наблюдалось патологические течение родов (рис. 1). Причем, основной причиной данной патологии являются слабые схватки и потуги и составляют 84,6% от общего числа патологических опоросов. Патология в случае неправильного расположения плода по отношению к родовым путям или одновременный вклинивание нескольких плодов регистрируется в 15,4% случаев от всех осложненных опоросов. Стоит отметить, что к патологии родовой деятельности относят еще бурные схватки и потуги, а также анатомические и врожденные аномалии развития половых органов. Однако, в ходе исследования мы не столкнулись с данными нарушениями у высокопродуктивных свиноматок.

При проведении исследования, в соответствии с предложенными методами выявили, что мануальное родовспоможение, которое в первой группе оказывалось всем свиноматкам, было обосновано во второй группе у 36%, в третьей – у 8%, в четвертой – 8% и в пятой – у 60% животных (рис. 2). Это показывает, что отсутствие поросенка в течение 30 минут не означает развитие патологии, связанной с неправильным расположением плода в родовых путях, а обуславливает проявление слабых схваток и потуг и достаточного применения менее инвазивных методов терапии [2, 4]. Наименьшую кратность мануального вмешательства регистрировали в третьей и четвертой группе. Возможно, это указывает на то, что изначальная постановка диагноза - слабые схватки и потуги является верной, а применяемый метод терапии, заключающийся во введении препаратов, содержащих ионы Са+ и

окситоцин, способны эффективно устранить данную патологию. В случае, когда в третьей и четвертой группе все же оказывалось мануальное родовспоможение, в родовых путях обнаруживались либо мертвые поросята, либо мумифицированные плоды, либо же наблюдалось неправильное предлежание плода или вклинивание нескольких поросят в родовые пути. Однако, после проведения инвазивного метода оказания помощи и устранения механической причины задержки, родовая деятельность успешно продолжалась и повторное применение предложенной схемы помощи не требовалось. Оказание мануального родовспоможения у 36% животных во второй группе, когда использовался в качестве неинвазивного метода помощи свиноматке во время зарегистрированной слабой родовой деятельности окситоцина без применения борглюконата кальция, по-видимому объясняется тем, что энергетического запаса в гладкой мускулатуре матки было недостаточно, и применение экзогенного окситоцина ожидаемого положительного эффекта не принесло, в отличие от третьей и четвертой группы, где применялись комбинации сочетанного введения и оказание мануального родовспоможения достигает 8% [7]. В пятой исследуемой группе, где мануальное родовспоможение оказывалось 60% животных, действие пропанолола гидрохлорида, входящего в состав препарата Утеротон, наступало позже 30 минут после введения, что и обуславливает высокую частоту применения последующего инвазивного метода помощи родовой деятельности.



Рисунок 1 – Распространенность патологических родов.

При проведении исследования обнаружилось, что наибольшая продолжительность родового акта с момента рождения первого поросенка и до отделения плодных оболочек наблюдалась в первой группе и составила 418,40±31,50 минуты, что на 90,8 мин ($p < 0,05$), 80,8 мин ($p<0,05$), 98,4 мин ($p<0,01$) и 96 минут ($p<0,01$) больше, чем во второй, третьей, четвертой и пятой группе соответственно (рис. 3). Увеличение продолжительности родового акта в первой группе по отношению к другим экспериментальным группам вероятно связано с проведением инвазивной помощи в виде мануального родовспоможения, что в свою очередь вызывает раздражение механорецепторов родового пути продвижением руки оператора против течения сократительных изгоняющих движений матки. Излишнее раздражение снижает эффективность схваток, а, следовательно, и продвижение плодов, увеличивая интервал выхода между поросятами, препятствует сократительной деятельности матки и закономерно увеличивает время опороса. При применении неинвазивных методов оказания помощи при слабости схваток и потуг наимень-

шая продолжительность опороса наблюдалась в четвертой группе и составила 320,00±15,25 минут, что меньше на 2,4%, 5,6% и 0,8% во второй, третьей и пятой группах соответственно. Однако, эти различия не являются статистически значимыми. Но стоит отметить, что своевременное проведение медикаментозной терапии слабости схваток и потуг все же имеет положительные результаты, которые в свою очередь благоприятно сказываются на течении родовой деятельности, а также на риске проявлений послеродовых воспалительных заболеваниях матки и молочной железы у рожениц [6, 7].

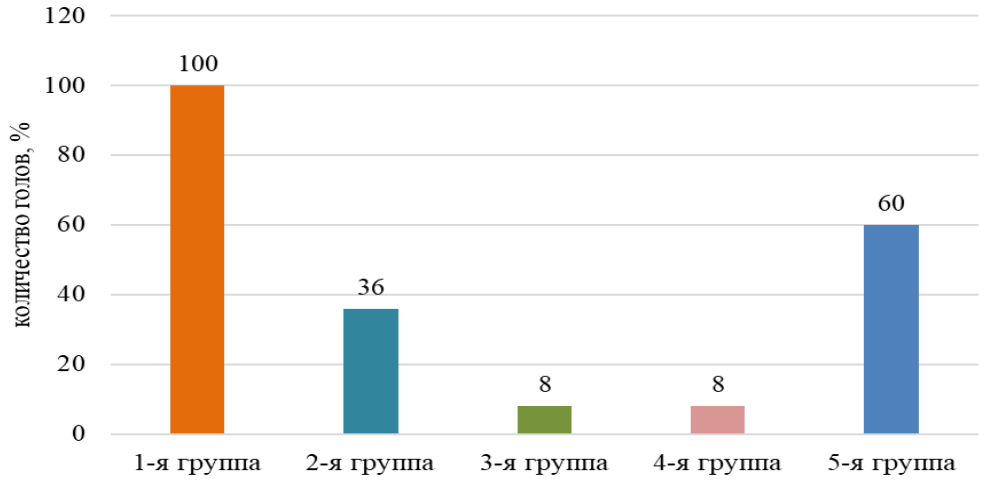


Рисунок 2 – Количество свиноматок, которым оказывалось мануальное родовспоможение.

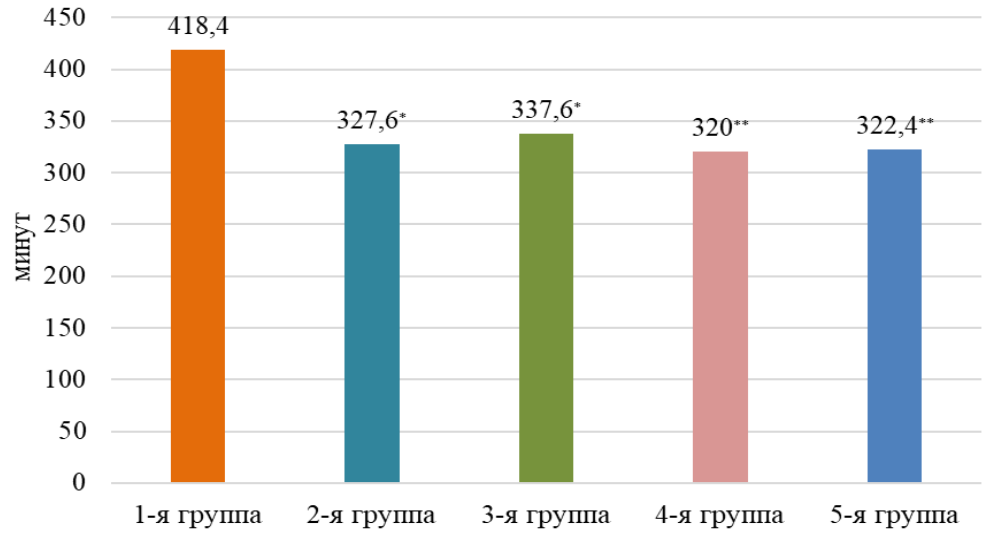


*Рисунок 3 – Продолжительность родов в зависимости от метода оказания помощи. Примечание: *p<0,05, **p<0,01– по отношению к первой группе*

По полученным цифровым данным, представленных на рисунке 4, наибольшее общее количество поросят было получено в первой группе и составило 18,68±0,91 голов, что на 6,2%, 9,0%, 6,6% и 5,8% больше, по сравнению со второй, третьей, четвертой и пятой группой. Однако, данный показатель общего многоплодия, в который включены так же и мертворожденные и мумифицированные плоды в полной мере не отражает эффективность использованных методов оказания помощи при патологических родах. Наиболее ценным в производственных условиях является количество живорожденного приплода. Наибольшее количество живорожденных поросят наблюдается в четвертой группе и составляет 16,44±0,48 голов, что на 5,1%, 3,6%, 5,9% и 1% больше, чем при первом, втором, третьем и пятом методах, соответственно. В процентном соотношении живорожденных поросят к общему многоплодию наивысший показатель оказался в четвертой группе и составил 94,3%, что больше на 10,8% чем в первой, на 3,9% чем во второй, 3,0% чем в третьей и 1,8% чем в пятой группе. Общие потери в виде мертворожденных и мумифицированных поросят во время опороса были наименьшими в четвертой группе и составили 5,7%. В остальных группах этот показатель составляет 16,5% в первой, 9,6% во второй, 8,7% в третьей и 7,5% в пятой группах. Стоит отметить, что наличие мумифицированного плода в родовых путях как правило приводит к увеличению интервала выхода между поросятами и оказывает негативное влияние на продвижение послележащих плодов, что может привести к проявлению слабости схваток и потуг [5]. Следовательно, наибольшие потери новорожденного поголовья в виде мертворожденных поросят наблюдается в первой группе 8,9%, что больше на 3,2% чем во второй и пятой группах, на 3% - в третьей группе и на 5,5% ($p<0,05$) -в четвертой группе.

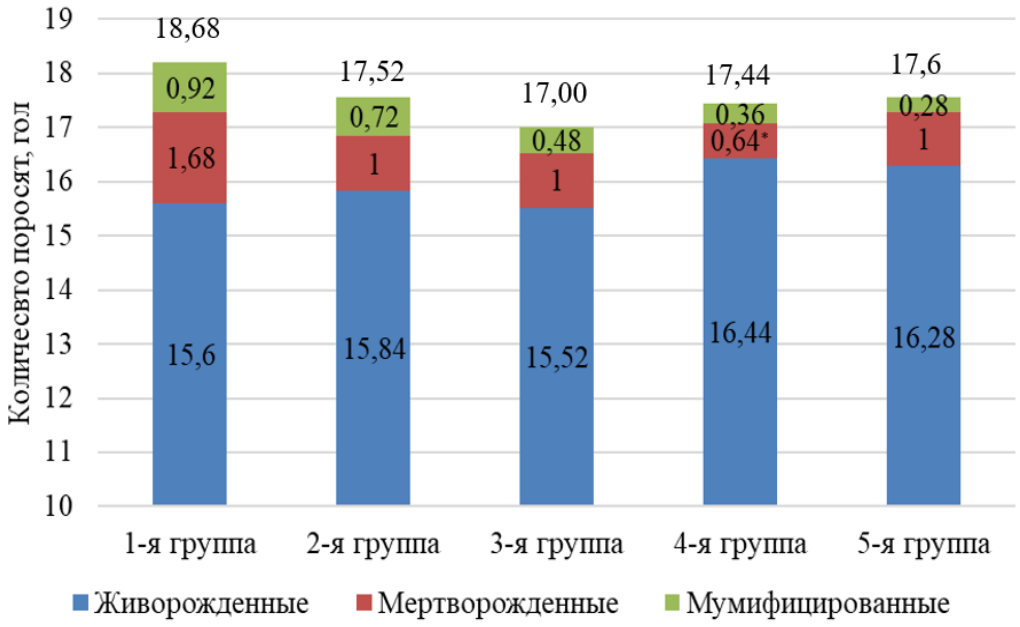


Рисунок 4 – Количество полученных поросят в исследуемых группах.
*Примечание: *p<0,05 – по отношению к первой группе*

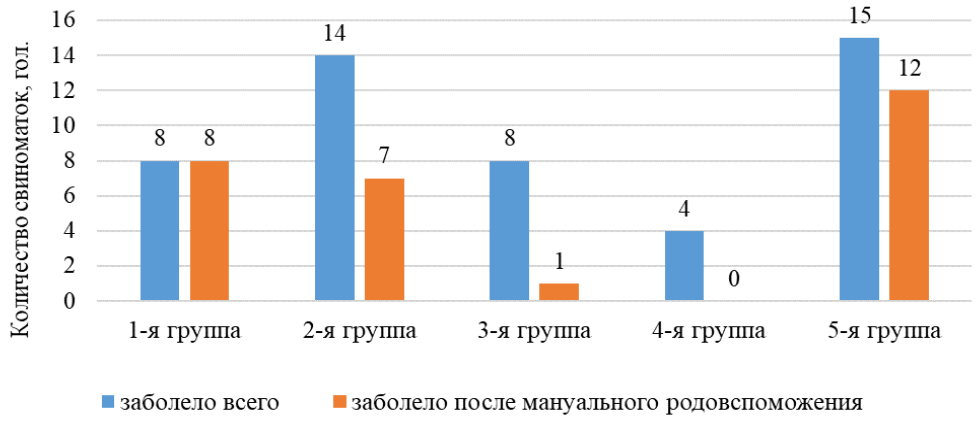


Рисунок 5 – Заболеваемость свиноматок послеродовым эндометритом.

При клиническом обследовании маточного поголовья в ранний послеродовой период установили разную частоту возникновения у них воспаления слизистой оболочки матки (рис. 5). Так, наибольшее число свиноматок с клиническими признаками послеродовой акушерской патологии наблюдалось во второй и пятой группах и составило 56% и 60% соответственно. В четвертой группе послеродовой эндометрит был выявлен у 16% животных, что на 16% меньше, чем в первой и третьей группах, на 40% меньше, чем во второй группе, и на 46% меньше, чем в пятой группе.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Патология родовой деятельности, проявляющая в слабых схватках и потугах у высокопродуктивных свиноматок породы F1 в условиях промышленного животноводства, встречается в 22,55% случаев. Наиболее эффективным методом оказания помощи высокопродуктивным свиноматкам при патологических родах является сочетанное применение препаратов кальция борглюконат в дозе 20 мл и окситоцин в дозе 20 ЕД внутримышечно при увеличении интервала выхода между поросятами более 30 минут. Данный метод способствует сокращению продолжительности родовой деятельности на 98,4 минуты, увеличению выхода живорожденных поросят на 5,1%, сокращению выхода мертворожденных поросят на 5,5%, снижению развития послеродовой акушерской патологии на 30-50%.

PROVIDING ASSISTANCE TO HIGHLY PRODUCTIVE SOWS IN CASE OF LABOR DISORDERS

Sekerin K.V.[1]* – Postgraduate student; **Filatov A.V.**[1,2] – PhD, Senior Researcher (ORCID 0000-0003-4557-844x)

[1] Vyatka State Agrotechnological University

[2] Institute of Agrobiotechnology named after A.V. Zhuravsky Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

*kirilllsekerin2001@mail.ru

ABSTRACT

Pathological childbirth in highly productive sows is a critical condition associated with high risks for piglets and the mother herself. The purpose of this work was to study the prevalence of pathological childbirth in highly productive sows and to find an effective method of providing assistance in case of labor weakness. The object of the study was a hybrid breeding stock of pigs (large white× landrace) and the offspring obtained from them. The research was conducted on the basis of an industrial pig breeding enterprise. The prevalence of pathological childbirth was studied in 510 repair and basic sows. In order to develop an

effective method of obstetric care for weak labor, a comparative assessment of different methods was carried out. Animals were diagnosed with: in the first group, a manual method of delivery was used; in the second group, oxytocin was injected intramuscularly at a dose of 40 ME; in the third group, 20 ME of oxytocin were injected intramuscularly (at the beginning of labor, all sows were injected intramuscularly with calcium borgluconate at a dose of 20 ml); The fourth group was simultaneously injected intramuscularly with 20 ml of calcium borgluconate and 20 ME of oxytocin; the fifth group was injected intramuscularly with calcium borgluconate at a dose of 20 ml and Uterotone with the active ingredient propanolol hydrochloride at a dose of 5 ml. It has been established that the main cause of pathological childbirth in highly productive sows is weak contractions and struggles, as well as the incorrect location of the fetus in relation to the birth canal of the female. The clinically justified and most effective method of correcting labor weakness with an interval between the birth of piglets of more than 30 minutes is combined intramuscular administration of calcium borgluconate at a dose of 20 ml and oxytocin at a dose of 20 ME. This scheme helps to restore the coordinated contractile activity of the myometrium and minimize the risks of perinatal loss of offspring.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Коцарев, В.Н. Первичная слабость родов, послеродовые болезни свиноматок и разработка методов их профилактики: Автореф. дис. ... доктора ветеринарных наук. - Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К.Д. Глинки. - Воронеж, 2006. - 45 с.

2.Нарижный, Г.А. Влияние продолжительности опороса на послеродовое состояние свиноматок, рост и развитие поросят / Г.А. Нарижный, О.Н. Русецкая // Ветеринария. – 2005. – № 10. – С. 39 – 40.

3.Филатов, А.В. Показатели минерального обмена свиноматок в течение репродуктивного цикла / А. В. Филатов, А. В. Минин, К. В. Секерин, А. Ф. Сапожников // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 327-332. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.2.327. – EDN NZXRPO.

4.Секерин, К.В. Сравнительная оценка разных методов оказания помощи свиноматкам при патологических родах / К. В. Секерин // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны : Материалы XIII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 300-летию РАН, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: Перевощикова Юлия Владимировна, 2024. – С. 535-537. – EDN XYAOKP.

5.Филатов, А.В. Многоплодие высокопродуктивных свиноматок и пути повышения показателей воспроизводства / А. В. Филатов, А. В. Минин // Зоотехническая наука в условиях современных вызовов: Сборник трудов IV научно-практической конференции с международным участием, Киров, 30 ноября 2022 года. – Киров: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятский государственный агротехнологический университет, 2022. – С. 141-144. – EDN RNDLIF.

6.Филатов, А.В. Родовая и послеродовая патология у высокопродуктивных свиноматок и ее влияние на сохранность поросят / А. В. Филатов, А. В. Минин // Актуальные проблемы ветеринарной репродуктологии и современные пути их решения : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Махачкала, 19–20 сентября 2024 года. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2024. – С. 287- 292. – EDN MHHKPO.

7.Björkman, S. Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows / S.Björkman, C.Oliviero Kauffold, J.N. M.Soede, O. Peltoniemi // Theriogenology, 2018. T. 106. - S. 87-92.

8.Grahofer, A. Detection and evaluation of puerperal disorders in sows after farrowing / A.Grahofer, T. Mäder, A. Meile, H. Nathues //Reproduction in Domestic Ani-

mals, 2019. - T. 54. - № S3. - S. 59.
9.Peltoniemi, O. Parturition effects on the reproductive health in the gilt and sow / O. Peltoniemi, S.Björkman, & C. Oliviero // Reproduction in Domestic Animals, 2016. - T. 51 (Suppl 2). - S. 36-47.

REFERENCES

1.Kotsarev, V.N. Primary weakness of childbirth, postpartum diseases of sows and the development of methods for their prevention: Abstract of the dissertation... Doctor of Veterinary Sciences. - Voronezh State Agrarian University. K.D. Glinka University. Voronezh, 2006. 45 p.
2.Narizhny, G.A. The influence of farrowing duration on the postpartum state of sows, growth and development of piglets / G.A. Narizhny, O.N. Rusetskaya // Veterinary medicine. 2005. No. 10. pp. 39-40.
3.Filatov, A.V. Indicators of sow mineral metabolism during the reproductive cycle / A.V. Filatov, A.V. Minin, K. V. Sekerin, A. F. Sapozhnikov // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2024. – No. 2. – pp. 327-332. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.2.327. – EDN NZXRPO.
4.Sekerin, K.V. Comparative assessment of different methods of helping sows in pathological childbirth / K. V. Sekerin // Knowledge of young scientists for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country: Proceedings of the XIII International scientific conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, November 21-22, 2024. – St. Petersburg: Perevoshchikova Yulia Vladimirovna, 2024. – pp. 535-537. – EDN XY-AOKP.
5.Filatov, A.V. Multiplicity of highly productive sows and ways to increase reproduction rates / A.V. Filatov, A.V. Minin // Zootechnical science in the context of modern challenges: Proceedings of the IV scientific and practical conference with international participation, Kirov, November 30, 2022. Kirov: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State Agrotechnological University, 2022, pp. 141 -144. EDN RNDLIF.
6.Filatov, A.V. Birth and postpartum pathology in highly productive sows and its impact on piglet safety / A.V. Filatov, A.V. Minin // Actual problems of veterinary reproductology and modern ways to solve them: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Makhachkala, September 19-20, 2024. – Makhachkala: Limited Liability Company "ALEF Publishing House", 2024. – pp. 287-292. – EDN MHHKPO.
7.Björkman, S. Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows / S.Björkman, C.Oliviero Kauffold, J.N. M.Soede, O. Peltoniemi // Theriogenology, 2018. T. 106. - S. 87-92.
8.Grahofer, A. Detection and evaluation of puerperal disorders in sows after farrowing / A.Grahofer, T. Mäder, A. Meile, H. Nathues //Reproduction in Domestic Animals, 2019. - T. 54. - № S3. - S. 59.
9.Peltoniemi, O. Parturition effects on the reproductive health in the gilt and sow / O. Peltoniemi, S.Björkman, & C. Oliviero // Reproduction in Domestic Animals, 2016. - T. 51 (Suppl 2). - S. 36-47.

УДК: 576:611.013.395:636.082.453.53
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.467

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИЗАТА МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК В КАЧЕСТВЕ РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РАЗМОРОЖЕННОЙ СПЕРМЫ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Корочкина Е.А.* – д-р ветеринар. наук, доц. каф. генетических и репродуктивных биотехнологий (ORCID0000-0002-7011-4594); **Беликова А.О.** – асп. каф. генетических и репродуктивных биотехнологий; **Бахтурина Е.И.** – студент

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*e.kora@mail.ru

Ключевые слова: *лизатмезенхимальных стволовых клеток, качество спермы, быки-производители.*
Keywords: *components of mesenchymal stem cell, sperm'quality, bulls.*

Поступила: 20.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Криоконсервация половых гамет является важной составляющей программ вспомогательных репродуктивных технологий. Учитывая свойствамезенхимальных стволовых клеток (МСК) и их производных, главным образом регенерация (за счет цитокинов, факторов роста, экзосом), целью данной работы явилось изучение применения лизата МСК в качестве реабилитационной среды для размороженной спермы быков-производителей. Лизатмезенхимальных стволовых клеток (МСК) — это продукты разрушения МСК, содержащие их биологически активные компоненты: белки, нуклеиновые кислоты, экзосомы, факторы роста и метаболиты. Было сформировано 2 группы проб спермы быков-производителей после оттаивания по 15образцов в каждой: контрольная, опытная группа. Образцы опытной группы смешивали со средой, содержащей лизат МСК, контрольной группы - сфосфатно -солевым буфером (PBS) в соотношении 1:1. Оценку качественных показателей спермы (подвижность, морфология) проводили спустя 0, 2 и 4 часа инкубации. Проверка статистической гипотезы о различии опыта и контроля проводилась с помощью Т-критерия Вилкоксона.Установлено, что четырехчасовая инкубации сперматозоидов после оттаивания в средах, содержащих лизат МСК способствует($p<0,05$) сохранению наибольшего количества морфологически нормальных сперматозоидов (71,53±3,21%) с наименьшим содержанием дефектов головки (8,87±1,10%) и хвоста (18,33±2,27%).Обнаружены статистически достоверные различия ($p<0,05$), в количестве прогрессивно подвижных и неподвижных сперматозоидов на 4-й час инкубации.Число прогрессивно подвижных сперматозоидов было больше в опытной группе в 1,4 раза, неподвижных в контрольной группе — в 1,3 раза.Полученные данные определяют перспективность использования компо-

нента МСК – лизата в качестве реабилитационной среды для сперматозоидов после оттаивания. Однако для точного определения механизма воздействия необходимо продолжить исследования.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Криоконсервация половых гамет является важной составляющей программ вспомогательных репродуктивных технологий. Это метод длительного сохранения генетического материала путём замораживания в жидком азоте (−196°C). Данная процедура позволяет сохранить жизнеспособность и фертильность сперматозоидов в течение длительного времени. Вместе с тем, воздействие разного диапазона температур, связанное с процедурой криоконсервации и оттаивания, сопровождается морфофункциональными изменениями в сперматозоидах быков-производителейи в частности, приводит к снижению подвижности сперматозоидов после разморозки/оттаивания. По данным WatsonP. F. и др. (2000), сохранение прогрессивной подвижности наблюдается у 40-60% мужских половых гамет, что связано с повреждением клеточных мембран из-за образования кристаллов льда. Кроме того, согласно исследованиямThomsonL.K. и др. (2009), процедура сопровождается увеличением долисперматозоидов с фрагментаций ДНК и с нарушением целостности акросомы (J.LBailey, 2003). После оттаивания регистрируют снижение переживаемости сперматозоидов и уменьшение продолжительностиих жизни в половых путях самки. По данным AitkenR. Ju BakerM. A. (2020), во время криоконсервации образуются активные формы кислорода, повреждающие липиды мембран и митохондрию средней части шейки сперматозоида. Таким образом, перспективным направлением является разработка сред и средовых компонентов, обеспечивающих максимальную сохранность сперматозоидов во время криоконсервации, а также после оттаивания. Особую актуальность имеет разработка реабилитационных сред, способствующих запуску процесса регенерации структурных элементов мужских половых клеток и обеспечивающих более длительнуюпереживаемость сперматозоидов. Учитывая свойствамезенхимальных стволовых клеток (МСК) и их производных, главным образом регенерация (за счет цитокинов, факторов роста, экзосом), целью данной работы явилось изучение применения лизата МСК в качестве реабилитационной среды для размороженной спермы быков-производителей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ/ MATERIALS AND METHODS

Работу выполняли в научно-образовательной лаборатории кафедры генетических и репродуктивных биотехнологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины».

Замороженные образцы (n=30) были получены в АО «Невское»от быков-производителей голштинской и айширской пород в возрасте от 1,5 до 3-х лет. Оттаивание спермы проводили в условиях водяной бани при температуре 38°C в течение 30 секунд. Сразу же после оттаивания спермы были сформированы опытная (n=15) и контрольная (n=15) группы. Образцы опытной группы смешивали со средой, содержащей лизат МСК, контрольной группы —сфосфатно-солевым буфером (PBS) в соотношении 1:1. Инкубацию проводили в течение 4-х часов при температуре 38°C. Качественные показателей спермы (подвижность, морфология) оценивали спустя0, 2 и 4 часа инкубации. Оценку подвижности проводили с помощью камеры Маклера (увеличение 10х10). Степень подвижности оценивали по следующим критериям: прогрессивная, медленная прогрессивная, непрогрессивная, неподвижные (согласно протоколу 6-го издания ВОЗ (2021)). Морфологию гамет определяли согласно критериям Крюгера, в качестве красителя использовали набор SpermBlue (Microptic, увеличение с использованием объектива 100х10, иммерсионное масло).

Костный мозг (КМ)получали после седации диазепамом (0,05 мг/кг внутривенно) и местной анестезии 2%-ным гид-

рохлоридом лидокаина у здоровых коров возрастом 1-2 года в хозяйстве Ленинградской области. Пункцию КМ (3 $см^3$) брали после асептической подготовки кожи при помощи иглы для биопсии из подвздошной кости и переносили в стерильную пробирку с гепарином. Пробирки с биоматериалом доставляли в лабораторию при 4 – 8ºС в течение 2 часов. В лаборатории отдела разработки клеточных биотехнологий ООО «Стэмреновацио» биоматериал обрабатывали. Для проведения экспериментов по влиянию компонентов МСК на сохранность и поддержание качества спермы быков, клетки деконсервировали и культивировали в среде αMEM + 10 % FBS. Начиная с 3-го пассажа после размораживания, их использовали в работе. Для получения лизата МСК клетки культивировали в течение 96 ч до формирования 90-100%, снимали при помощи 0,05%-ного раствора трипсина в растворе Версена (ООО «НПП «Панэко», Россия), отмывали от диспергирующего раствора при помощи раствора PBS, считали в камере Горяева, готовили суспензию клеток в PBS с концентрацией МСК 2•107 кл/мл, фасовали в криопробирки по 100 мкл. Лизат МСК получали при помощи двукратной быстрой заморозки до −196°С— медленного оттаивания при комнатной температуре в течение 20 минут. Финальное оттаивание производили непосредственно перед добавлением к сперматозоидам.

Статистическая обработка данных была проведена при помощи программы Stattech и Medstatistic «Медицинская Статистика» с вычислением показателей вариационного ряда.В связи с размером выборки проверка статистической гипотезы о различии опыта и контроля проводилась с помощью Т-критерия Вилкоксона для парных сравненийпри помощи языка программирования R в среде разработки Rstudio (v. 2025.05.1+513).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Лизатмезенхимальных стволовых клеток (МСК) — это продукты разрушения МСК, содержащие их биологически активные компоненты: белки, нуклеиновые кислоты, экзосомы, факторы роста и метаболиты. Они сохраняют терапевтический потенциал МСК, но при этом проще в производстве и хранении.

Результаты икубации образцов спермы с лизатом МСК (опытная группа) и фосфатно-буферном раствором (контрольная группа) представлены на рисунках 1 и 2.

Согласно данным рисунка 1, статистически значимая разница значений была зарегистрирована между контрольной и опытной группами при оценке количества нормальных сперматозоидовсразу после оттаивания ($p<0,05$), а также спустя 4 часа инкубации ($p<0,05$). При этом наибольшее количество морфологически нормальных сперматозоидов было зарегистрировано в опытной группе.

При анализе дефектов головки сперматозоидов статистически значимая разница была зарегистрированаспустя 0 часов инкубации($p<0,05$), при этом разница средних значений составила 1,4 раза с наибольшим количеством в контрольной группе. Данная тенденция наблюдалась также при анализе дефектов хвоста на 2-й и 4-й часы инкубации ($p<0,05$), где разница средних значений составила 1,2 раза.

Таким образом, четырехчасовая инкубации сперматозоидов после оттаивания в средах, содержащих лизат МСК способствует сохранению наибольшего количества морфологически нормальных сперматозоидов с наименьшей встречаемостьюдефектов головки и хвоста.

Результаты оценки подвижности сперматозоидов в процессе четырехчасовой инкубации в фосфатно-солевом буфере и средах, содержащих лизат МСК отражены на рисунке 2.

Согласно данным рисунка 2, статистически значимая разница значений была зафиксирована при анализе подвижности сперматозоидов на 4-й час инкубации, в частности – количество прогрессивно подвижных сперматозоидов было больше($p<0,05$) в опытной группе в среднем в 1,4 раза, неподвижных в контрольной группе($p<0,05$)—в 1,3 раза. Получен-

ные результаты указывают на преимущественное сохранение подвижности сперматозоидов при инкубации в средах, содержащих лизат МСК.

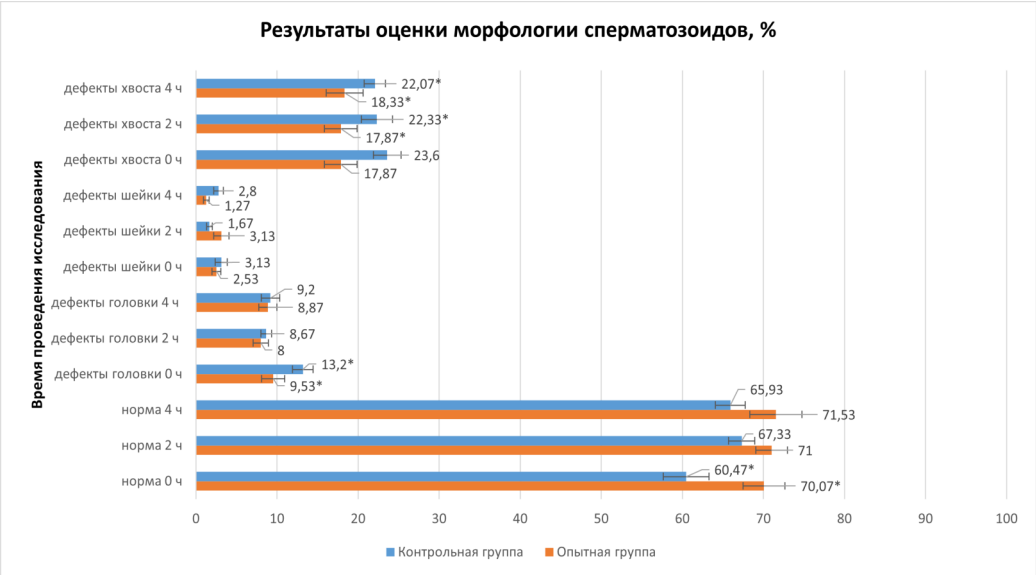


*Рисунок 1 – Результаты оценки морфологии сперматозоидов быков-производителей в процессе четырехчасовой инкубации с лизатом МСК (M±m, n=15). Примечание: * - p-value <0,05.*

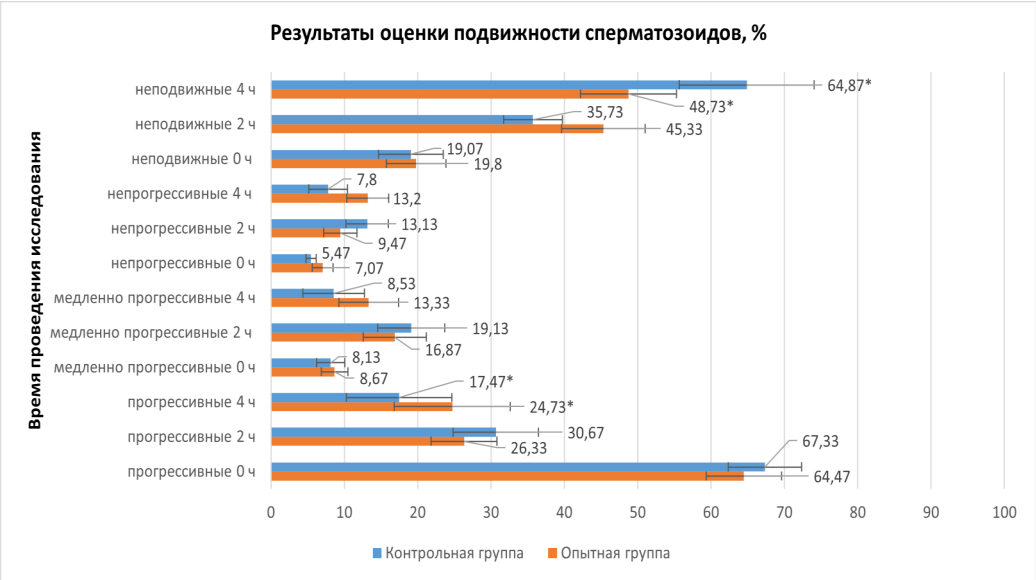


*Рисунок 2 – Результаты оценки подвижности сперматозоидов быков-производителей в процессе четырехчасовой инкубации с лизатом МСК (M±m, n=15). Примечание: *- p-value <0,05.*

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Полученные данные определяют перспективность использования компонента МСК – лизата в качестве реабилитационной среды для сперматозоидов после оттаивания. Анализ литературных данных подтверждает свойства МСК в аспекте положительного воздействия на сперматозоиды. Так, МСК, трансплантированные в семенники животных с химической или хирургической моделью азооспермии, продемонстрировали способность индуцировать сперматогенез и/или дифференцироваться в половые клетки. Было показано несколько возможных механизмов восстановления функции семенников при МСК-индуцированной регенерации тканей: 1. участие МСК в подавлении антиспермальных антител (ASA) [2]; 2. снижение факторов, приводящих к бесплодию, за счет уменьшения апоптоза [5]; 3. снижение окислительного стресса [1] и стимуляция выработки тестостерона [6] с дифференцировкой в клетки Лейдига [10]; 4. взаимодействие МСК с эндогенными клетками, восстанавливая функцию поврежденных клеток [7].

Принимая во внимание полученные данные, среды, содержащие лизат МСК, можно рассматривать в качестве реабилитационных сред для сперматозоидов после оттаивания. Однако, для точного определения механизма воздействия необходимо продолжить исследования.

USEOFMESENCHYMALSTEM-CELLLYSATEASAREHABILITATION MEDIUMFORTHAWEDSPERMOFSTUDBULLS

Korochkina E.A.* – PhDIn Veterinary science, Associate Professor, Department of Genetic and Reproductive Technologies; **Belikova A.O.** – postgraduate student; **Bachturina E.I.** – student

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*e.kora@mail.ru

ABSTRACT

Cryopreservation of gametes is an important component of assisted reproductive technology programs. Considering the properties of mesenchymal stem cells (MSCs) and their derivatives, mainly regeneration (due to cytokines, growth factors, exosomes), the aim of this work was to study the use of MSC lysate as a rehabilitation medium for defrosted sperm of breeding bulls. Mesenchymal stem cell (MSC) lysate is a product of MSC destruction containing their biologically active components: proteins, nucleic acids, exosomes, growth factors and metabolites. After thawing, two groups of bull sperm samples were formed: control and experimental, 15 samples each. Samples of the experimental group were mixed with a medium containing MSC lysate, and those of the control group were mixed with phosphate-buffered saline (PBS) in a 1:1 ratio. Sperm quality parameters (motility, morphology) were assessed after 0, 2 and 4 hours of incubation. Due to the sample size, the statistical hypothesis about the difference between the experiment and the control was tested using the Wilcoxon t-test for paired. It was found that four-hour incubation of spermatozoa after thawing in media containing MSC lysate helps to preserve the greatest number of morphologically normal spermatozoa (71.53±3.21%) with the lowest content of head (8.87±1.10%) and tail (18.33±2.27%) defects. Statistically significant differences ($p<0.05$) were found in the number of progressively motile and immobile spermatozoa at the 4th hour of incubation. The mean value of progressively motile spermatozoa was 1.4 times higher in the experimental group, and the mean number of immobile spermatozoa in the control group was 1.3 times higher. The obtained data prove the prospects of using the MSC component - lysate as a medium for spermatozoa rehabilitation after thawing. However, further research is needed to precisely determine the mechanism of action.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abdelaziz MH, Salah El-Din EY, El-Dakdoky MH, Ahmed TA. The impact of mesenchymal stem cells on doxorubicin-induced testicular toxicity and progeny outcome of male prepubertal rats. BirthDefects

Res. 2019;111(13):906–19.
2. Aghamir SMK, Salavati A, Yousefie R, Tootian Z, Ghazaleh N, Jamali M, Azimi P. Does bone marrow–derived mesenchymal stem cell transfusion prevent antisperm antibody production after traumatic testis rupture? Urology. 2014;84(1):82–6.
3. Aitken, R. J., Baker, M. A. (2020). Oxidative stress and male reproductive health. Reproduction, 160(6), R91-R124.
4. Bailey, J. L., et al. (2003). Assessment of acrosomal status in boar spermatozoa. Theriogenology, 60(1), 125-134.
5. Hsiao C-H, Ji AT-Q, Chang C-C, Cheng C-J, Lee L-M, Ho JH-C. Local injection of mesenchymal stem cells protects testicular torsion-induced germ cell injury. Stem Cell Res Ther. 2015;6(1):113.
6. Kadam P, Ntemou E, Onofre J, Van Saen D, Goossens E. Does co-transplantation of mesenchymal and spermatogonial stem cells improve reproductive efficiency and safety in mice? Stem Cell Res Ther. 2019;10 (1):310.
7. Qian C, Meng Q, Lu J, Zhang L, Li H, Huang B. Human amnion mesenchymal stem cells restore spermatogenesis in mice with busulfan-induced testis toxicity by inhibiting apoptosis and oxidative stress. Stem Cell Res Ther 2020;11(1):1–12,
8. Thomson, L. K., et al. (2009). Cryopreservation-induced human sperm DNA damage is predominantly mediated by oxidative stress rather than apoptosis. Human Reproduction, 24(9), 2061-2070.
9. Watson, P. F. (2000). The causes of reduced fertility with cryopreserved semen. AnimalReproduction Science, 60-61, 481-492.
10. Xing X, Zhang Z, Zhong L, Ju G, Zou X, Zhu Y, Sun J. Differentiation of human umbilical cord mesenchymal stem cells into steroidogenic cells in vitro. ExpTherMed. 2016;12(6):3527–34.

REFERENCES

1. Abdelaziz MH, Salah El-Din EY, El-Dakdoky MH, Ahmed TA. The impact of mesenchymal stem cells on doxorubicin-induced testicular toxicity and progeny outcome of male prepubertal rats. Birth Defects Res. 2019;111(13):906–19.
2. Aghamir SMK, Salavati A, Yousefie R, Tootian Z, Ghazaleh N, Jamali M, Azimi P. Does bone marrow–derived mesenchymal stem cell transfusion prevent antisperm antibody production after traumatic testis rupture? Urology. 2014;84(1):82–6.
3. Aitken, R. J., Baker, M. A. (2020). Oxidative stress and male reproductive health. Reproduction, 160(6), R91-R124.
4. Bailey, J. L., et al. (2003). Assessment of acrosomal status in boar spermatozoa. Theriogenology, 60(1), 125-134.
5. Hsiao C-H, Ji AT-Q, Chang C-C, Cheng C -J, Lee L-M, Ho JH-C. Local injection of mesenchymal stem cells protects testicular torsion-induced germ cell injury. Stem Cell Res Ther. 2015;6(1):113.
6. Kadam P, Ntemou E, Onofre J, Van Saen D, Goossens E. Does co-transplantation of mesenchymal and spermatogonial stem cells improve reproductive efficiency and safety in mice? Stem Cell Res Ther. 2019;10 (1):310.
7. Qian C, Meng Q, Lu J, Zhang L, Li H, Huang B. Human amnion mesenchymal stem cells restore spermatogenesis in mice with busulfan-induced testis toxicity by inhibiting apoptosis and oxidative stress. Stem Cell Res Ther 2020;11(1):1–12.
8. Thomson, L. K., et al. (2009). Cryopreservation-induced human sperm DNA damage is predominantly mediated by oxidative stress rather than apoptosis. Human Reproduction, 24(9), 2061-2070.
9. Watson, P. F. (2000). The causes of reduced fertility with cryopreserved semen. Animal Reproduction Science, 60-61, 481-492.
10. Xing X, Zhang Z, Zhong L, Ju G, Zou X, Zhu Y, Sun J. Differentiation of human umbilical cord mesenchymal stem cells into steroidogenic cells in vitro. ExpTherMed. 2016;12(6):3527–34.

УДК: 636.082.12 : 636.2.034 : 575.162 : 619 : 611.69
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.473

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ ПО ГЕНУ *STAT3*

Чаицкая К.Д.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства (ORCID 0000-0003-3282-4779); **Чаицкий А.А.** – канд. биол. наук, преп. каф. частной зоотехнии, разведения и генетики (ORCID 0000-0002-5853-3809); **Королев А.А.** – канд. с.-х. наук, зав. региональным информационно-селекционным центром (ORCID 0000-0003-1561-5449); **Кочуева Н.А.** – д-р биол. наук, проф. каф. внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства (ORCID 0000-0002-6637-4924); **Щеголев П.О.** – канд. с.-х. наук, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра (ORCID 0000-0003-3552-8457); **Дуркина В.А.** – лаборант лаборатории генетики и ДНК технологий (ORCID 0009-0006-8530-6202), **Протасова Е.М.** – асп. 2-го года очной формы обучения по специальности 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ORCID 0009-0003-8133-5071).

ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»

* kseniyasabetova@mail.ru

Ключевые слова: *ген STAT3, сигнальный белок и активатор транскрипции 3, коровы, молочная железа.*

Key words: *STAT3 gene, signal transducer and activator of transcription 3, cows, mammary gland.*

Финансирование: *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00199, https://rscf.ru/project/24-26-00199/.*

Поступила: 01.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Ген *STAT3* кодирует цитоплазматический белок преобразователь сигнала и активатор транскрипции 3 (*STAT3*). На данный момент на основании преимущественно зарубежных полногеномных исследований существуют сведения об ассоциации гена с энергетическим обменом, линейными размерами и живой массой, однако они проводились в основном на лабораторных животных и человеке, а на крупном рогатом скоте подобных сведений пока недостаточно. Цель работы: изучить морфофункциональные параметры молочной железы крупного рогатого скота голштинской породы разных генотипов по гену *STAT3*. Работа выполнена в 2024-2025 гг. на коровах голштинской породы (n=26) ООО «Сущево» Костромской области. У животных выборки проводили оценку морфофункциональных параметров молочной железы, определяли количество соматических клеток (КСК) в молоке и генотип по гену *STAT3*. В результате исследований было установлено, что наибольшей частотой обладал гетерозиготный генотип $STAT3^{CT}$ (0,538). У животных генотипа $STAT3^{CC}$

регистрировали клиническую форму катарального мастита с КСК более 800 тыс. кл/мл. Также у особей генотипа $STAT3^{CC}$ отмечали наиболее оптимальные показатели морфофункциональных параметров молочной железы. При этом в результате анализа модели «случай-контроль» определяли статистически значимый шанс возникновения мастита у носителей аллеля $STAT3^{C}$ в 5,6 раз по сравнению с носительницами аллеля $STAT3^{T}$. Это следует учитывать при разведении животных и обращать внимание на их содержание. В качестве подкрепления гипотезы и повышения объективности предлагаемых выводов требуется увеличение поголовья животных выборки, изучение данных тенденций в рамках других популяций крупного рогатого скота.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Важную роль в передаче внутрь клетки сигналов из окружающей среды играет семейство белков *STAT* (*signal transducer and activator of transcription*), включающее у млекопитающих семь факторов транскрипции (*STAT1, STAT2, STAT3, STAT4, STAT5A, STAT5B* и *STAT6*) [1].

Преобразователь сигнала и активатор транскрипции 3 (*STAT3*) представляет собой цитоплазматический белок, экспрессирующийся во многих тканях. Более 20 лет назад *STAT3* был открыт как фактор, который играет решающую роль в стимуляции медиаторов врожденного иммунитета в печени. Этот фактор был отнесен к семейству факторов *STAT* на основании структурного родства и схожести биологических функций и обозначен как *STAT3*. Активация *STAT3* происходит в ответ на стимуляцию клеток различными цитокинами и факторами роста [2].

У белка *STAT3* были идентифицированы различные изоформы (*STAT3α, STAT3β, STAT3γ, STAT3δ*), которые определяют его плейотропные биологические функции [3, 4]. *STAT3α* опосредует провоспалительный ответ цитокина *IL-6*, *STAT3β* подавляет синтез провоспалительных цитокинов (*IL-6 и TNF-α*) и активирует экспрессию некоторых противовоспалительных генов, а другие изоформы пока не изучены [5].

Различные цитокины и факторы роста фосфорилируют *STAT3* и перемещают активированный белок в ядро клетки, где он действует как фактор транскрипции [6, 7]. Ацетилирование, деацетилирование и дефосфорилирование *STAT3* приводит к нарушению метаболизма и иногда к патологиям [8-11]. В гипоталамусе *STAT3* имеет важное значение для опосредованной лептином регуляции энергетического метаболизма [12], о чем свидетельствует тот факт, что его делеция мешает нормальному гомеостазу массы тела и метаболизму глюкозы [13]. Более того, исследования на мышах показали, что нокаут гена *STAT3* сопровождается термической дисрегуляцией и в итоге приводит к ожирению и диабету [14].

На данный момент исследования ассоциации гена с энергетическим обменом, линейными размерами и живой массой животных проводились в основном на лабораторных животных и человеке, а на крупном рогатом скоте подобных сведений недостаточно. Однако есть данные, что у коров полиморфизм гена *STAT3* напрямую влияет на морфометрические параметры тела, а также площадь поперечного среза длиннейшей мышцы спины и толщину подкожного жира [15-19].

Так, китайскими учеными было установлено пять однонуклеотидных полиморфизмов (*SNP*): *SNP1-304A>C*, *SNP2-285G>A*, *SNP3-209A>C*, *SNP4-203A>G* и *SNP5-188T>C*, которые значимо ассоциировались с размерами тела животных ($P<0,05$) [20].

Некоторыми исследователями показаны связи полиморфизмов *STAT3* с репродуктивной функцией коров. Например, *R.R. Mota* с соавторами обнаружены вариации в локусе *STAT3*, тесно связанные с уровнем секреции лютеинизирующего гормона и показателями фолликулогенеза [21].

H. Khatib с соавторами было установлено, что полиморфизм *SNP25402* в локусе *STAT3* ассоциирован с коэффициентом оплодотворения у коров. Ооциты, полу-

ченные из яичников животных с генотипом *AA*, отличались более высоким коэффициентом оплодотворения (0,701) по сравнению с половыми клетками носительниц генотипов *AC* и *CC* (0,666 и 0,663 соответственно) [22, 23].

Группой исследователей в составе *Z. Cai, B. Guldbrandtsen, M.S. Lund* и *G. Sahana* (2018) в результате полногеномного ассоциативного анализа выявлена связь полиморфизма гена *STAT3* с восприимчивостью крупного рогатого скота к возникновению бактериальных инфекций [24].

Имеющиеся литературные сведения о частоте встречаемости генотипов и аллелей полиморфизма *rs110942700* гена *STAT3* показывают наличие выраженной породной специфичности в распределении аллельных вариантов данного локуса. Так, А.В. Игошин в публикации 2022 г. приводит данные, что у крупного рогатого скота породы герефорд отечественной и зарубежной селекции, в целом, превалировал аллель *T* гена *STAT3* (0,927 и 0,733 соответственно) [25]. При этом Е.Л. Романишко с соавторами (2024) в исследовании на коровах голштинской породы белорусской селекции сообщается о наибольшей частоте генотипа *CT* (0,453) и аллеля *C* (0,623) [26].

Таким образом, немногочисленность научных публикаций в мировом масштабе и отсутствие таковых в отношении отечественных пород позволяет говорить о высокой степени научной новизны этого направления исследований. Наличие данных, обнаруженных учеными с помощью полногеномных исследований, определяет актуальность изучения ассоциативных связей гена *STAT3* с морфофункциональными параметрами молочной железы коров. В связи с этим, цель работы: изучить морфофункциональные параметры молочной железы крупного рогатого скота голштинской породы разных генотипов по гену *STAT3*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводили в 2024-2025 гг. на коровах голштинской породы (n=26) ООО «Сущево» Костромской области. Зоотехнические данные были получены из ИАС «СЕЛЭКС» (Россия), ветеринарные – из программы «М-комплекс» (Россия).

Проводили линейную оценку коров с 30 по 120 день лактации, согласно «Правил оценки телосложения дочерей быков-производителей молочно-мясных пород»[1,2]. ([1]Приказ Минсельхоза РФ от 1 февраля 2011г. №25 «Об утверждении Правил ведения учета в племенном скотоводстве молочного и молочно-мясного направлений продуктивности».

[2]СНПплем Р 10-96. «Правила оценки телосложения дочерей быков производителей молочно-мясных пород», утвержденные Департаментом животноводства и племенного дела Минсельхозпрода России 14.06.1996 г.)

Определяли в бальной оценке прикрепление передних долей вымени, глубину вымени, высоту задних долей вымени, расположение передних и задних сосков, ширину задних долей вымени, длину передних и задних сосков, длину передних долей вымени. Морфологическую оценку вымени выполняли по методике ВАСХНИЛ[3] ([3]Оценка вымени коров, процесс молокоотдачи и болезни молочной железы в связи с машинным доением: Указ. лит. за 1982-1988 гг. / ВАСХНИЛ, ВНИИТЭИ агропром, Центр. науч. с.-х. б-ка ВАСХНИЛ. – 1990. – 101 с.)

Форму вымени определяли визуальным методом за 1,5 ч до доения. Функциональные свойства вымени оценивали у коров на 2 и 4 месяце лактации при помощи УЗКМ ММ-04В (Россия). Время доения измеряли с помощью секундомера.

Во время контрольных доек отбирали пробы молока в контейнеры объемом 50 мл с консервантом. Количество соматических клеток (СК) в молоке на 3 месяце лактации у коров-первотелок определяли на анализаторе молока «СОМАТОС» (Россия) вискозиметрическим методом и на приборе *Bentley SomaCount FC* (США) методом лазерной поточной цитометрии. Методика определения количества СК соответствует стандартам РФ ГОСТ 23453-2014.[4]

([4]Межгосударственный стандарт ГОСТ 23453-2014 «Молоко сырое. Методы определения соматических клеток». (Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08 декабря 2014 г. N 1950-ст введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 01 января 2016 г.)

Коров распределили на три группы по количеству соматических клеток в секрете молочной железы (до 299 тыс. кл/мл – здоровые, 300-800 тыс. кл/мл – субклинический мастит, 801 тыс. кл/мл и выше – клинический мастит)[5]. ([5] Исакова, М. Н. Эффективность использования данных, полученных с электронной системы роботизированного доения, при комплексной диагностике мастита у коров / М. Н. Исакова, М. В. Ряпосова // Ветеринария сегодня. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 119-125. – DOI 10.29326/2304-196X-2023-12-2-119-125. – EDN USZGDF [136].)

Клинический мастит подтверждали методом осмотра, пальпации и пробного доения, субклинический мастит – с помощью экспресс-диагностики с использованием молочно-контрольной пластинки и реактива «Кенотест» (Бельгия).

Для молекулярно-генетических исследований проводили отбор периферической венозной крови из vena caudalis коров с помощью индивидуальных вакутейнеров с антикоагулянтом ЭДТА К2 (Германия). Геномную ДНК из крови получали с помощью набора «ПРОБА-ГС-ГЕНЕТИКА» (Россия) в соответствии с инструкцией производителя.

Для идентификации однонуклеотидного полиморфизма гена сигнального белка и активатора транскрипции 3 (*STAT3*) методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) была разработана генетическая тест-система. Поиск последовательностей выполнен с помощью *NCBI* и *Ensembl*. Анализ нуклеотидных последовательностей, подбор праймеров и зондов проводили с помощью *Oligo 6.0* (таблица 1). Праймеры и зонды синтезированы в аккредитованной биосинтетической лаборатории (Россия).

Таблица 1 – Последовательности праймеров и зондов гена *STAT3* коров

Название	Последовательность
Ген сигнального белка и активатора транскрипции (*STAT3*) – *rs110942700 (1:g.42431578T>C)*	
STAT3_for	*5′-CAA AgA gCA TCC TCC gTC Agg TAA g-3′*
STAT3_rev	*5′-AAg TTC AgC ATA CAg gCT TCC TTC Tg-3′*
STAT3_C	*5′-TgA ACT CCg CCg AgA g-3′-(FAM)*
STAT3_T	*5′-TgA ACT CCg CTg AgA g-3′-(HEX)*
STAT3_BHQ	*(BHQ1)-3′-gCT gCC ATT gTT AgA CTC TTC-3′-(P)*

Качество ДНК определяли с помощью реактивов «*Lumiprobe*» (Россия) на флуориметре «*Fluo-200*» (Китай) по инструкции производителя, а оценку эффективности работы праймеров – методом агарозного гель-электрофореза в камере «*SE-2*» (Россия) с источником питания «Эльф-4» (Россия) и трансиллюминатора «Квант-С» (Россия) по общепринятой методике.

Генотипирование образцов ДНК коров проводили с использованием амплификатора «ДТпрайм» (Россия) при температуре отжига праймеров 63ºС.

Состав смеси для проведения полимеразной цепной реакции из расчета на 1 образец ДНК содержал 5 мкл образца ДНК, 20 мкл ПЦР-смеси (флуоресцентные зонды *FAM* и *HEX*, гаситель флуоресценции зонд *BHQ*, праймеры прямой и обратный), 0,24 мкл 25 *мМ* дезоксинуклеозидтрифосфат (*dNTP*), 10 мкл раствора термостабильного фермента (0,5 мкл *TAQ* полимеразы и 9,5 мкл ПЦР-буфера).

Генотип животного определяли по

данным анализа кривых плавления.

Частоту встречаемости генотипов *STAT3* рассчитывали по формуле 1:

$$P = \frac{m}{N}, \quad (1)$$

где *P* – частота встречаемости генотипа в группе;

m – количество носителей определенного генотипа,

N – общее число особей.

Частоту встречаемости аллельных вариантов гена *STAT3* в группах подопытных животных вычисляли по формуле 2:

$$p = \frac{2n_{CC}+n_{CT}}{2N} \text{ и } q = \frac{2n_{TT}+n_{CT}}{2N}, \quad (2)$$

где *p* – частота встречаемости аллеля *C*,

q – частота встречаемости аллеля *T*,

n_{CC}, n_{CT}, n_{TT}– число носителей генотипов *CC, CT* и *TT* соответственно,

N – общее число животных в группе.

Генное равновесие оценивали при помощи уравнения Харди-Вайнберга (3):

$$p^2+2pq+q^2=1, \quad (3)$$

где *p* и *q* – частоты аллелей *C* и *T* соответственно.

Статистическую обработку результатов осуществляли в *Excel* (2019). Проверку статистических гипотез выполняли в среде разработки *RStudio* версии 2024.12.0 (*Build* 467) на языке R версии 4.4.2. Статистическую значимость различий между группами животных определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента. Гипотеза о наличии статистически значимой разнице между средними арифметическими показателями групп принималась при преодолении уровня статистической значимости ($P<0,05$).

Шанс встретить фактор риска (аллель $STAT3^C$) у животных опытной группы (количеством соматических клеток более 800 тыс. в 1 мл молока) оценивался по модели «случай-контроль» [27]. Статистическая значимость влияния фактора риска определялась при помощи теста Фишера (*fisher.test*), альтернативная гипотеза о наличии влияния фактора риска принималась при статистической значимости теста ($P<0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате генотипирования коров голштинской породы ООО «Сущево» было установлено, что наибольшей частотой распространения в выборке обладал генотип *CT* (0,538) и аллель *T* (0,577) гена *STAT3* (таблица 2).

Преобладание в выборке гетерозиготного генотипа *STAT3* соответствует данным других авторов [26], однако по нашим исследованиям аллельный вариант *T* превалирует над *C*.

При анализе равномерности распределения аллелей гена *STAT3* в популяции при помощи метода «хи-квадрат» не было установлено значимого отклонения наблюдаемых частот генотипов от теоретически ожидаемых согласно уравнения Харди-Вайнберга. Наблюдаемая гетерозиготность при этом (*Ho* = 0,538) оказалась близко по значению с ожидаемой (*He* = 0,488), что является признаком отсутствия селекционного давления на данную популяцию по локусу *STAT3*.

У животных генотипа $STAT3^{CC}$ регистрировали клиническую форму катарального мастита с КСК более 800 тыс. кл/мл (рисунок 1).

Оценку влияния наличия алелелей гена *STAT3* на уровень соматических клеток в молоке коров проводили по модели «случай-контроль» (таблица 3).

Как видно из данных таблицы 3, шанс наличия фактора риска (аллеля $STAT3^C$) в генотипе коров с повышенным уровнем соматических клеток (более 800 тыс. в 1 мл молока) оказался на уровне 1,276:1, тогда как попадание этого же аллеля в контрольную группу с низким содержанием соматических клеток (<299 тыс. в 1 мл) оценивается с шансом 0,226:1. Таким образом, отношение шансов в этом случае составило 5,65 при *P* = 0,00019 и доверительном интервале 2,028…17,163, что говорит о статистически значимом шансе возникновения субклинического мастита у коров-носительниц аллеля $STAT3^C$ в 5,6 раз по сравнению с носительницами аллеля $STAT3^T$.

Результаты оценки морфологических характеристик молочной железы коров голштинской породы представлены в таблице 4. Установлено, что у первотелок генотипа $STAT3^{CC}$ большинство измеряе-

мых параметров было приближено к оптимальным значениям по сравнению с носителями других генотипов гена *STAT3*.

Таблица 2 – Частота генотипов и аллелей гена *STAT3* в выборке коров голштинской породы ООО «Сущево» Костромской области

Порода коров	*N*, голов	Частота							
		генотипы						аллели	
		CC		*CT*		*TT*		*C*	*T*
		n	доли	n	доли	n	доли	доли	доли
голштинская порода	26	4	0,154	14	0,538	8	0,308	0,423	0,577

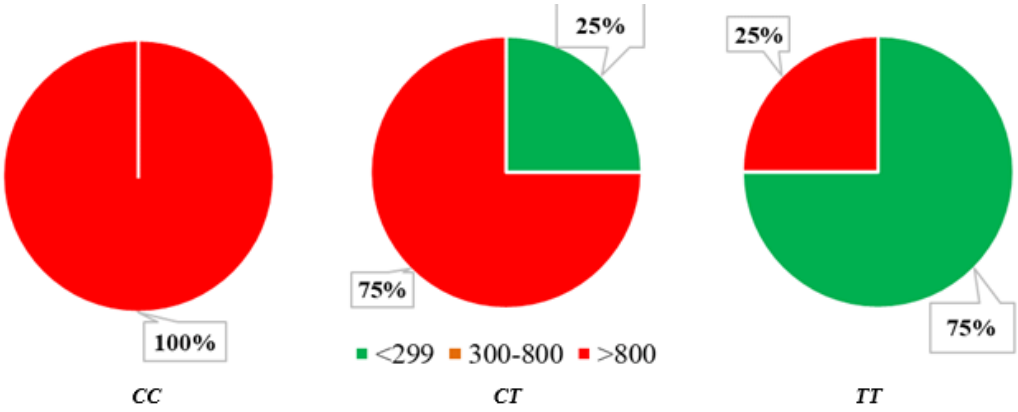


Рисунок 1 – Количество соматических клеток исследуемых коров голштинской породы разных генотипов гена STAT3.

Таблица 3 – Модель «случай-контроль» для оценки влияния аллелей гена *STAT3* на количество соматических клеток в молоке коров голштинской породы

Концентрация соматических клеток в 1 мл молока, тыс.	Аллель гена *STAT3*		Оценка шансов
	C	*T*	
более 800 (субклинический мастит)	37	29	1,275862
менее 299 (здоровые коровы)	7	31	0,225806
Оценка шансов	5,285714	0,935484	5,650246

При этом уровня статистической значимости достигли только показатели длины передних и задних сосков, которые были больше на 10,7% и 21,3% соответственно от величины альтернативного гомозиготного генотипа (см. таблицу 4).

На рисунке 2 отражено распределение исследуемых коров голштинской породы разных генотипов гена *STAT3* по форме вымени.

Отмечали, что 67% особей генотипа $STAT3^{CC}$ имели ваннообразную форму молочной железы, что является наиболее предпочтительным и характеризует склонность к высокому уровню молочной продуктивности, а учитывая также длину сосков, говорит, о пригодности вымени для машинного и роботизированного доения (см. рисунок 2).

При изучении функциональных свойств вымени коров голштинской породы разных генотипов гена *STAT3* не было обнаружено достоверных различий (таблица 5).

Таблица 4 – Линейная оценка вымени коров-первотелок голштинской породы стада ООО «Сущево» в разрезе генотипов гена *STAT3*

Показатели	Оптимальное значение[1]	Генотипы гена *STAT3*		
		CC	*CT*	*TT*
n	-	4	14	8
Прикрепление передних долей	8	5,50±0,65	4,86±0,38	4,88±0,48
Длина передних долей	9	5,25±0,63	5,21±0,33	5,00±0,38
Высота прикрепления задних долей	9	6,75±0,48	6,14±0,35	6,00±0,53
Ширина задних долей	9	6,75±0,75	6,64±0,45	5,88±0,48
Борозда вымени	9	6,75±0,63	5,85±0,44	5,63±0,50
Положение дна	6	4,50±0,50	4,57±0,33	4,63±0,46
Расположение передних сосков	5	5,25±0,25	5,29±0,13	4,75±0,16
Расположение задних сосков	5	6,00±0,71	5,43±0,20	5,38±0,18
Длина передних сосков	5	5,25±0,14*	4,89±0,18	4,69±0,16
Длина задних сосков	5	4,13±0,31*	3,79±0,22	3,25±0,19
Общий вид	100	79,75±2,14	79,21±0,98	77,38±1,19

Примечание: 1 – СНПплем Р 10-96. «Правила оценки телосложения дочерей быков производителей молочно-мясных пород», утвержденные Департаментом животноводства и племенного дела Минсельхозпрода России 14.06.1996 г.; 2 – Достоверность различий указана в сравнении с генотипом ТТ гена STAT3 (–P≤0,5; **–P≤0,01; ***–P≤0,001).*

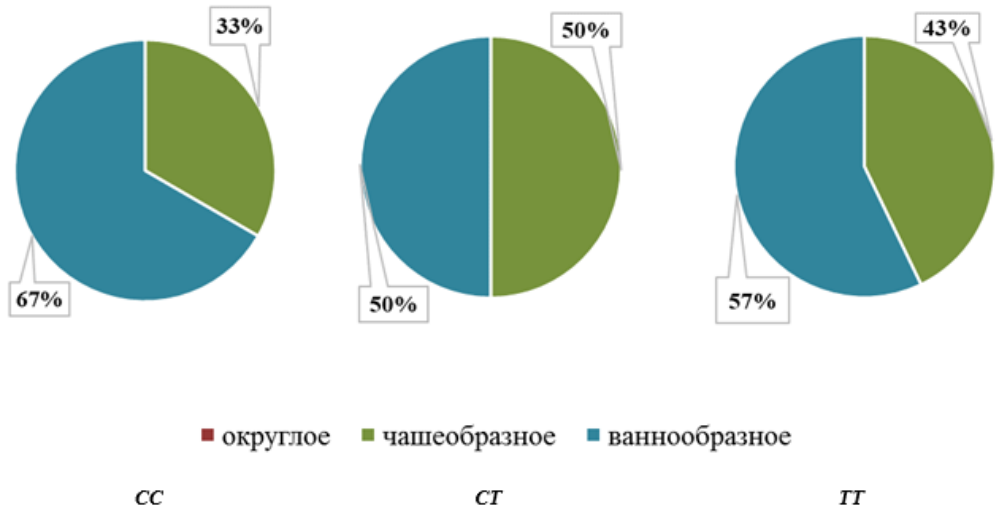


Рисунок 2 – Распределение исследуемых коров голштинской породы разных генотипов гена STAT3 по форме вымени.

Таблица 5 – Функциональные свойства вымени коров голштинской породы разных генотипов гена *STAT3*

Порода коров	Показатель	Генотипы гена *STAT3*		
		CC	*CT*	*TT*
голштинская порода	*n*	3	12	7
	суточный удой, кг	31,93±5,34	29,58±0,91	27,23±1,40
	время доения, мин	12,17±0,44	10,55±0,61	11,59±0,72
	скорость молокоотдачи, кг/мин	2,60±0,35	2,90±0,18	2,37±0,11

Однако, как видно из таблицы 5, тенденцией к более высокому суточному удою и скорости молокоотдачи обладали носители генотипа $STAT3^{CC}$.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, в выборке коров голштинской породы было установлено, что наибольшей частотой обладал гетерозиготный генотип $STAT3^{CT}$ (0,538) без наличия селекционного давления на данную популяцию по данному локусу.

У животных генотипа $STAT3^{CC}$ регистрировали клиническую форму катарального мастита с КСК более 800 тыс. кл/мл. При этом в результате анализа модели «случай-контроль» определяли статистически значимый шанс возникновения мастита у коров-носительниц аллеля $STAT3^{C}$ в 5,6 раз по сравнению с носительницами аллеля $STAT3^{T}$.

Также у особей генотипа $STAT3^{CC}$ отмечали наиболее оптимальные показатели морфофункциональных параметров молочной железы. Так, длина передних и задних сосков была больше на 10,7% и 21,3% соответственно ($P \leq 0,5$), чем у носителей генотипа $STAT3^{TT}$. Другие параметры демонстрировали схожие тенденции, однако не достигали порога статистической значимости, что однако не мешает делать предположение о лучшей пригодности для машинного и роботизированного доения молочной железы коров генотипа $STAT3^{CC}$.

Факт ассоциации аллеля *C* данного гена с риском возникновения мастита у коров следует учитывать при разведении животных и обращать внимание на их содержание. В качестве подкрепления гипотезы и повышения объективности предлагаемых выводов рекомендуется увеличение поголовья животных выборки и изучение данных тенденций в рамках других популяций крупного рогатого скота.

MORPHOFUNCTIONAL PARAMETERS OF THE MAMMARY GLAND OF HOLSTEIN CATTLE OF DIFFERENT GENOTYPES FOR THE *STAT3* GENE

Chaickaya K.D.* – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of of the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Surgery and Obstetrics (ORCID 0000-0003-3282-4779); **Chaitskiy A.A.** – Candidate of Biological Sciences, Lecturer at the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics (ORCID 0000-0002-5853-3809); **Korolev A.A.** – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Regional Information and Breeding Center (ORCID 0000-0003-1561-5449); **Kochueva N.A.** – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Surgery and Obstetrics (ORCID 0000-0002-6637-4924); **Schiogolev P.O.** – Candidate of Agricultural Sciences, Livestock Breeder of the Regional Information and Breeding Center (ORCID 0000-0003-3552-8457); **Durkina A.A.** – Laboratory assistant at the Laboratory of Genetics and DNA Technologies (ORCID 0009-0006-8530-6202); **Protasova E.M.** – 2nd year postgraduate student in the specialty 4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology (ORCID 0009-0003-8133-5071).

FSBEI HE Kostroma SAA

* kseniyasabetova@mail.ru

Financing: *The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24 -26-00199, https://rscf.ru/project/24-26-00199 /.*

ABSTRACT

The *STAT3* gene encodes the cytoplasmic protein signal transducer and activator of transcription 3 (*STAT3*). Currently, based mainly on foreign genome-wide studies, there is information on the association of the gene with energy metabolism, linear dimensions and live weight, but they were carried out mainly on laboratory animals and humans, and there is not enough such information on cattle. Objective: to study the morphofunctional parameters of the mammary gland of Holstein cattle of different genotypes for the STAT3 gene. The work was carried out in 2024-2025 on Holstein cows (n = 26) of Sushchevo, Kostroma Region. In the animals of the sample, the morphofunctional parameters of the mammary gland were assessed, the number of somatic cells (SC) in milk and the genotype for the *STAT3* gene were determined. As a result of the research, it was found that the heterozygous genotype $STAT3^{CT}$ (0.538) had the highest frequency. The clinical form of catarrhal mastitis with a SC of more than 800 thousand cells/ml was registered in animals of the $STAT3^{CC}$ genotype. Also, the most optimal indicators of morphofunctional parameters of the mammary gland were noted in individuals of the $STAT3^{CC}$ genotype. At the same time, as a result of the analysis of the case-control model, a statistically significant chance of mastitis occurrence in carriers of the $STAT3^{C}$ allele was determined by 5.6 times compared to carriers of the $STAT3^{T}$ allele. This should be taken into account when breeding animals and paying attention to their maintenance. To support the hypothesis and increase the objectivity of the proposed conclusions, it is necessary to increase the number of animals in the sample, study these trends in other cattle populations.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Darnell, J.E. Jr. STATs and gene regulation // Science. – 1997. – V. 12. – No 277 (5332). – PP.1630-1635. doi: 10.1126/science.277.5332.1630. PMID: 9287210.
2. Hillmer, E.J. STAT3 signaling in immunity /E.J. Hillmer, H. Zhang, H.S Li, S.S. Watowich // Cytokine Growth Factor Rev. – 2015. – No. 31. – PP. 1-15. doi: 10.1016/j.cytogfr.2016.05.001.
3. Chen, Q. Targeted inhibition of STAT3 as a potential treatment strategy for atherosclerosis / Q. Chen, J. Lv, W. Yang, B. Xu, Z. Wang // Theranostics. – 2019., No. 9. – PP. 6424-6442, doi: 10.7150/thno.35528.
4. Szelag, M. Targeted inhibition of STATs and IRFs as a potential treatment strategy in cardiovascular disease / M. Szelag, A. Piaszyk-Borychowska, M. Plens-Galaska, J. Wesoly, H.A.R. Bluyssen // Oncotarget. – 2016. – No. 7. – PP. 48788-48812, doi: 10.18632/oncotarget.9195.
5. Marino, F. STAT3β controls inflammatory responses and early tumor onset in skin and colon experimental cancer models / F. Marino, V. Orecchia, G. Regis, M. Musteanu, B. Tassone // Am. J. Cancer Res. – 2014. – No. 4. – PP. 484-494.
6. Alvarado, J.J. Crystal Structure of the Src Family Kinase Hck SH3-SH2 Linker Regulatory Region Supports an SH3-dominant Activation Mechanism / J.J. Alvarado, L. Betts, J.A. Moroco, T.E. Smithgall, J.I. Yeh // J. Biol. Chem.– 2010. No. 285. – PP. 35455–35461. doi: 10.1074/jbc.M110.145102.
7. Kamran, M.Z. Role of STAT3 in Cancer Metastasis and Translational Advances / M.Z. Kamran, P. Patil, R.P. Gude // BioMed Res. Int. – 2013. – No.1 – PP. 1-15. doi: 10.1155/2013/421821.
8. Li, J. STAT3 acetylation-induced promoter methylation is associated with downregulation of the ARHI tumor-suppressor gene in ovarian cancer / J. Li, G. Cui, L. Sun, S.J. Wang, Y.L. Li, Y.G. Meng, Z. Guan, W.S. Fan, L.A. Li, Y.Z. Yang // Oncol. Rep. – 2013. No. 30. PP.165-170. doi: 10.3892/or.2013.2414.
9. Pfeffer, S.R. Unphosphorylated STAT3 regulates the antiproliferative, antiviral, and gene-inducing actions of type I interferons / S.R. Pfeffer, M.Y. Fan, Z.Y. Du, C.H. Yang, L.M. Pfeffer // Biochem. Biophys. Res.

Commun. – 2017. No. 490. PP. 739–745. doi: 10.1016/j.bbrc.2017.06.111.
10. Limagne, E. Sirtuin-1 Activation Controls Tumor Growth by Impeding Th17 Differentiation via STAT3 Deacetylation / E. Limagne, M. Thibaudin, R. Euvrard, H. Berger, P. Chalons, F. Vegan, E. Humblin, R. Boidot, C. Rebe, V. Derangere // Cell Rep. – 2017. – No.19 – PP.746-759. doi: 10.1016/j.celrep.2017.04.004.
11. Song, Q. STAT3 and Smad3 activities are required for the wound healing properties of Periplaneta americana extracts / Q. Song, Y.X. Xie, Q.H. Gou, X.Q. Guo, Q. Yao, X.J. Gou // Int. J. Mol. Med. – 2017. – No. 40. – PP. 465-473. doi: 10.3892/ijmm.2017.3040.
12. Vaisse, C. Leptin activation of Stat3 in the hypothalamus of wild–type and ob/ob mice but not db/db mice / C. Vaisse, J.L. Halaas, C.M. Horvath, J.E. Darnell, M. Stoffel, J.M. Friedman // Nat. Genet. – 1996. – No.14. – PP.95-97. doi: 10.1038/ng0996-95.
13. Cui, Y.X. Essential role of STAT3 in body weight and glucose homeostasis / Y.X. Cui, L. Huang, F. Elefteriou, G.Q. Yang, J.M. Shelton, J.E. Giles, O.K. Oz, T. Pourbahrami, C.Y.H. Lu, J.A. Richardson // Mol. Cell. Biol. – 2004. – No. 24. – PP. 258-269. doi: 10.1128/MCB.24.1.258-269.2004.
14. Gao, Q. Disruption of neural signal transducer and activator of transcription 3 causes obesity, diabetes, infertility, and thermal dysregulation / Q. Gao, M.J. Wolfgang, S. Neschen, K. Morino, T.L. Horvath, G.I. Shulman, X.Y. Fu // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2004. – No. 101 – PP. 4661-4666. doi: 10.1073/pnas.0303992101
15. Song, N. Identification of single nucleotide polymorphisms of the signal transducer and activator of transcription 3 gene (STAT3) associated with body measurement and carcass quality traits in beef cattle / N. Song, L.S. Gui, H.C. Xu, S. Wu, L.S. Zan // Genet. Mol. Res. GMR. – 2015. – No.14. – PP. 11242-11249. doi: 10.4238/2015.September.22.18.
16. Jamshidi, Y. Common STAT3 variants are not associated with obesity or insulin resistance in female twins / Y. Jamshidi, T. Kyriakou, S.B. Gooljar, L.J. Collins, C.A. Lane, H. Snieder, X.L. Wang, T.D. Spector, S.D. O'Dell // Obesity. – 2007. – No.15. – PP. 1634-1639. doi: 10.1038/oby.2007.194.
17. Gianotti, T.F. Study of genetic variation in the STAT3 on obesity and insulin resistance in male adults / T.F. Gianotti, S. Sookoian, C. Gemma, A.L. Burgueno, C.D. Gonzalez, C.J. Pirola // Obesity. – 2008. – No.16. – PP. 1702-1707. doi: 10.1038/oby.2008.250.
18. Phillips, C.M. Dietary Saturated Fat Modulates the Association between STAT3 Polymorphisms and Abdominal Obesity in Adults / C.M. Phillips, L. Goumidi, S. Bertrais, M.R. Field, G.M. Peloso, J. Shen, R. McManus, S. Hercberg, D. Lairon, R. Planells // J. Nutr. – 2009. – No. 139. – PP. 2011-2017. doi: 10.3945/jn.109.110635.
19. Li, P. Genetic association analysis of 30 genes related to obesity in a European American population / P. Li, H.K. Tiwari, W.Y. Lin, D.B. Allison, W.K. Chung, R.L. Leibel, N. Yi, N. Liu // Int. J. Obes. – 2014. – No. 38. – PP.724-729. doi: 10.1038/ijo.2013.140.
20. Wu, S. Genetic Variants in STAT3 Promoter Regions and Their Application in Molecular Breeding for Body Size Traits in Qinchuan Cattle / S. Wu, Y. Wang, Y. Ning, H. Guo, X. Wang, L. Zhang, R. Khan, G. Cheng, H. Wang, L. Zan // Int. J. Mol. Sci. – 2018. – No. 19 (4). – PP. 1035. doi: 10.3390/ijms19041035. PMID: 29596388; PMCID: PMC5979584.
21. Mota, R.R. Genome-wide association study and annotating candidate gene networks affecting age at first calving in Nellore cattle / R.R. Mota, S.E.F. Guimarães, M.R.S. Fortes, B. Hayes, F.F. Silva, L.L. Verardo, M.J. Kelly, C.F. de Campos, J.D. Guimarães, R.R. Wenceslau, J.M. Penitente-Filho, J.F .Garcia, S. Moore // J. Anim. Breed Genet. – 2017. – No.134 (6). – PP. 484-492. doi: 10.1111/jbg.12299. Epub 2017 Oct 9.
22. Maj, T. Pleiotropy and redundancy of STAT proteins in early pregnancy / T. Maj, A. Chelmonska-Soyta // Reprod Domest Anim. – 2007. – No. 42 (4). – PP. 343-353. doi: 10.1111/j.1439-0531.2006.00787.x. PMID: 17635769,
23. Khatib, H. Effects of signal transducer and activator of transcription (STAT) genes

STAT1 and STAT3 genotypic combinations on fertilization and embryonic survival rates in Holstein cattle / H. Khatib, W. Huang, D. Mikheil, V. Schutzkus, R.L. Monson // J. Dairy Sci. – 2009. – No. 92 (12). – PP. 6186-6191. doi: 10.3168/jds.2009-2439. PMID: 19923622.
24. Cai, Z. Prioritizing candidate genes post-GWAS using multiple sources of data for mastitis resistance in dairy cattle / Z. Cai, B. Guldbrandtsen, M.S. Lund, G. Sahana // BMC Genomics. – 2018. – No. 19 (1). – P. 656. Published 2018 Sep 6. doi:10.1186/s12864-018-5050-x
25. Игошин, А.В. Сравнительный анализ частот ДНК-полиморфизмов, ассоциированных с заболеваниями и хозяйственно важными признаками, в геномах российских и зарубежных пород крупного рогатого скота / А.В. Игошин, Г.А. Ромашов, Е.Н. Черняева, Н.П. Елаткин, Н.С. Юдин, Д.М. Ларкин // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2022. – № 26(3). – С. 298-307 DOI 10.18699/VJGB-22-28.
26. Романишко, Е.Л. ДНК-диагностика полиморфизма rs110942700 гена активатора транскрипции (STAT3) для повышения эффективности осеменения коров / Е. Л. Романишко, А. И. Киреева, Н. И. Тиханович, М. Е. Михайлова // Молодые ученые - науке и практике АПК : Материалы Международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых, Витебск, 25-26 апреля 2024 года. – Витебск: Витебская государственная академия ветеринарной медицины, 2024. – С. 683-686. – EDN CMNQUM.
27. Сабетова, К.Д. Роль полиморфизма LEP R25C в предрасположенности коров к кетозу / К. Д. Сабетова, А. Д. Лемякин, А. А. Чаицкий [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 1. – С. 415-426. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.1.415. – EDN MWZUDC.

REFERENCES

1. Darnell, J.E. Jr. STATs and gene regulation // Science. – 1997. – V. 12. – No 277 (5332). – PP.1630-1635. doi: 10.1126/science.277.5332.1630. PMID: 9287210.
2. Hillmer, E.J. STAT3 signaling in immunity /E.J. Hillmer, H. Zhang, H.S Li, S.S. Watowich // Cytokine Growth Factor Rev. – 2015. – No. 31. – PP. 1-15. doi: 10.1016/j.cytogfr.2016.05.001.
3. Chen, Q. Targeted inhibition of STAT3 as a potential treatment strategy for atherosclerosis / Q. Chen, J. Lv, W. Yang, B. Xu, Z. Wang // Theranostics. – 2019., No. 9. – PP. 6424-6442, doi: 10.7150/thno.35528.
4. Szelag, M. Targeted inhibition of STATs and IRFs as a potential treatment strategy in cardiovascular disease / M. Szelag, A. Piaszyk-Borychowska, M. Plens-Galaska, J. Wesoly, H.A.R. Bluyssen // Oncotarget. – 2016. – No. 7. – PP. 48788-48812, doi: 10.18632/oncotarget.9195.
5. Marino, F. STAT3β controls inflammatory responses and early tumor onset in skin and colon experimental cancer models / F. Marino, V. Orecchia, G. Regis, M. Musteanu, B. Tassone // Am. J. Cancer Res. – 2014. – No. 4. – PP. 484-494.
6. Alvarado, J.J. Crystal Structure of the Src Family Kinase Hck SH3-SH2 Linker Regulatory Region Supports an SH3-dominant Activation Mechanism / J.J. Alvarado, L. Betts, J.A. Moroco, T.E. Smithgall, J.I. Yeh // J. Biol. Chem.– 2010. No. 285. – PP. 35455–35461. doi: 10.1074/jbc.M110.145102.
7. Kamran, M.Z. Role of STAT3 in Cancer Metastasis and Translational Advances / M.Z. Kamran, P. Patil, R.P. Gude // BioMed Res. Int. – 2013. – No.1 – PP. 1-15. doi: 10.1155/2013/421821.
8. Li, J. STAT3 acetylation-induced promoter methylation is associated with downregulation of the ARHI tumor-suppressor gene in ovarian cancer / J. Li, G. Cui, L. Sun, S.J. Wang, Y.L. Li, Y.G. Meng, Z. Guan, W.S. Fan, L.A. Li, Y.Z. Yang // Oncol. Rep. – 2013. No. 30. PP.165-170. doi: 10.3892/or.2013.2414.
9. Pfeffer, S.R. Unphosphorylated STAT3 regulates the antiproliferative, antiviral, and gene-inducing actions of type I interferons / S.R. Pfeffer, M.Y. Fan, Z.Y. Du, C.H. Yang, L.M. Pfeffer // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 2017. No. 490. PP. 739–745. doi: 10.1016/j.bbrc.2017.06.111.
10. Limagne, E. Sirtuin-1 Activation Con-

trols Tumor Growth by Impeding Th17 Differentiation via STAT3 Deacetylation / E. Limagne, M. Thibaudin, R. Euvrard, H. Berger, P. Chalons, F. Vegan, E. Humblin, R. Boidot, C. Rebe, V. Derangere // Cell Rep. – 2017. – No.19 – PP.746-759. doi: 10.1016/j.celrep.2017.04.004.

11. Song, Q. STAT3 and Smad3 activities are required for the wound healing properties of Periplaneta americana extracts / Q. Song, Y.X. Xie, Q.H. Gou, X.Q. Guo, Q. Yao, X.J. Gou // Int. J. Mol. Med. – 2017. – No. 40. – PP. 465-473. doi: 10.3892/ijmm.2017.3040.

12. Vaisse, C. Leptin activation of Stat3 in the hypothalamus of wild–type and ob/ob mice but not db/db mice / C. Vaisse, J.L. Halaas, C.M. Horvath, J.E. Darnell, M. Stoffel, J.M. Friedman // Nat. Genet. – 1996. – No.14. – PP.95-97. doi: 10.1038/ng0996-95.

13. Cui, Y.X. Essential role of STAT3 in body weight and glucose homeostasis / Y.X. Cui, L. Huang, F. Elefteriou, G.Q. Yang, J.M. Shelton, J.E. Giles, O.K. Oz, T. Pourbahrami, C.Y.H. Lu, J.A. Richardson // Mol. Cell. Biol. – 2004. – No. 24. – PP. 258-269. doi: 10.1128/MCB.24.1.258-269.2004.

14. Gao, Q. Disruption of neural signal transducer and activator of transcription 3 causes obesity, diabetes, infertility, and thermal dysregulation / Q. Gao, M.J. Wolfgang, S. Neschen, K. Morino, T.L. Horvath, G.I. Shulman, X.Y. Fu // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2004. – No. 101 – PP. 4661-4666. doi: 10.1073/pnas.0303992101

15. Song, N. Identification of single nucleotide polymorphisms of the signal transducer and activator of transcription 3 gene (STAT3) associated with body measurement and carcass quality traits in beef cattle / N. Song, L.S. Gui, H.C. Xu, S. Wu, L.S. Zan // Genet. Mol. Res. GMR. – 2015. – No.14. – PP. 11242-11249. doi: 10.4238/2015.September.22.18.

16. Jamshidi, Y. Common STAT3 variants are not associated with obesity or insulin resistance in female twins / Y. Jamshidi, T. Kyriakou, S.B. Gooljar, L.J. Collins, C.A. Lane, H. Snieder, X.L. Wang, T.D. Spector, S.D. O'Dell // Obesity. – 2007. – No.15. – PP. 1634-1639. doi: 10.1038/oby.2007.194.

17. Gianotti, T.F. Study of genetic variation in the STAT3 on obesity and insulin resistance in male adults / T.F. Gianotti, S. Sookoian, C. Gemma, A.L. Burgueno, C.D. Gonzalez, C.J. Pirola // Obesity. – 2008. – No.16. – PP. 1702-1707. doi: 10.1038/oby.2008.250.

18. Phillips, C.M. Dietary Saturated Fat Modulates the Association between STAT3 Polymorphisms and Abdominal Obesity in Adults / C.M. Phillips, L. Goumidi, S. Bertrais, M.R. Field, G.M. Peloso, J. Shen, R. McManus, S. Hercberg, D. Lairon, R. Planells // J. Nutr. – 2009. – No. 139. – PP. 2011-2017. doi: 10.3945/jn.109.110635.

19. Li, P. Genetic association analysis of 30 genes related to obesity in a European American population / P. Li, H.K. Tiwari, W.Y. Lin, D.B. Allison, W.K. Chung, R.L. Leibel, N. Yi, N. Liu // Int. J. Obes. – 2014. – No. 38. – PP.724-729. doi: 10.1038/ijo.2013.140.

20. Wu, S. Genetic Variants in STAT3 Promoter Regions and Their Application in Molecular Breeding for Body Size Traits in Qinchuan Cattle / S. Wu, Y. Wang, Y. Ning, H. Guo, X. Wang, L. Zhang, R. Khan, G. Cheng, H. Wang, L. Zan // Int. J. Mol. Sci. – 2018. – No. 19 (4). – PP. 1035. doi: 10.3390/ijms19041035. PMID: 29596388; PMCID: PMC5979584.

21. Mota, R.R. Genome-wide association study and annotating candidate gene networks affecting age at first calving in Nellore cattle / R.R. Mota, S.E.F. Guimarães, M.R.S. Fortes, B. Hayes, F.F. Silva, L.L. Verardo, M.J. Kelly, C.F. de Campos, J.D. Guimarães, R.R. Wenceslau, J.M. Penitente-Filho, J.F .Garcia, S. Moore // J. Anim. Breed Genet. – 2017. – No.134 (6). – PP. 484-492. doi: 10.1111/jbg.12299. Epub 2017 Oct 9.

22. Maj, T. Pleiotropy and redundancy of STAT proteins in early pregnancy / T. Maj, A. Chelmonska-Soyta // Reprod Domest Anim. – 2007. – No. 42 (4). – PP. 343-353. doi: 10.1111/j.1439-0531.2006.00787.x. PMID: 17635769,

23. Khatib, H. Effects of signal transducer and activator of transcription (STAT) genes STAT1 and STAT3 genotypic combinations on fertilization and embryonic survival rates in Holstein cattle / H. Khatib, W. Huang, D.

Mikheil, V. Schutzkus, R.L. Monson // J. Dairy Sci. – 2009. – No. 92 (12). – PP. 6186-6191. doi: 10.3168/jds.2009-2439. PMID: 19923622.
24. Cai, Z. Prioritizing candidate genes post-GWAS using multiple sources of data for mastitis resistance in dairy cattle / Z. Cai, B. Guldbrandtsen, M.S. Lund, G. Sahana // BMC Genomics. – 2018. – No. 19 (1). – P. 656. Published 2018 Sep 6. doi:10.1186/s12864-018-5050-x
25. Igoshin, A.V. Comparative analysis of the frequencies of DNA polymorphisms associated with diseases and economically important traits in the genomes of Russian and foreign cattle breeds / A.V. Igoshin, G.A. Romashov, E.N. Chernyaeva, N.P. Elatkin, N.S. Yudin, D.M. Larkin // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. - 2022. - No. 26 (3). - P. 298-307 DOI 10.18699 / VJGB-22-28.
26. Romanishko, E.L. DNA diagnostics of the rs110942700 polymorphism of the transcription activator gene (STAT3) to improve the efficiency of cow insemination / E. L. Romanishko, A. I. Kireeva, N. I. Tikhanovich, M. E. Mikhailova // Young scientists - for science and practice of the agro-industrial complex: Proceedings of the International scientific and practical conference of postgraduates and young scientists, Vitebsk, April 25-26, 2024. - Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, 2024. - P. 683-686. - EDN CMNQUM.
27. Sabetova, K.D. The role of LEP R25C polymorphism in the predisposition of cows to ketosis / K. D. Sabetova, A. D. Lemyakin, A. A. Chaitsky [et al.] // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2024. – No. 1. – P. 415-426. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.1.415. – EDN MWZUDC.

УДК 612:636.082.1:636.1(048.8)(571.56)
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.486

ВОСПРОИЗВОДСТВО И АДАПТАЦИЯ ТАБУННЫХ ЛОШАДЕЙ К АРКТИЧЕСКИМ И СУБАРКТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ СЕВЕРА СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ: КРАТКИЙ ОБЗОР

Слепцов Е.С. [1]* – д-р ветеринар. наук, проф., лаборатория оленеводства и традиционных отраслей Севера; **Осипов В.Г.**[1] – вед. науч. сотр., канд. с.-х. наук, лаборатория селекции и разведения лошадей; **Стручков Н.А.**[2] – канд. ветеринар. наук, доц. каф. незаразных болезней; **Нифонтов К.Р.**[2] – канд. ветеринар. наук., доц., проректор по научной работе; **Винокуров И.Е.**[1] – ст. науч. сотр., канд. ветеринар. наук, лаб. селекции и разведения лошадей; **Саввинова М.С.**[2] – д-р ветеринар. наук, проф. каф. ВСЭ и гигиены

[1] ФГБУН ФИЦ "Якутский научный центр СО РАН Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова"
[2] ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»

*evgeniycemenovic@mail.ru

Ключевые слова: *лошади, якутская порода, воспроизводство, адаптация, стрессреактивность, шерстный покров, физиологические показатели, жироотложение, терморегуляция.*

Key words: *horses, Yakut breed, reproduction, adaptation, stress-reactivity, coat, physiological indicators, fat reduction, thermoregulation.*

Поступила: 05.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Целью работы был краткий обзор вопросов воспроизводства и адаптации якутской лошади к суровым условиям Арктики и Субарктики на территории Якутии. Сделан анализ исследований, проведенных научными учреждениями страны по вопросам воспроизводства и морфологической и физиологической адаптации якутских табунных лошадей к условиям Арктики и Субарктики севера Сибири за последние 60 лет. Из рассмотренного нами краткого обзора литературы видно, что часть популяции подвержена воздействию таких отрицательных факторов среды, как аномально сильные морозы, нехватка подснежного корма и ее низкое качество, летняя жара и т.п. Оно проявляется в снижении показателей воспроизводства, в заметном истощении части поголовья. Алексеев Н.Д. (2008) выдвинул гипотезу ранней диагностики стрессреактивности лошадей якутской породы на основе методики определения количества эозинофилов в крови животных. Это он связывал с возникновением в организме лошадей стрессового состояния, сопровождаемого эозинопенией. Уменьшение показателя эозинофилов более, чем на 50% от исходного уровня он предлагал считать стрессчувствительностью животного. Преобладание серой масти у якутских лошадей, обитающих в высоких широтах Субарктики и Арктики в крайне холодных

условиях, это – не распространение серой масти арабского скакуна, а поддерживаемый естественным отбором приспособительный признак. К морфологической адаптации относится и характер развития волосяного покрова у якутской лошади. Количество и качество шерстного покрова якутской лошади в сравнении другими породами были изучены очень тщательно Алексеевым Н.Д. Часть популяции якутской лошади подвержена воздействию отрицательных факторов среды Арктики и Субарктики, которое проявляется в снижении показателей воспроизводства, в заметном истощении части поголовья, таким образом следует проверить на большом поголовье методику ранней диагностики стрессреактивности лошадей якутской породы.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Республика Саха (Якутия) расположена на северо-востоке Сибири и большую часть ее территории занимают субарктическая и арктическая зоны. Тем не менее, здесь с XIV века, т.е. 700-750 лет разводится якутская лошадь, представленная сейчас тремя породами табунных лошадей и самая многочисленная в России [1,2,36]. Несмотря на кажущееся благополучие содержания табунных лошадей, деловой выход жеребят, основной практический показатель воспроизводства лошадей, в последние пять в республике составил всего лишь 52,6%. По влиянию на деловой выход жеребят не последнюю роль оказывают природно-климатические условия, также состояние доступности и питательной ценности подножных кормов, нарушения технологических условий содержания и кормления лошадей в хозяйствах. Низкий деловой выход жеребят может зависеть и от эпизоотологических причин, так по данным Неустроева М.П. и др. 2018 [34] инфекционные болезни снижают деловой выход жеребят на 20-40% в зависимости от эпизоотической ситуации. Возникновению болезни способствуют снижение иммунной резистентности жеребых кобыл вследствие неблагополучных условий тебеневки, несвоевременной подкормки и качества заготовленного сена. В этом плане кормление и содержание табунных лошадей соответственно зоотехнических норм зимнего кормления и содержания может в определенной мере поднять показатели воспроизводства [37]. Основанием для установления диагноза на алиментарный аборт являются исключение инфекционных и инвазионных болезней, отсутствие у абортированных плодов и плодных оболочках видимых патологических изменений, неполноценность рациона, низкое содержание в крови каротина, витаминов А, Д, Е и других, макро- и микроэлементов. Профилактика алиментарных абортов заключается в устранении причин, вызывающих эту патологию.

Среди абиотических причин, вызывающих аборты у кобыл, основными считают стрессовые воздействия первоначальных низких температур в Якутии, наступающие в конце октября – начале ноября [36, 22,23] и качество объемистых кормов [17]. Таким образом, понимание процессов адаптации якутской лошади к крайне экстремальным условиям Якутии имеет первостепенное практическое значение. Без сомнения, особо жесткие испытания к приспособительным качествам якутской лошади предъявляет якутская зима, не имеющая аналогов в северном полушарии [29].

Вся история развития животноводства самым тесным образом связана с акклиматизацией и адаптацией домашних животных к новым для них природным условиям.

С первых лет своего появления на средней Лене вместе предками якутов, освоилась, адаптировалась, на данной территории, являющейся мировым центром холода северного полушария [1,2]. На арктическую же часть Якутии якутская лошадь проникла из разных областей южного ареала ее расселения якутов чуть позже, начиная по крайней мере, с XVI века [15, 28]. Гипотеза академика Черского о существовании т.н. белой тундровой лошади, якобы дожившей с плейстоцена до появления якутского населения и одомашненной ими пока не нашла подтверждения [10,38]. В настоя-

щее время конское поголовье размещено в южных, западных, северо-восточных горных и низменных районах, в том числе, в полюсах холода Северного полушарья, Оймяконском и Верхоянском районах. Обеспеченность грубыми и пастбищными кормами, согласно современным нормам кормления якутской лошади, за редким исключением, удовлетворительная [Винокуров Н.Т.]. Область содержания в Якутии трех табунных пород лошадей характеризуется как один из наиболее холодных и суровых частей северного полушария, с жарким, но с коротким летом (абсолютные показатели – до +380С) и длительной, 7-9 месяцев в году, зимой с максимумом до -68-720С [10,11]. Таким образом, продолжительность тебеневочного периода составляет от 7 месяцев на юге до 8-9 месяцев на севере региона. Доступность при средней мощности толщи снега 35-45 см и хорошее качество зимних тебеневочных кормов, отавы на сенокосных площадях и сырых лугов, способствует к тому, что лошади Якутии удовлетворительно перезимовывают и дают полноценное потомство. Есть точка зрения исследователей, что якутская лошадь удивительно быстро адаптировалась к весьма суровым условиям Субарктики и Арктики, чему способствовало, безусловно, и забота со стороны человека. Помощь человека по свидетельству исследователей XVIII-XIX веков Левенталя, Миддендорфа, Серошевского выражалась в заготовке страховых запасов сена, оставлении лучших огороженных площадей сенокосных угодий с ее отавой специально для тебеневки маточного состава, наличии коневодов-табунщиков [3,8,9,10,11]. Приспособление, адаптация якутских лошадей к суровым условиям севера Сибири в течение, по крайней мере, в последние 800-900 лет проходила благодаря морфологическим, физиологическим и биохимическим механизмам их организма [19,20,21,22,32,39].

Первые академические исследователи отмечали особенную низкорослость якутской лошади. При этом отмечали ее эйрисомность, что связано с выражением морфологической адаптации, подтвержением правила Бергмана и было зафиксировано и поздними исследованиями научных учреждений [7,14,24,31]. Другим наиболее желательным признаком табунных лошадей является упитанность лошадей, которая указывает на способность животных отлагать жировые запасы для зимовки. Жировая прослойка у северных животных служит изолятором организма от прямого воздействия суровых зимних холодов.

Цель работы – дать краткий обзор исследований по воспроизводству и адаптации якутской лошади к суровым условиям Арктики и Субарктики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Материалы и методы. Проводился анализ проведенных за последние 60 лет исследований, проведенных Якутским НИИСХ, бывшим Институтом биологии ЯФ СО РАН (ныне Институтом биологических проблем криолитозоны, ИБПК ФИЦ ЯНЦ СО РАН) и другими научными учреждениями страны по вопросам физиологической адаптации якутской лошади к условиям севера Сибири. [18]. Взяты во внимание пометки сотрудников Камчатской экспедиции, заставших якутское животноводческое хозяйство в ее еще традиционном, не тронутом «цивилизацией» состоянии, ссыльных, путешественников и исследователей 19-го века, изучавших и наблюдавших местное коневодство воочию и в сравнении с коневодством других регионов Российской империи.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Особый урон воспроизводству лошадей, а именно благоприятному течению жеребости оказывают первые зимние холода, даже порядка – 20С – -30С [29]. Затем несмотря на адаптацию к установившимся сильным холодам, продолжительная зимовка с температурами воздействует на животных через интенсивную потерю тепла и энергии своего организма. Алексеев Н.Д. позже развил гипотезу ранней диагностики стрессреактивности лошадей якутской породы на основе мето-

дики определения количества эозинофилов в крови животных. Это он связывал с возникновением в организме лошадей стрессового состояния, сопроводаемого эозинопенией. Уменьшение показателя эозинофилов более, чем на 50% от исходного уровня он предлагал считать стрессчувствительностью животного. Поэтому он предлагал включить в селективные признаки племенной лошади наряду с продуктивными качествами (живой массой, хорошим экстерьером и т.п.) и приспособительные качества, а именно исключить стрессчувствительных кобыл и жеребцов из племенного использования [22,23,32]. Методика прошла производственную проверку и только. Предстоит провести широкие производственные испытания. Зимой температура в Якутии может достигать -60°С, иногда даже до -65-70°С в Верхоянске и Оймяконе. К началу зимы жеребость кобыл оценивается в 75-80. иногда и 85-90, но по прошествии долгих морозов жеребость снижается до 55-60%. Зима длительная, с октября по начало мая, 210–240 дней, из них, что немаловажно, сильные морозы порядка – 35С – -55С, как правило, продолжаются с середины ноября до середины марта, т.е без малого 4 месяца. Вся территория Якутии скована многолетнемерзлыми породами. Бесснежный период всего 120-150 дней. Лето короткое, 2-3 месяца, поэтому почва едва успевает оттаять на глубину 80 -100 см. Для объяснения возможности табунного разведения лошадей в условиях вечной мерзлоты рассмотрим все основные элементы природной обстановки.

Особенностью климата Якутии является небольшое количество осадков в году и очень сухая зима. Многолетние данные показывают, что снежный покров в различных районах Якутии едва достигает 40-50 см, а в Верхоянске и Оймяконье – 25-30 см. Малая мощность снежного покрова и отсутствие оттепелей с ноября по начало апреля и способствует тебеневке лошадей. С октября по апрель выпадает только снег, оттепели зимой редки и гололедицы в этих условиях почти не бывает. Благоприятным моментом в этом отношении является также сухая осень, характерная для большинства районов Якутии.

Табунное коневодство, основанное на круглогодичном пастбищном содержании лошадей, являет собой отрасль животноводства наиболее приближенную к образу обитания таких диких копытных животных, как лошадь Пржевальского, сайгак, дикий северный олень, лось, косуля и другие. Поэтому такие природные абиотические факторы, как солнечная активность, климат, гидрологический режим и т.п., без сомнения лимитируют в известной мере численность и якутской лошади [33]. Следует сразу оговориться, что все три породы табунных лошадей Якутии якутская, приленская и мегежекская содержатся по сходной технологии разведении, опирающейся на кругогодовом вольно-косячном содержании. Поэтому в данной работе все три породы мы условно называем якутской лошадью. Такая технология содержания якутской лошади предусматривает изучение в первую очередь пространственной структуры их косяков якутской лошади, имеющей немаловажное практическое значение, что капитально была изучена Р.В. Ивановым [37]. Косяк лошадей (кобыл), возглавляемый жеребцом-предводителем, на месте обитания действует группа диких копытных животных. Ивановым Р.В. было установлено, что приучить косяки к новым местам выпаса удается не всегда. Несмотря на хороший корм, косяк уходил на старые участки обитания. Им расчетным путем определены на основании суточных наблюдений и троплений ориентировочные размеры годовых участков обитания десяти косяков. Четко выраженное территориальное поведение косячного жеребца четко проявляется весной, во время случного сезона, когда косяки не делают больших перемещений по своему участку в связи с глубокой жеребостью кобыл и наличием новорожденного приплода. Если вне сезона случки участки обитания часто перекрываются, то в период случки участок обитания активно охраняется жеребцом-косячником. Такое

поведение является, по-видимому, является приспособительным механизмом и у кобыл глубокая жеребость и сама выжеребка проходят при отсутствии стрессов, связанных с изменением окружающей природной обстановки. Участие человека ограничивается возведением строительства сараев – укрытий от непогоды и летнего зноя на местах обитания косяков. Также строятся загоны для зимнего содержания в ноябре – мае молодняка младшего возраста и для выполнения плановых работ по технологическому циклу содержания и обслуживания взрослого поголовья [30].

Распределение летних осадков оказывает существенное влияние на условия табунного разведения лошадей. В условиях засушливых весны, первой половины лета на фоне прохладной из-за близкого залегания мерзлоты почвы урожайность сена едва достигает 7-8 ц/га. Главная масса осадков приходится, как правило, на вторую половину лета, что способствует росту отавы (2-4 ц/га сухой массы), которая и используется на выпасе косяков лошадей осенью и зимой.

Для табунного коневодства также важны ветры и колебания температуры. Несмотря на суровость природных условий, зима в Якутии проходит спокойно без сильных ветров и бурь, за исключением северных районов. В условиях безветрия лошади более легко переносят холод. При очень низких температурах зимой лошади перезимовывают под открытым небом, питаясь подножными кормами и иногда малыми запасами сена.

Исследование уникальных физиологических механизмов адаптации якутских лошадей к экстремальным климатическим условиям Якутии начали только с 1970-х годов [18,39]. Алексеев Н.Д. в 1969-2005 гг. провел первые в России глубокие исследования по экологии и биологии якутской лошади по сравнению с орловскими рысаками, шетлендских пони и орловско-якутскими помесными лошадьми. Якутские лошади обладают уникальными физиологическими и поведенческими чертами, которые позволяют им выживать при температурах до -70 градусов. Работа включает анализ их способности добывать ветошный корм в течение 7-8 месяцев зимы под глубоким снегом, Актуальность исследования заключается в значимости сохранения и использования этой породы как национального богатства и ресурса для дальнейшего изучения эволюции адаптационных механизмов в животных [21,22,29].

Librado P. и др., изучив генетические особенности адаптации якутской лошади, отмечают быструю их адаптации к крайне суровым условиям высоких широт в эволюционной плане в течение 650-700 лет [38]. По данным археологических раскопок так называемой «кулун-атахской культуры», приводимых Гоголевым А.И., якутские лошади, по крайней мере, появились в центральной Якутии в XIII—XIV веках [2].

Характер масти также может служить примером адаптации к определенному климату. Серая масть часто встречается среди арабских лошадей, хорошо приспособленных к жаркому климату аравийских пустынь с интенсивным солнечным излучением. Адаптивные преимущества носителей мутации Grey, обитающих в условиях пустыни, связаны с тем, что данная мутация вызывает прогрессирующее поседение волос, не влияя на пигментацию кожи и глаз: белая шерсть животных хорошо отражает свет, а темная кожа обеспечивает надежную защиту от ультрафиолетового излучения [39]. Преобладание серой масти у якутских лошадей, обитающих в высоких широтах Субарктики и Арктики в крайне холодных условиях, это – не распространение серой масти арабского скакуна, а поддерживаемый естественным отбором приспособительный признак [28]/

По морфологической адаптации якутской лошади Якутской лошади характерна хорошо развитая грудная система и удлиненность и широкотелость туловища, что обеспечивает компактность при небольшой массе тела. Крепость костяка и хорошая оброслость всего туловища и конечностей обеспечивает общую кре-

пость конституции и сохранение тепла при длительных зимних морозах [29].

При превалирующей картине маловесности якутских лошадей по всему ареалу ее разведения имеет место явное выделение ее отдельных типов и субпопуляций из этого ряда. Например, таких типов, как янская и колымская якутской породы, также оймяконская и абыйская субпопуляции янского типа. По живой массе как жеребцы, так и кобылы оймяконской лошади превосходят жеребцов и кобыл янского, колымского и коренного типов [31]. Увеличение массы тела у этих лошадей может быть связано с сравнительно лучшими кормовыми условиями в северных районах по сравнению с южными кормовыми условиями разведения якутской лошади, расположенными в умеренном поясе. Так, в арктических и субарктических районах количество пастбищных кормов больше [31] и качество подножных кормов, в т.ч. и тебеневочных кормов, лучше/

К морфологической адаптации относится и характер развития волосяного покрова у якутской лошади. Количество и качество шерстного покрова якутской лошади в сравнении другими породами были изучены очень тщательно Алексеевым Н.Д. [19,20,29,32]. В зимней шерсти якутской лошади волос имеет полость, заполненный воздухом, диаметр которой от 77 до 84 % от всей толщины волоса. К этому следует добавить зимнее загущение волос, с 812±19,2 см летом до 1264±66,0 см зимой, т.е в 1,5 раза гуще зимой, удлинение волос к зиме более чем в раз по сравнению с летним, с 12,7±1,03 мм до 29,2 ±1,19 мм [22,27]. При такой «одежде» снижаются потери тепла через поверхность тела и дольше сохраняется энергетический баланс на более долгий срок.

Винокуров И.Н. приводит данные сравнительного изучения шерстного покрова якутских лошадей и якутско-казахских помесей [24. Попов Р.А. провел измерения тепловизором температуры поверхности шерстного покрова лошадей [25,26]. Им установлено усиленное кровеснабжение конечностей якутской лошади, обеспечивающее им удовлетворительное пребывание в природных условиях холодной зимы. У чистокровных и помесных лошадей он обнаружил сильное остужение конечностей, поэтому их содержат только в конюшнях, чтобы они могли пережить якутскую зиму.

Таким образом, следует подчеркнуть, что якутская лошадь проходит и морфологическую адаптацию.

Физиологические механизмы адаптации выражаются в уровне и своеобразии протекания биохимических процессов [4,5,6,13,32,35,39]. В основе любых изменений физиологических функций организма, направленных на сохранение жизни, лежат происходящие на молекулярном уровне биохимические процессы. Мобилизация биоэнергетических субстратов является одним из обязательных компонентов приспособительного процесса при формировании термической адаптации животных. У якутских лошадей зимой возрастает содержание альбуминов в крови, что связано с возрастанием жирового обмена. Содержание глюкозы и свободных жирных кислот повышается в ходе наступления зимних холодов. В ноябре в крови обнаруживаются наивысшие показатели жирового обмена. Из гормонов содержание кортизола резко повышается в декабре и в июне, когда окружающая температура воздействует на организм лошадей как стрессовый фактор.Кортизол и тироксин относятся к адаптогенным при изменении условий среды [32].

Жиры служат несомненным запасом при прохождении животными физиологических механизмов адаптации. Они играют не последнюю роль в биохимических адаптивных реакциях организма при наступлении зимних холодов.

Якутские лошади к концу осени нагуливают жира толщиной 8-9 см на гребне, у корня хвоста – 3-3,5 см, на брюшине – 4,5 см. Мясо якутской лошади высококалорийна и достигает 2526 ккал [12,16,29]. У чистопородных якутских лошадей зимний шерстный покров обладает более

высокими теплоизолирующими свойствами, чем шерстный покров метизированных лошадей. Зимняя теплопродукция у якутских лошадей на 22,6 % ниже по сравнению с метизированными.

Припособительное значение имеют и поведенческие реакции якутских лошадей. Жеребцы-производители, основатели линий, во всех породах лошадей табунного содержания, не исключая и оймяконских лошадей, кроме своих выдающихся племенных качеств (отличного экстерьера, большой живой массы, хорошей приспособленности, плодовитости) обладают и такими превосходными «косячными» качествами, как умение максимально эффективно использовать сезонные пастбища, защищать свой косяк кобыл и молодняка от хищников. [31].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Нельзя сказать, что адаптация якутской лошади к природным условиям высоких широт завершена. Адаптация в ее многогранности еще продолжается во времени и в пространстве, пока организм еще существует в высоких широтах Арктики. Из рассмотренного нами краткого обзора литературы по адаптации якутской лошади к условиям обитания и содержания видно, что часть популяции подвержена воздействию таких отрицательных факторов среды, как аномально сильные морозы, глубокие снега, нехватка подснежного корма и ее низкое качество, летняя жара и т.п. Оно проявляется в снижении показателей воспроизводства, в заметном истощении части поголовья.

REPRODUCTION AND ADAPTATION OF HERDS TO THE ARCTIC AND SUBARCTIC CONDITIONS OF THE NORTH OF SIBERIA ON THE EXAMPLE OF YAKUTIA: A BRIEF REVIEW

Sleptsov E.[1] – the Laboratory of Reindeer Breeding and Traditional Branches of North, main research fellow, Grand PhD in Veterinary sciences, professor; **Osipov V.** [1] – the Laboratory of Horse Breeding and Selection, senior research fellow, PhD in Agriculture; **Struchkov N.** [2] – the Department of Non-contagious Diseases, PhD in Veterinary sciences, reader; **Nifontov K.** [2] – Vice-Rector for Scientific Work, PhD in Veterinary sciences, reader; **Vinokurov I.** [1] – the Laboratory of Horse Breeding and Selection, senior research fellow, PhD in Veterinary sciences; **Savvinova M.** [2] – the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Hygiene, Grand PhD in Veterinary sciences, professor

[1]Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "Yakut Scientific Center" - Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

[2]Federal State Budgetary educational Institution of Higher Education "Arctic State Agrotechnological University"

*evgeniycemenovic@mail.ru

ABSTRACT

The aim of the work was to briefly review the issues of reproduction and adaptation of the Yakut horse to the harsh conditions of the Arctic and Subarctic in the territory of Yakutia. An analysis of studies conducted by scientific institutions of the country on the issues of reproduction and morphological and physiological adaptation of Yakut herd horses to the conditions of the Arctic and Subarctic of northern Siberia over the past 60 years was made. From the brief review of the literature we have reviewed, it is clear that part of the population is exposed to the influence of such negative environmental factors as abnormally severe frosts, shortage of under-snow forage and its low quality, summer heat, etc. It is manifested in a decrease in reproduction rates, in a noticeable depletion of part of the livestock. Alekseev N.D. (2008) put forward a hypothesis of early diagnostics of stress reactivity of horses of the Yakut breed based on the method of determining the number of eosinophils in the blood of animals. He associated this with the occurrence of a stressful state in the body of horses, accompanied by eosinopenia. He suggested that a decrease in the eosinophil index by more than 50% of the initial level should be considered stress sensitivity

of the animal. The prevalence of gray color in Yakut horses living in the high latitudes of the Subarctic and Arctic in extremely cold conditions is not the spread of the gray color of the Arabian horse, but an adaptive trait supported by natural selection. The nature of the development of the hair coat in the Yakut horse also belongs to morphological adaptation. The quantity and quality of the hair coat of the Yakut horse in comparison with other breeds were studied very carefully by Alekseev N.D. Part of the Yakut horse population is exposed to the negative factors of the Arctic and Subarctic environment, which is manifested in a decrease in reproduction rates, in a noticeable depletion of part of the herd, thus the method of early diagnostics of stress reactivity of horses of the Yakut breed should be tested on a large herd.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Николаев И.И. Происхождение народа саха и его геокультурного комплекса / И.И. Николаев. – Якутск: Чопчу, 2023. – Т. 1. – С. 293-298.
2. Гоголев А.И. Якуты: проблемы этногенеза и формирования культуры / А.И. Гоголев. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 1993. – 200 с.
3. Левенталь Л.Г. Подати, повинности, земля у якутов // Павлинов Д.М., Виташевский Н.А., Левенталь Л.Г. / Материалы по обычному праву общественному быту якутов. – Л.: 1929. – С. 313.
4. Браун А.А. Сравнительный анализ микроструктуры кожного покрова лошади и крупного рогатого скота. В кн.: Топография кожного покрова лошади. – Л.-М., 1935, – с.123-132.
5. Бреслав И.С. Система дыхания в процессе адаптации. -В кн.: Эколог.физиол.животных. Ч.П. Физиол. системы в процессе адаптации и факторы среды обитания. – Л., 1981, – с.227-264.
6. Бреслав И.С., Глебовский В.Д. Регуляция дыхания / Отв.ред.Л.Л.Шик. – Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1981. – 280 с.
7. Рогалевич М.И. Коневодство Якутской АССР / – М.: Изд-во АН СССР, 1941. – 76 с.
8. Миддендорф А.Ф. Путешествие на Север и Восток Сибири / СПб., 1878. – Ч. 2. – 833 с.
9. Серошевский В.Л. Якуты. Опыт этнографического исследования / – М.: Изд-во АН СССР, 1993. Изд. 2-е. – 736 с.
10. Черский И.Д. Описание коллекции послетретичных животных, собранных Новосибирской экспедицией // И.Д. Черский / Записки АН. – Т. 65. – Прилож. № 1. – СПб, 1891. – 706 с.
11. Миллер Г.Ф. История Сибири / М.: Вост. лит., 2005. – Т. 3. – 598 с.
12. Климов А.Н. Биохимия липидов и их роль в обмене веществ / А.Н. Климов / – М.: Наука, 1981. – 284 с.
13. Давыдов А.Ф. Особенности терморегуляции у представителей семейства Equidae в онтогенезе в условиях высокой температуры // А.Ф. Давыдов, Н.В. Лобанов, А.Р. Макарова / Физиолого-генетические исследования адаптаций у животных. – Л.: Наука, 1967. – С. 5-13.
14. Габышев М.Ф. Якутская лошадь / М.Ф. Габышев. – Якутск: Кн. изд-во, 1957. – 239 с.
15. Старостина М.И. Личности Эльгетского улуса: генеалогическое исследование / Пермь: Издательско-полиграф. комплекс «Звезда». – С. 11-14.
16. Винокуров И.Н. Оймяконская лошадь Якутии / И.Н. Винокуров // Аграрный вестник Урала. – 2008, № 1 (43). – С. 34-35.
17. Былгаева А.А. Токсигенные грибы в кормах для сельскохозяйственных животных /А.А. Былгаева // Инновационные подходы к проблемам и перспективам развития агропромышленного комплекса в Республике Саха (Якутия): Матер. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. М.Г. Сафронова и 60-летию Якутского НИИСХ им. М.Г. Сафронова. – Якутск, 2017. – С. 217-220.
18. Слепцов М.К. Аминокислотный состав гемоглобина животных / М.К. Слепцов, И.С. Васильев, И.М. Базавлук // Эколого-физиологические особенности животных Якутии. – Новосибирск: Изд-во Наука, Сибирское отделение. – С. 189-195.

19. Алексеев Н.Д. Адаптация лошадей к температурным факторам среды / Н.Д. Алексеев // Физиологические исследования адаптаций к природным факторам высоких широт: Материалы 5-го Всесоюз. симпоз. «Биологические проблемы Севера». – Владивосток, 1974. – С. 236-339.
20. Алексеев Н.Д. Адаптация лошадей к температурным факторам среды: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. – ВНИИК, 1984. – 24 с.
21. Алексеев Н.Д. Адаптивные черты в структуре волосяного покрова якутских лошадей // Н.Д. Алексеев // Развитие коневодства в Якутии: Сб. науч. трудов РАСХН СО, ЯНИИСХ. – Новосибирск, 1986. – С. 41-48.
22. Алексеев Н.Д. Некоторые морфофизиологические особенности якутской лошади / Н.Д. Алексеев // Биологические проблемы Севера: Тез. докл. VI Всесоюз. симпозиума. – Якутск: 1974. – Вып. 1: Териология, орнитология, физиология животных. – С. 220-226.
23. Алексеев Н.Д. Эколого-физиологические особенности якутской лошади / Н.Д. Алексеев // Эколого-физиологические особенности животных Якутии. – Новосибирск: Изд-во Наука, Сибирское отделение, 1976. – С. 173-184.
24. Винокуров И.Н. Эффективность скрещивания казахских жеребцов типа джабе с матками якутской породы: Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. – Дивово, 1988. – 26 с.
25. Попов Р.А. Определение температуры поверхности шерстного покрова лошадей с использованием тепловизора / Р.А. Попов, С.П. Шкулев, В.В. Румянцев // Тез. докл. науч.-практ. конф., посвящ. Году образования. – Якутск: Северовед, 1997. – С. 96.
26. Попов Р.А. Установка для измерения теплопроводности шерстного покрова животных: Информ. листок / Р.А. Попов // ЦНТИ. – Якутск: ЦНТИ, 1997. – № 22. – 3 с.
27. Владимиров Л.Н. Тепловая изоляция шерстного покрова лошади / Л.Н. Владимиров, Р.А. Попов, С.П. Шкулев // Исследования по теплофизическим проблемам Севера: Сб. науч.-практ. конф., посвящ. Памяти Иванова Н.С. – Якутск: ЦНТИ, 1999. – № 22. – С. 16-19.
28. Калинкова, Л.В. Полиморфизм гена STX17 в локальных популяциях якутских лошадей / Л.В. Калинкова, И.В. Алферов, Р.В. Иванов // Коневодство и конный спорт. – 2024. – № 5. – С. 11-14.
29. Алексеев Н.Д. Биологические особенности и продуктивные качества якутской лошади / Н.Д. Алексеев, Н.П. Андреев, Т.В. Аммосова // научно-технический бюллетень ЯНИИСХ. – Новосибирск: 1982, вып. 3. – С. 3-12.
30. Иванов Р.В. Коневодство / Р.В. Иванов, В.Г. Осипов, К.Ф. Оконешников и др. // Зональная система ведения животноводства // Р.В. Иванов, Н.А. Николаева, Н.М. Черноградская и др. / Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016-2020 годы: методические пособия / РАСХН. ГНУ ЯНИИСХ. – Якутск, 2017. – С. 250-279.
31. Винокуров Н.Т. Круглогодичный цикл табунного содержания якутской лошади / Н.Т. Винокуров / – Якутск: нац. книжное изд-во «Бичик», 2015. – С. 91.
32. Алексеев Н.Д. Биологические основы повышения продуктивности лошадей / Н.Д. Алексеев, М.П. Неустроев, Р.В. Иванов // – Якутск, 2006. – С. 7-12.
33. Новиков Г.А. Очерк истории экологии животных / Г.А. Новиков. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1980. – С. 212.
34. Неустроев М.П. Особенности эпизоотологии инфекционных абортов у лошадей в Якутии / М.П. Неустроев, С.Г. Петрова, Е.И. Эльбядова, А.А. Попов // Вестник ДВО РАН. 2018. – №3. – С. 137-140.
35. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных. Приспособление и среда. – М.: Мир, 1982. – С. 70-90.
36. Чугунов А.В. Продуктивное животноводство Якутии / А.В. Чугунов, Н.Н. Тихонов, В.Р. Дарбасов и др. – М.: КолосС, 2009. – 455 с.
37. Иванов Р.В. Научные основы совершенствования технологии кормления и содержания лошадей якутской породы: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.02.04. /

Р.В. Иванов. – ВНИИ коневодства. – Дивово, 2000. – 32 с.
38. Tracking the origins of Yakutian horses and the genetic basis for their fast adaptation to subarctic environments / P.Librado, C.D.Sarkissian, L.Ermini [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015. – Vol. 112, N 50. E 6889-6897
39. Andersson L. How selective sweeps in domestic animals provide new insight into biological mechanisms // Journal of internal Medicine/ 2012. – Vol.271, N 1. – P. 1-14

REFERENCES

1. Nikolaev I.I. Origin of the Sakha people and their geocultural complex / I.I. Nikolaev. – Yakutsk: Chopchu, 2023. – T. 1. – P. 293-298.
2. Gogolev A.I. Yakuts: problems of ethnogenesis and formation of culture / A.I. Gogolev. – Yakutsk: YSU Publishing House, 1993. – 200 p.
3. Leventhal L.G. Taxes, duties, land among the Yakuts // Pavlinov D.M., Vitashevsky N.A., Leventhal L.G. / Materials on customary law and social life of the Yakuts. – L.: 1929. – P. 313.
4. Brown A.A. Comparative analysis of the microstructure of the skin of horses and cattle. In the book: Topography of the skin of the horse. - L.-M., 1935, - pp. 123-132.
5. Breslav I.S. The respiratory system in the process of adaptation. - In the book: Ecological physiology of animals. Physiological systems in the process of adaptation and environmental factors. - L., 1981, - pp. 227-264.
6. Breslav I.S., Glebovsky V.D. Regulation of breathing / Ed. L.: Science, Leningrad Branch, 1981. - 280 p.
7. Rogalevich M.I. Horse breeding in the Yakut ASSR / - M.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1941. - 76 p.
8. Middendorf A.F. Travel to the North and East of Siberia / St. Petersburg, 1878. – Part 2. – 833 p.
9. Seroshevsky V.L. Yakuts. Experience in ethnographic research / - M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1993. Publishing house. 2nd. – 736 p.
10. Chersky I.D. Description of the collection of post-Tertiary animals collected by the Novosibirsk expedition // I.D. Chersky / Notes of AN. – T. 65. – App. No. 1. – St. Petersburg, 1891. – 706 p.
11. Miller G.F. History of Siberia / M.: Vost. lit., 2005. – T. 3. – 598 p.
12. Klimov A.N. Biochemistry of lipids and their role in metabolism / A.N. Klimov / – M.: Nauka, 1981. – 284 p.
13. Davydov A.F. Features of thermoregulation in representatives of the family Equidae during ontogenesis under high temperature conditions // A.F. Davydov, N.V. Lobanov, A.R. Makarova / Physiological and genetic studies of adaptations in animals. – L.: Nauka, 1967. – P. 5-13.
14. Gabyshev M.F. Yakut horse / M.F. Gabyshev. – Yakutsk: Book. publishing house, 1957. – 239 p.
15. Starostina M.I. Personalities of the Elget ulus: genealogical research / Perm: Publishing and Polygraph. complex "Zvezda". – pp. 11-14.
16. Vinokurov I.N. Oymyakon horse of Yakutia / I.N. Vinokurov // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2008, No. 1 (43). – pp. 34-35.
17. Bylgaeva A.A. Toxigenic fungi in feed for farm animals / A.A. Bylgaeva // Innovative approaches to the problems and prospects for the development of the agro-industrial complex in the Republic of Sakha (Yakutia): Mater. report Intl. scientific-practical conf., dedicated 100th anniversary of the birth of prof. M.G. Safronov and the 60th anniversary of the Yakut Research Institute of Agriculture named after. M.G. Safronova. – Yakutsk, 2017. – P. 217-220.
18. Sleptsov MK Amino acid composition of animal hemoglobin / MK Sleptsov, IS Vasiliev, IM Bazavluk // Ecological and physiological characteristics of animals of Yakutia. - Novosibirsk: Nauka Publishing House, Siberian Branch. - P. 189-195.
19. Alekseev ND Adaptation of horses to temperature factors of the environment / ND Alekseev // Physiological studies of adaptations to natural factors of high latitudes: Proceedings of the 5th All-Union. symposium. "Biological problems of the North". - Vladivostok, 1974. - P. 236-339.
20. Alekseev ND Adaptation of horses to

temperature factors of the environment: Abstract of Cand. Sci. (Biol.). - VNIIK, 1984. - 24 p.
21. Alekseev N.D. Adaptive features in the hair structure of Yakut horses // N.D. Alekseev // Development of horse breeding in Yakutia: Sat. scientific works of the Russian Academy of Agricultural Sciences SO, YANIISKH. – Novosibirsk, 1986. – P. 41-48.
22. Alekseev N.D. Some morphophysiological features of the Yakut horse / N.D. Alekseev // Biological problems of the North: Abstracts. report VI All-Union. symposium. – Yakutsk: 1974. – Issue. 1: Theriology, ornithology, animal physiology. – pp. 220-226.
23. Alekseev N.D. Ecological and physiological characteristics of the Yakut horse / N.D. Alekseev // Ecological and physiological characteristics of animals of Yakutia. – Novosibirsk: Nauka Publishing House, Siberian Branch, 1976. – P. 173-184.
24. Vinokurov I. N. Efficiency of crossing Kazakh stallions of the Jabe type with mares of the Yakut breed: Abstract of Cand. Sci. (Agricultural Sciences). – Divovo, 1988. – 26 p.
25. Popov R. A. Determination of the surface temperature of the horse coat using a thermal imager / R. A. Popov, S. P. Shkulev, V. V. Rumyantsev // Abstract of the report of the scientific and practical conference dedicated to the Year of Education. – Yakutsk: Severoved, 1997. – P. 96.
26. Popov R. A. Installation for measuring the thermal conductivity of animal coat: Information leaflet / R. A. Popov // CNTI. – Yakutsk: CNTI, 1997. – No. 22. – 3 p.
27. Vladimirov L.N. Thermal insulation of horse coat / L.N. Vladimirov, R.A. Popov, S.P. Shkulev // Research on thermophysical problems of the North: Sat. scientific-practical conf., dedicated In memory of Ivanov N.S. – Yakutsk: CNTI, 1999. – No. 22. – P. 16-19.
28. Kalinkova, L.V. Polymorphism of the STX17 gene in local populations of Yakut horses / L.V. Kalinkova, I.V. Alferov, R.V. Ivanov // Horse breeding and equestrian sport. – 2024. – No. 5. – P. 11-14.
29. Alekseev N.D. Biological features and productive qualities of the Yakut horse / N.D. Alekseev, N.P. Andreev, T.V. Ammosova // scientific and technical bulletin of YANISH. – Novosibirsk: 1982, no. 3. – P. 3-12.
30. Ivanov R.V. Horse breeding / R.V. Ivanov, V.G. Osipov, K.F. Okoneshnikov et al. // Zonal system of livestock farming // R.V. Ivanov, N.A. Nikolaeva, N.M. Chernogradskaya and others / Agricultural system in the Republic of Sakha (Yakutia) for the period 2016-2020: methodological manuals / RAAS. GNU YANIISKH. – Yakutsk, 2017. – P. 250-279.
31. Vinokurov N.T. Year-round cycle of herd maintenance of the Yakut horse / N.T. Vinokurov / – Yakutsk: national. book publishing house “Bichik”, 2015. – P. 91.
32. Alekseev N.D. Biological basis for increasing the productivity of horses / N.D. Alekseev, M.P. Neustroev, R.V. Ivanov // – Yakutsk, 2006. – P. 7-12.
33. Novikov G.A. Essay on the history of animal ecology / G.A. Novikov. – L.: Science, Leningrad branch, 1980. – P. 212.
34. Neustroev M.P. Features of the epizootology of infectious abortions in horses in Yakutia / M.P. Neustroev, S.G. Petrova, E.I. Elbyadova, A.A. Popov // Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018. – No. 3. – pp. 137-140.
35. Schmidt-Nielsen K. Physiology of Animals. Adaptation and environment. – M.: Mir, 1982. – P. 70-90.
36. Chugunov A.V. Productive livestock farming in Yakutia / A.V. Chugunov, N.N. Tikhonov, V.R. Darbasov et al. – M.: KolosS, 2009. – 455 p.
37. Ivanov R.V. Scientific basis for improving the technology of feeding and keeping horses of the Yakut breed: abstract of thesis. dis. ... Dr. Agricultural Sciences Sciences: 02/06/04. / R.V. Ivanov. – All-Russian Research Institute of Horse Breeding. – Divovo, 2000. – 32 p.
38. Tracking the origins of Yakutian horses and the genetic basis for their fast adaptation to subarctic environments / P. Librado, C. D. Sarkissian, L. Ermini [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015. – Vol. 112, N 50. E 6889-6897
39. Andersson L. How selective sweeps in domestic animals provide new insight into biological mechanisms // Journal of internal Medicine/ 2012. – Vol.271, N 1. – P. 1-14

УДК: 619:636.2.034:618.19.002
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.497

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ ПРИ СУБКЛИНИЧЕСКОМ МАСТИТЕ

Ирхина В.К.* – науч. сотр. отд. животноводства и птицеводства (ORCID 0000-0003-4553-7189); **Остякова М.Е.** – д-р биол. наук, доц., директор (ORCID 0000-0002-2996-0991)

ФГБНУ «Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт»

*irkhin83@mail.ru

Ключевые слова: *Амурская область, субклинический мастит, лактирующие коровы, кровь.*
Key words: *Amur Region, subclinical mastitis, lactating cows, blood.*

Поступила: 20.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Одним из ключевых факторов, замедляющих рост молочной продуктивности и ухудшающих санитарные показатели молока, произведенного в хозяйствах, являются маститы. Эти заболевания могут проявляться в различные периоды жизни коров, включая лактацию, запуск и сухостой, однако, наиболее часто они возникают именно в лактационный период, когда молочная железа подвергается значительным нагрузкам. Исследования были направлены на анализ проявления маститов у молочных коров в условиях Амурской области. Объект исследования- высокопродуктивные коровы голштинской породы, средней живой массой 600±50 кг. С целью проведения комплексного анализа метаболических процессов у лактирующих коров были сформированы две группы, по десять животных в каждой. Первая группа состояла из коров с подтвержденным субклиническим маститом, в то время как вторая группа включала клинически здоровых особей. Диагноз субклинический мастит ставили путем использования экспресс-диагностикума Кенотест. В ходе исследования был проведен анализ биохимических показателей сыворотки крови коров с субклинической формой мастита. У коров первой группы с субклиническим маститом были повышены значения билирубина на 45,5% ($p<0,05$), холестерина на 38,7% ($p<0,05$). Со стороны минерального обмена отмечали повышение фосфора на 37,5% ($p<0,001$) и пониженный уровень кальция на 13,0% ($p<0,05$). Белковый обмен у коров с субклиническим маститом характеризовался более низким уровнем альбуминов (на 18,1%, $p<0,001$). В сыворотке крови на фотометре StatFax 1904+R с биохимическими реактивами «Витал» измеряли уровни показателей крови. Для статистической обработки использовали Microsoft Excel, вычисляя среднее арифметическое (M), ошибку среднего (m).

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В молочном животноводстве обеспечение высоких объёмов молока должного качества напрямую зависит от состояния здоровья вымени коров. Нарушения в функционировании секреторной системы молочной железы часто обусловлены развитием воспалительных процессов, известных как маститы. Субклиническая форма мастита характеризуется скрытым воспалительным процессом в паренхиме молочной железы. Это обстоятельство существенно усложняет диагностику данного заболевания, что делает раннее выявление и профилактику субклинического мастита критически важными задачами для специалистов в области молочного скотоводства [1,2].

Субклинический мастит может быть вызван различными факторами, включая скармливание недоброкачественных кормов, избыточное содержание белка в рационе, неполноценное кормление, нарушение метаболизма, нарушение зоогигиенических требований; инфекционные агенты. Эти факторы могут взаимодействовать между собой, усиливая патогенетический потенциал и способствуя развитию субклинического воспаления в молочной железе [3-10].

Таким образом, субклинический мастит является мультифакториальным заболеванием, требующим комплексного подхода к диагностике, профилактике и лечению. Понимание механизмов его развития и взаимодействия различных факторов является ключевым для разработки эффективных мер борьбы с этим заболеванием в молочном животноводстве.

Цель исследования – изучить уровень обмена веществ при субклиническом мастите у лактирующих коров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В рамках настоящего исследования были проведены экспериментальные работы на базе сельскохозяйственных предприятий Амурской области. Объектом исследования послужили высокопродуктивные коровы голштинской породы, относящиеся к категории крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, 1-2 месяца после отела. Средняя живая масса животных 600±50 кг. Для выявления субклинического мастита у лактирующих коров использовали Кенотест. Через несколько секунд проводили интерпретацию теста, в соответствии с прилагаемой инструкцией. В рамках настоящего исследования при выявлении в пробах молока отчетливо выраженных крупных тяжей и формировании гелеобразной консистенции, а также при содержании соматических клеток в диапазоне от 300 тысяч до 500 тысяч на миллилитр молока [11], диагностируется субклинический мастит.

С целью проведения комплексного анализа метаболических процессов у лактирующих коров были сформированы две репрезентативные группы, каждая из которых включала по десять животных. Первая группа состояла из коров с подтвержденным субклиническим маститом, в то время как вторая группа включала клинически здоровых особей.

В сыворотке крови на фотометре StatFax 1904+R с биохимическими реактивами «Витал» измеряли уровни показателей крови. Для статистической обработки использовали Microsoft Excel, вычисляя среднее арифметическое (M), ошибку среднего (m).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В результате детального анализа биохимических параметров крови было выявлено значительное отклонение ключевых показателей метаболического гомеостаза у лактирующих коров, как у клинически здоровых животных, так и у особей с субклинической формой мастита. У коров с субклиническим маститом были повышены значения билирубина в 45,5% ($p<0,05$), холестерина в 38,7% ($p<0,05$). Со стороны минерального обмена отмечали повышение фосфора на 37,5% ($p<0,001$) и пониженный уровень кальция на 13,0% ($p<0,05$). Белковый обмен у коров с субклиническим маститом характеризовался более низким уровнем альбуминов (на 18,1%, $p<0,001$) (табл.1).

Таблица 1 – Показатели крови коров с признаками субклинического мастита и клинически здоровых коров, (M±m), (n= 10)

Показатели	Первая группа	Вторая группа
Общий белок, г/л	79,58±1,74	81,60±0,98
Альбумины, %	36,23±1,01	44,22±1,28***
Мочевина, ммоль/л	5,09±0,22	5,38±0,33
Креатинин, мкмоль/л	131,8±5,20	142,51±3,85
Холестерин ммоль/л	4,33±0,37	3,11±0,20*
Триглицериды ммоль/л	0,16±0,01	0,14±0,01
Глюкоза, ммоль/л	3,15±0,12	3,22±0,09
Кальций, ммоль/л	2,00±0,11	2,26±0,04*
Фосфор, ммоль/л	2,23±0,07	1,63±0,12***
Магний, ммоль/л	1,36±0,22	1,21±0,06
Билирубин, мкмоль/л	7,98±0,84	5,54±0,61*
АСТ, Ед/л	65,05±2,27	70,47±5,47
АЛТ, Ед/л	25,49±0,99	25,70±1,49
Щелочная фосфатаза, Ед/л	67,44±3,32	66,1±2,91

Кальций играет фундаментальную роль в регуляции физиологических процессов, включая передачу нервных импульсов и контроль мышечного сокращения. Его дефицит оказывает существенное влияние на функционирование гладкой мускулатуры, в частности, на молочную железу. В условиях недостаточного поступления кальция наблюдается дисфункция гладкой мускулатуры, что приводит к снижению её сократительной способности. Этот механизм имеет важное значение для понимания патофизиологических процессов, связанных с нарушениями лактации и другими функциональными расстройствами молочной железы.

Недостаточность минеральных веществ в организме может быть обусловлена снижением абсорбции микро- и макроэлементов, что связано с патологическими изменениями в гепатобилиарной системе. В лактационный период дисфункция печени возникает на фоне значительного увеличения метаболических потребностей организма. Это связано с активизацией анаболических процессов, таких как синтез белков и энергообразование. Эти процессы способствуют пролиферации и гипертрофии клеток железистой ткани молочной железы, что требует повышенного притока питательных веществ для поддержания оптимальной функциональной активности органа [12].

Дефицит макро- и микроэлементов приводит к существенному ослаблению иммунной системы лактирующих коров. В условиях данного дефицита возрастает восприимчивость животных к патогенам, таким как стафилококки и энтерококки. Эти микроорганизмы, проникая в ткани молочной железы, инициируют каскад биохимических реакций, приводящих к развитию окислительного стресса. В свою очередь, окислительный стресс усиливает воспалительный процесс в вымени, что может привести к значительным экономическим потерям для сельскохозяйственного производства [13].

В рамках нашего исследования была выявлена корреляция между субклиническим маститом у молочных коров и метаболическими нарушениями, характеризующимися гипоальбуминемией, гипербилирубинемией и гиперхолестеринемией. Эти результаты указывают на наличие дисфункции печени, что подтверждается изменениями в биохимических показателях крови. Данные наблюдения свидетельствуют о значительном влиянии субклинического мастита на общее состояние здоровья животных и их продуктивность.

Значительные физиологические трансформации, наблюдаемые в процессе

отела у крупного рогатого скота, требуют интенсификации липолитической активности, что инициирует обширные процессы ремоделирования жировой ткани. Повышенная липолитическая активность часто превышает компенсаторные возможности печеночной паренхимы, что приводит к дисфункции метаболических процессов. В условиях недостаточности печеночной регуляции обмена веществ, а также в сочетании с воспалительными реакциями в молочной железе, изменениями иммунного статуса и физиологических дисбалансов, возникает повышенный риск развития заболеваний, снижения молочной продуктивности и репродуктивных показателей, ухудшения общего состояния здоровья животных и сокращения продолжительности жизни в стаде [14].

В ходе исследования был проведен детальный анализ биохимических показателей сыворотки крови коров с субклинической формой мастита. В частности, оценивались уровни общего белка, мочевины, креатинина, триглицеридов, а также активность трансаминаз и щелочной фосфатазы. Все вышеуказанные параметры находились в пределах физиологической нормы, что свидетельствовало об отсутствии значительных метаболических нарушений у коров при маститах до появления клинических признаков заболевания (рис.).

Для сравнения, контрольная группа коров демонстрировала аналогичные результаты, подтверждая тем самым, что показатели метаболизма находились в пределах референсных значений.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В ходе проведенного исследования по изучению уровня обмена веществ у лактирующих коров с субклиническим маститом было установлено, что в период лактации в организме коров закономерно происходит активация ряда биологических процессов направленных на развитие молочной железы и рост ее продуктивных возможностей, которая при недостаточности одного из видов метаболических процессов негативным образом отражается на биохимическом балансе и здоровье животного в целом.

У молочных коров1-2 месяца после отела с субклиническим маститом, по сравнению с группой здоровых животных, в крови отмечается увеличения уровня билирубина на 45,5% и холестерина на 38,7%. Со стороны минерального обмена - повышение фосфора на 37,5%, в то время как уровень кальция снизился на 13,0% по сравнению с группой клинически здоровых животных. Белковый обмен у группы коров с подтвержденным диагнозом субклинический мастит характеризовался понижением уровня альбуминов на 18,1%. Эти данные свидетельствуют о снижении функции печени и нарушении минерального обмена у коров с субклиническим маститом.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о компенсаторной стабильности метаболических процессов у коров с субклиническим маститом, несмотря на наличие воспалительного процесса в молочной железе.

METABOLISM IN LACTATING COWS WITH SUBCLINICAL MASTITIS

Irkhina V.K.* – research fellow, Department of Animal Husbandry and Poultry Farming (ORCID 0000-0003-4553-7189); **Ostyakova M.E**. – Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Director (ORCID 0000-0002-2996-0991)

Far Eastern Zonal Research Veterinary Institute

*irkhin83@mail.ru

ABSTRACT

Mastitis is one of the key factors slowing down the growth of milk productivity and worsening the sanitary indicators of milk produced on farms. These diseases can manifest themselves in different periods of the cows' life, including lactation, start-up and dry period, however, they most often occur during the lactation period, when the mammary gland is subjected to significant loads. The research was aimed at analyzing the manifestation of mastitis in dairy cows in the

Amur region. The object of the study is highly productive Holstein cows with an average live weight of 600±50 kg. In order to conduct a comprehensive analysis of metabolic processes in lactating cows, two groups of ten animals each were formed. The first group consisted of cows with confirmed subclinical mastitis, while the second group included clinically healthy individuals. The diagnosis of subclinical mastitis was made using the Kenotest express diagnostic kit. The study included an analysis of biochemical parameters of the blood serum of cows with subclinical mastitis. In the cows of the first group with subclinical mastitis, the bilirubin values were increased by 45.5% ($p<0.05$), cholesterol by 38.7% ($p<0.05$). In terms of mineral metabolism, an increase in phosphorus by 37.5% ($p<0.001$) and a decreased calcium level by 13.0% ($p<0.05$) were noted. Protein metabolism in cows with subclinical mastitis was characterized by a lower level of albumin (by 18.1%, $p<0.001$). Blood serum levels were measured using a StatFax 1904+R photometer with Vital biochemical reagents. Microsoft Excel was used for statistical processing, calculating the arithmetic mean (M), and the error of the mean (m).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Позовникова, М. В.Идентификация и анализ значимых локусов генома, ассоциированных с устойчивостью к маститу у айрширских коров методом GWAS / М. В. Позовникова, О. В. Тулинова, О. К. Васильева, Ю. С. Щербаков // Животноводство и кормопроизводство. – 2024. – Т. 107, № 4. – С. 68-82. –
DOI 10.33284/2658-3135-107-4-68. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=8025660

2. Этиология и эпизоотология мастита коров (аналитический обзор) / А. А. Андреева, В. А. Евграфова, М. С. Воронина [и др.] // Ветеринария сегодня. – 2024. – Т. 13, № 1. – С. 27-35. – DOI 10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65309388

3. Kaczorowski Ł, Powierska-Czarny J, Wolko Ł, Piotrowska-Cyplik A, Cyplik P, Czarny J.The Influence of Bacteria Causing Subclinical Mastitis on the Structure of the Cow's Milk Microbiome. Molecules. 2022 Mar 11;27(6):1829. doi: 10.3390/molecules27061829. PMID:35335192; PMCID: PMC8950352. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35335192/

4.Steinberg RS, Silva E Silva LC, de Souza MR, Reis RB, da Silva PCL, Lacorte GA, Nicoli JR, Neumann E, Nunes ÁC.Changes in bovine milk bacterial microbiome from healthy and subclinical mastitis affected animals of the Girolando, Gyr, Guzera, and Holstein breeds.Int Microbiol. 2022 Nov;25(4):803-815. doi: 10.1007/s10123-022-00267-4.Epub 2022 Jul 15.PMID: 35838927. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35838927/

5.Jiang H, Xu J, Xu X, Wei J, Liu J, Qin C, Miao W, Li L, Song X, Liu Q, Cui K, Li Z.Revealing microbial diversity in buffalo milk with high somatic cell counts: implications for mastitis diagnosis and treatment.Vet Res Commun. 2024 Aug;48(4):2537-2553.doi: 10.1007/s11259-024-10438-5.Epub 2024 Jun 14. PMID: 38874832. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38874832/

6.Vargová M, Zigo F, Výrostková J, Farkašová Z, Rehan IF. Biofilm-Producing Ability of Staphylococcus aureus Obtained from Surfaces and Milk of Mastitic Cows. Vet Sci. 2023 Jun 2;10(6):386. doi: 10.3390/vetsci10060386. PMID: 37368772; PMCID: PMC10303978. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37368772/

7.Tabatabaee N, Heidarpour M, Khoramian B. Milk metabolites, proteins and oxidative stress markers in dairy cows suffering from Staphylococcus aureus subclinical mastitis with or without spontaneous cure. J Dairy Res. 2021 Aug;88(3):326-329. doi: 10.1017/S0022029921000613. Epub 2021 Aug 12. PMID: 34382922. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34382922/

8. Камышанов, А. С. Влияние субклинического и клинически выраженного мастита, перенесенного в период беременности, на проявление родовых и послеродовых патологий у высокопродуктивных

коров / А. С. Камышанов // Universum: химия и биология. – 2021. – № 2(80). – С. 21-25. – DOI 10.32743/UniChem.2021.80.2.21-25. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44733663

9.Pakrashi A, Ryan C, Guéret C, Berry DP, Corcoran M, Keane MT, Mac Namee B. Early detection of subclinical mastitis in lactating dairy cows using cow-level features.J Dairy Sci. 2023 Jul;106(7):4978-4990.doi: 10.3168/jds.2022-22803.Epub 2023 Jun 1. PMID: 37268591. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37268591/

10.Cuccato M, Divari S, Giannuzzi D, Grange C, Moretti R, Rinaldi A, Leroux C, Sacchi P, Cannizzo FT. Extracellular vesicle miRNome during subclinical mastitis in dairy cows. Vet Res. 2024 Sep 19;55(1):112. doi: 10.1186/s13567-024-01367-x.PMID: 39300590; PMCID: PMC11414160. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39300590/

11.ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия» – Введ. 2014 – 07 – 01. – М. : Стандартинформ. – 2019. – 8 с. Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293780/4293780016.pdf

12. Tufarelli V, Puvača N, Glamočić D, Pugliese G, Colonna MA. The Most Important Metabolic Diseases in Dairy Cattle during the Transition Period. Animals (Basel). 2024 Mar 6;14(5):816. doi: 10.3390/ani14050816. PMID: 38473200; PMCID: PMC10930595 Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38473200/

13. Ayemele AG, Tilahun M, Lingling S, Elsaadawy SA, Guo Z, Zhao G, Xu J, Bu D. Oxidative Stress in Dairy Cows: Insights into the Mechanistic Mode of Actions and Mitigating Strategies.Antioxidants (Basel). 2021 Nov 29;10(12):1918. doi: 10.3390/antiox10121918. PMID: 34943022; PMCID: PMC8750585. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34943022/

14.Pinedo P, Melendez P. Liver Disorders Associated with Metabolic Imbalances in Dairy Cows. Vet Clin North Am Food Anim Pract. 2022 Nov; 38(3):433-446. doi: 10.1016/j.cvfa.2022.07.004. PMID: 36243464. Режим доступа: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36243464/

REFERENCES

1. Pozovnikova, M. V. Identification and analysis of significant genomic loci associated with mastitis resistance in Ayrshire cows using the GWAS method / M. V. Pozovnikova, O. V. Tulinova, O. K. Vasilyeva, Yu. S. Shcherbakov // Animal husbandry and forage production. - 2024. - Vol. 107, No. 4. - P. 68-82. -
DOI 10.33284/2658-3135-107-4-68. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=8025660

2. Etiology and epizootology of mastitis in cows (analytical review) / A. A. Andreeva, V. A. Evgrafova, M. S. Voronina [et al.] // Veterinary science today. - 2024. - Vol. 13, No. 1. - P. 27-35. - DOI 10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65309388

3. Kaczorowski Ł, Powierska-Czarny J, Wolko Ł, Piotrowska-Cyplik A, Cyplik P, Czarny J. The Influence of Bacteria Causing Subclinical Mastitis on the Structure of the Cow's Milk Microbiome. Molecules. 2022 Mar 11;27(6):1829. doi: 10.3390/molecules27061829. PMID:35335192; PMCID: PMC8950352. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35335192/

4.Steinberg RS, Silva E Silva LC, de Souza MR, Reis RB, da Silva PCL, Lacorte GA, Nicoli JR, Neumann E, Nunes ÁC.Changes in bovine milk bacterial microbiome from healthy and subclinical mastitis affected animals of the Girolando, Gyr, Guzera, and Holstein breeds.Int Microbiol. 2022 Nov;25(4):803-815. doi: 10.1007/s10123-022-00267-4.Epub 2022 Jul 15.PMID: 35838927. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35838927/

5. Jiang H, Xu J, Xu X, Wei J, Liu J, Qin C, Miao W, Li L, Song X, Liu Q, Cui K, Li Z. Revealing microbial diversity in buffalo milk with high somatic cell counts: implications for mastitis diagnosis and treatment. Vet Res Commun. 2024 Aug;48(4):2537-2553.doi: 10.1007/s11259-024-10438-5.Epub 2024 Jun

14. PMID: 38874832. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38874832/
6.Vargová M, Zigo F, Výrostková J, Farkašová Z, Rehan IF. Biofilm-Producing Ability of Staphylococcus aureus Obtained from Surfaces and Milk of Mastic Cows. Vet Sci. 2023 Jun 2;10(6):386. doi: 10.3390/vetsci10060386. PMID: 37368772; PMCID: PMC10303978. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37368772/
7. Tabatabaee N, Heidarpour M, Khoramian B. Milk metabolites, proteins and oxidative stress markers in dairy cows suffering from Staphylococcus aureus subclinical mastitis with or without spontaneous cure. J Dairy Res. 2021 Aug;88(3):326-329. doi: 10.1017/S0022029921000613. Epub 2021 Aug 12. PMID: 34382922. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34382922/
8. Kamyshanov, A. S. The influence of subclinical and clinically expressed mastitis suffered during pregnancy on the manifestation of birth and postpartum pathologies in highly productive cows / A. S. Kamyshanov // Universum: chemistry and biology. - 2021. - No. 2 (80). - P. 21-25. - DOI 10.32743 / UniChem.2021.80.2.21-25. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44733663
9. Pakrashi A, Ryan C, Guéret C, Berry DP, Corcoran M, Keane MT, Mac Namee B. Early detection of subclinical mastitis in lactating dairy cows using cow-level features. J Dairy Sci. 2023 Jul;106(7):4978-4990.doi: 10.3168/jds.2022-22803.Epub 2023 Jun 1. PMID: 37268591. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37268591/
10.Cuccato M, Divari S, Giannuzzi D, Grange C, Moretti R, Rinaldi A, Leroux C, Sacchi P, Cannizzo FT. Extracellular vesicle miRNome during subclinical mastitis in dairy cows. Vet Res. 2024 Sep 19;55(1):112. doi: 10.1186/s13567-024-01367-x.PMID: 39300590; PMCID: PMC11414160. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39300590/
11. GOST 31449-2013 "Raw cow's milk. Specifications" - Introduced. 2014 - 07 - 01. - M.: Standartinform. - 2019. - 8 p. Access mode: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293780/4293780016.pdf
12. Tufarelli V, Puvača N, Glamočić D, Pugliese G, Colonna MA. The Most Important Metabolic Diseases in Dairy Cattle during the Transition Period. Animals (Basel). 2024 Mar 6; 14 (5): 816. doi: 10.3390/ani14050816. PMID: 38473200; PMCID: PMC10930595 Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38473200/
13. Ayemele AG, Tilahun M, Lingling S, Elsaadawy SA, Guo Z, Zhao G, Xu J, Bu D. Oxidative Stress in Dairy Cows: Insights into the Mechanistic Mode of Actions and Mitigating Strategies. Antioxidants (Basel). 2021 Nov 29;10(12):1918. doi: 10.3390/antiox10121918. PMID: 34943022; PMCID: PMC8750585. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34943022/
14. Pinedo P, Melendez P. Liver Disorders Associated with Metabolic Imbalances in Dairy Cows. Vet Clin North Am Food Anim Pract. 2022 Nov; 38(3):433-446. doi: 10.1016/j.cvfa.2022.07.004. PMID: 36243464. Access mode: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36243464/

ХИРУРГИЯ

УДК 618.14-002.3-085/.089:636.7
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.504

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИРУРГИЧЕСКОГО И КОНСЕРВАТИВНОГО МЕТОДОВ ЛЕЧЕНИЯ ГНОЙНОГО ЭНДОМЕТРИТА У СОБАК

Семенов Б.С. – д-р ветеринар. наук, проф. каф. общей, частной и оперативной хирургии (ORCID 0000-0003-0149-9360); **Назарова А.В. –** канд. ветеринар. наук, доц. каф. общей, частной и оперативной хирургии (ORCID 0000-0003-4726-6204); **Кузнецова Т. Ш. –** канд. биол. наук, доц. каф. генетических и репродуктивных биотехнологий (ORCID 0000-0002-8981-0696); **Голикова В.Д. –** студ. ФВМ (ORCID 0009-0001-8705-8250)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*bsstepana@rambler.ru

Ключевые слова: *гнойный эндометрит, пиометра, хирургическое лечение, аглепристон, Ализин, собаки.*

Key words: *Purulent endometritis, Pyometra, Surgical treatment, Aglepristone, Alizin, Dogs.*

Поступила: 14.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Клинические проявления при гнойном эндометрите у собак разнообразны и зависят от стадийности процесса и от степени открытости шейки матки. При лечении пиометры выделяют два основных направления — оперативное и консервативное. Консервативные методы считаются органосохраняющими и используются только в случае открытой формы пиометры. К осложнениям после применения консервативного лечения относят рецидивы заболевания в ближайший эстральный цикл. Несмотря на наличие как радикального (хирургического), так и медикаментозного методов лечения, выбор оптимальной тактики остается предметом дискуссий, особенно при лечении высокоплеменных и редких животных. Целью работы было провести сравнительный анализ эффективности хирургического и консервативного методов лечения пиометры у собак. В исследование включены 44 собаки. Животные распределены по двум группам. Критерии включения в исследование: подтверждение основного диагноза гнойный эндометрит результатами клинических, лабораторных и инструментальных исследований. В группу хирургического лечения включены 34 собаки, которым после первичной постановки диагноза «гнойный эндометрит» было проведено хирургическое лечение — овариогистерэктомия.

В группу консервативного лечения включены 10 собак. которым для терапии применяли аглепристон (коммерческий препарат «Ализин»). Шесть собак из этой группы впоследствии были прооперированы при возникновении рецидива пиометры. При консервативном лечении гнойного эндометрита осложнения отмечаются в пять раз чаще, чем при хирургическом лечении. В исследовании частота осложнений составила 30,0% при консервативном лечении и 5,9% — при хирургическом лечении. Консервативное лечение гнойного эндометрита рекомендуется проводить животным, имеющим высокую племенную ценность, и при наличии противопоказаний для хирургического лечения.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Пиометра, или гнойный эндометрит, — одно из распространенных заболеваний репродуктивной системы самок собак, которое диагностируется у 15–25% животных, как правило старше 5 лет [1]. Клинические проявления разнообразны и зависят от стадийности процесса и от степени открытости шейки матки. Это могут быть гнойные выделения из матки, повышение температуры тела, анорексия, адипсия; в крайних формах — перитонит, сепсис и полиорганная недостаточность. В зависимости от состояния шейки матки различают закрытую и открытую форму пиометры.

В качестве причин возникновения пиометры выделяют гормональный дисбаланс (гиперпрогестеронемия) и бактериальная инфекция. При использовании традиционных методов культивирования микроорганизмов из гнойного содержимого матки высевается *Escherichia coli* и представители родов *Staphylococcus, Streptococcus, Klebsiella* и *Enterococcus.* При использовании секвенирования гена 16S рибосомальной РНК дополнительно были выделены рода *Haemophilus, Aggregatibacter, Fusobacterium* и *Porphyromona* [2]. По данным A. Ylhäinen [3] у 33% собак пиометра сопровождается бактеурией.

К числу предрасполагающих факторов возникновения пиометры у сук относят гиперпластические поражения эндометрия такие как псевдоплацентарная гиперплазия (ПГЭ) и кистозная гиперплазия (КГЭ). Было выявлено, что ПГЭ чаще встречается у собак в возрасте от 4 до 12 лет, а КГЭ у собак старше 12 лет [4].

Выделяют два основных направления лечения пиометры — оперативное и консервативное. К оперативным методам относят овариогистерэктомию, к консервативным — антибиотикотерапию. Оперативное лечение наиболее эффективно, к возможным осложнениям после него можно отнести пиометру культи матки и в некоторых случаях недержание мочи.

Консервативные методы считаются органосохраняющими и рекомендованы в основном при открытой форме пиометры. По некоторым литературным данным наилучшие результаты при консервативном лечение показывают схемы, включающие внутриматочное введение лекарственных препаратов [5], однако на данный момент они не получили широкого распространения в ветеринарных клиниках. Кроме того, для собак с пиометрой характерен синдром системной воспалительной реакции, признаками которого являются увеличенная концентрация С-реактивного белка в сыворотке крови, фактора некроза опухоли α, лейкоцитов, повышенная температура тела, значения ЧСС и ЧДД выше нормы [6]. При протеомном исследовании плазмы крови [7] у собак с пиометрой было подтверждено значительное повышение концентрации гаптоглобина, С-реактивного белка, альфа -1-кислого гликопротеина и церулоплазмина. Очевидно, эндотоксины патогенных микроорганизмов способствуют активации иммунной системы, выбросу провоспалительных цитокинов и белков острой фазы.

Наиболее частым осложнением после консервативного лечения является рецидив заболевания в ближайший эстральный цикл.

Несмотря на наличие как радикального (хирургического), так и медикаментозного методов лечения, выбор оптимальной тактики остается предметом дискус-

сий, особенно при лечении высоко племенных и редких животных.

Целью нашей работы было провести сравнительный анализ эффективности хирургического и консервативного методов лечения пиометры у собак.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось на базе кафедры общей, частной и оперативной хирургии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» и ветеринарной клиники «Зоосервис Плюс» г. Чита.

В период с 2020 по 2025 год нами было проведено ретроспективное исследование историй болезней собак, у которых был диагностирован гнойный эндометрит.

Критерии включения в исследование: основной диагноз гнойный эндометрит *(Endometritis purulenta)* подтверждён результатами клинических и лабораторных исследований, проведена терапия и животное было доступно для наблюдения весь период исследования.

Контрольными точками исследования были приняты

1) частота возникновения осложнений,
2) частота рецидивов после консервативного лечения.

Дополнительно была поставлена задача определить оптимальные критерии отбора пациентов для консервативного лечения гнойного эндометрита.

В исследование были включены 44 собаки *(Canis lupus familiaris)* крупных и средних пород (метисы, хаски и восточно-европейские овчарки) которые соответствовали критериям отбора. Животные были распределены по двум группам:

Группа 1 (группа хирургического лечения). Включены 34 собаки, которым после первичной постановки диагноза «гнойный эндометрит» было проведено хирургическое лечение — овариогистерэктомия (ОГЭ). В качестве нестероидного противовоспалительного средства (НПВС) применялся робенакоксиб (коммерческий препарат «Онсиор»), за 30 минут до введения в наркоз в дозе 1–2 мг на 1 кг массы животного внутримышечно; в постоперационный период лечение было продолжено до 14 суток после операции.

Группа 2 (группа консервативного лечения). Включены 10 собак, которым для терапии применяли аглепристон (коммерческий препарат «Ализин») подкожно в дозе 10 мг/кг массы животного двукратно, с интервалом в 24 часа. Шесть собак из этой группы впоследствии были прооперированы при возникновении рецидива пиометры.

Дополнительно к указанным методам лечения собакам обоих групп применялась антибиотикотерапия препаратом амоксициллина с клавулановой кислотой (коммерческие препараты «Синулокс», «Синуксол», «Кладакса»), выпускаемый в таблетках по 50 мг, 250 мг и 500 мг. Препарат назначали в разовой дозе 12,5 мг (по сумме действующих веществ) на 1 кг массы животного дважды в день перорально 5–7 дней.

Поражение матки выявлялись с помощью клинических методов и методов инструментальной диагностики. Ультрасонография проводилась на стационарном ультразвуковом сканере Sonoscape S20Pro (Китай) с использованием микроконвексного датчика для педиатрии/ветеринарии C611 и линейного датчика 12L.

Лабораторные исследования проводились на базе ветеринарной клинике «Зоосервис плюс» г. Чита, по сертифицированным методикам.

В нашем исследовании приняли уровень значимости равным 95% *(p=0,05)*. Статистическую обработку полученных данных выполнили в программе BioStat, AnalystSoft Inc., версия 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В исследование были включены 44 собаки, у которых был диагностирован гнойный эндометрит *(Endometritis purulenta)*.

Исходные данные включённых в исследование животных представлены в таблице 1, с указанием 95%-ного доверительного интервала (95% ДИ).

Таблица 1 – Исходные данные включённых в исследование пациентов

Показатель	Группа 1 хирургическое лечение	Группа 2 консервативное лечение
Количество животных	34	10
Вид животных	Canis lupus familiaris	Canis lupus familiaris
Пол животных	Самки	Самки
Средний возраст (95% ДИ для возраста)	6,4 лет (5,6–7,1 лет)	6,3 лет (4,3–7,9 лет)
Средняя масса тела (95% ДИ для массы тела)	21,1 кг (17,9–24,4 кг)	17,9 кг (13,1–22,7 кг)

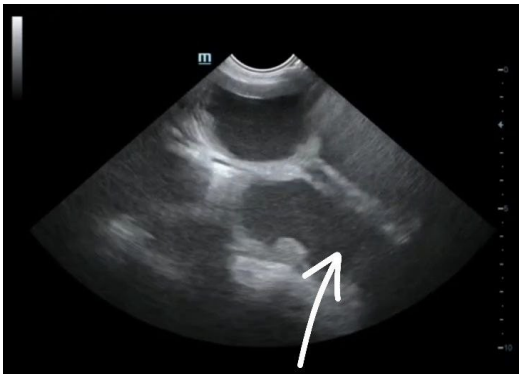


Рисунок 1 – Сонограмма матки собаки (стрелка указывает на расширенный рог матки, содержимое рога анэхогенное, с гиперэхогенной примесью, стенки утолщены, дифференциация слоёв матки нечёткая).

Как мы видим из таблицы, группы сопоставимы по возрасту и весу собак.

Всем животным из группы 1 и группы 2 были выполнены физикальный осмотр, ультразвуковое исследование брюшной полости, включавшее ультразвуковое исследование яичников и матки (рис. 1), гематологические исследования (общий клинический анализ крови и биохимический анализ плазмы крови). Исследования уровня прогестерона и цитологическое исследования мазка из влагалища не проводились.

По данным физикального осмотра, закрытая форма гнойного эндометрита в группе 1 была диагностирована у 85,3% (29 из 34) собак, открытая форма — у 14,7% (пяти из 34) собак. В группе 2 закрытая форма была у 10,0% (одной из десяти) собак, открытая — 90,0% (девяти из десяти) собак.

В группе 1 у 29,4% (десять из 34) собак на момент постановки диагноза отмечалась повышенная температура тела в среднем 39,31°С. В группе 2 повышенная температура тела была выявлена при термометрии только у одной собаки (10,0%).

В общем анализе крови выявлен лейкоцитоз 25,00–55,00*10/л (референсный интервал 6,0–17,0), в биохимическом анализе крови — повышение ферментов печени на фоне интоксикации.

Всем животным группы 1 была проведена овариогистерэктомия (ОГЭ) по общепринятой методике (оментализацию культи матки не проводили) (рис. 2).

Экстренное оперативное лечение было проведено 41,2% (14 из 34) собак группы 1 (три из них имели температуру тела выше 39,5°С).

В группе 1 отмечались послеоперационные осложнения у 8,8% (трёх из 34) собак. Из них:

- хирургические инфекции у 5,9% (двух из 34) собак, для купирования инфекционного процесса была назначена системная антибиотикотерапия препаратами пенициллинового ряда: ампициллин в дозе 20–30 мг/кг каждые 8 часов внутримышечно в течение 7–10 дней;
- послеоперационное кровотечение наблюдалось у 2,9% (одной из 34) собаки;

применяли: этамзилат в дозе 12,5 мг/кг внутривенно каждые 12 часов и внутривенные инфузии раствора Рингера с лактатом (10 мл/кг/ч).

В группе 2 отмечались осложнения у 30,0% (трёх из 10) собак. Из них:

- трансформация открытой формы пиометры в закрытую у одной собаки. Была проведена экстренная лапаротомия с ревизией брюшной полости и санацией очага инфекции; септические осложнения купировались с помощью комбинированной антибиотикотерапии (цефтриаксон 50 мг/кг внутривенно каждые 12 часов и метронидазол 10 мг/кг каждые 8 часов) в сочетании с инфузионной терапией (раствор NaCl 0,9% с добавлением 5% глюкозы в соотношении 1:1, 60 мл/кг/сут);

- хроническая почечная недостаточность (ХПН) развилась на фоне длительной интоксикации; лечение включало: коррекцию электролитных нарушений (поддержка уровня калия и фосфора); применение нефропротекторов (леспенефрил 0,5 мг/кг/сут перорально); диетотерапию (корма с пониженным содержанием белка и фосфора);

- летальный исход после прохождения медикаментозного лечения зарегистрирован у одной собаки.

На фоне гормональных изменений, сопровождающих новый эстральный цикл, у 60,0% (шести из десяти) собак группы 2 в течение периода от одного до шести месяцев после лечения, отмечался рецидив гнойного эндометрита. Всем шести собакам после диагностирования рецидива пиометры была проведена ОГЭ. У одной собаки после прохождения медикаментозного лечения гнойного эндометрита рецидивы не наблюдались. С владельцами двух собак, которым проводилось консервативное лечение, утеряна связь, дальнейшее состояние животных неизвестно.



Рисунок 2 – Увеличенные рога матки у собаки из группы 1 (интраоперационная фотография).

Таблица 2 – Общие данные по распределению животных в группах, проценте осложнений и рецидивов

Показатель	Группа 1 хирургическое лечение	Группа 2 консервативное лечение
Количество животных	34	10
Закрытая форма пиометры	85,3% (29 собак)	10% (1 собака)
Экстренное оперативное лечение	41,2% (14 собак)	-
Осложнения после лечения	8,8% (3 собаки)	30,0% (3 собаки)
Летальный исход	-	10% (1 собака)
Рецидив гнойного эндометрита	-	60,0% (6 собак)

Распределение открытой и закрытой форм гнойного эндометрита между собаками группы 1 и группы 2 (85,3% собак с закрытой формой пиометры в группе 1 против 10,0% в группе 2) подчеркивает редкое применение медикаментозного подхода при данной форме заболевания из-за высоких рисков осложнений (разрыв матки, сепсис, перитонит).

Общие данные по распределению животных в группах, проценте осложнений и рецидивов представлены в таблице 2.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

При консервативном лечении гнойного эндометрита с применением Ализина и амоксициллина с клавулановой кислотой осложнения отмечаются в пять раз чаще, чем при хирургическом лечении. В исследовании частота осложнений составила 30,0% при консервативном лечении и 5,9% — при хирургическом лечении.

Консервативное лечение гнойного эндометрита рекомендуется проводить животным, имеющим высокую племенную ценность; или при наличии противопоказаний, исключающих возможность хирургического лечения.

COMPARATIVE EVALUATION OF SURGICAL AND MEDICAL PURULENT ENDOMETRITIS TREATMENT METHODS IN DOGS

Semenov B.S. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of surgery (ORCID 0000-0003-0149-9360); **Nazarova A.V. –** PhD, Associate Professor of the Department of surgery (ORCID 0000-0003-4726-6204); **Kuznetsova T.Sh. –** PhD, Associate Professor of Genetic and Reproductive Biotechnologies (ORCID 0000-0002-8981-0696); **Golikova V.D.** – student (ORCID 0009-0001-8705-8250)

Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine

*bsstepana@rambler.ru

ABSTRACT

The clinical manifestations of purulent endometritis (pyometra) in dogs are diverse and depend on the stage of the process and the degree of cervical openness. There are two main directions in the treatment of dogs with pyometra — operative and medical (conservative). Medical methods are considered organ-preserving and are used only in the case of an open form of pyometra (in animals with open cervix). Complications after conservative treatment include recurrence of the disease in the next estrous cycle. Despite the availability of both surgical and medical treatment methods, the choice of optimal tactics remains a matter of debate, especially in the treatment of breeding and rare animals. The aim of the work was to conduct a comparative analysis of the effectiveness of surgical and medical treatment methods of pyometra in dogs. 44 dogs participated in the study. The animals were divided into two groups. The criteria for the study included: confirmation of the diagnosis "purulent endometritis" based on physical examination, laboratory tests, and diagnostic imaging. The surgical treatment group included 34 dogs that underwent surgical treatment (ovariohysterectomy) after the initial diagnosis of purulent endometritis. The conservative treatment group included 10 dogs. who were treated with aglepristone (the commercial drug *Alizin*). Six dogs from this group were subsequently operated on due to a recurrence of pyometra. With medical treatment of purulent endometritis, complications occur five times more often than with surgical treatment. During the study, the complication rate was 30.0% for medical treatment and 5.9% for surgical treatment. Medical treatment can be recommended in breeding animals with open cervix and without other uterine and ovarian pathologies, or if dogs are contraindications to surgical treatment.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hagman R. Pyometra in Small Animals. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2018 Jul;48(4):639-661. doi: 10.1016/j.cvsm.2018.03.001. PMID: 29933767.

2. Xavier RGC, Santana CH, de Castro YG, Carvalho RDO, da Silva TF, Azevedo V, Aburjaile FF, Dorneles EMS, Santos RL, Silva ROS. Metagenomic and 16S rRNA analysis of culture-negative uterine samples

identifies Brucella spp. in a female dog with pyometra. Top Companion Anim Med. 2025 May 6:100981. doi: 10.1016/j.tcam.2025.100981. Epub ahead of print. PMID: 40339985.
3. Ylhäinen A, Mölsä S, Thomson K, Laitinen-Vapaavuori O, Rantala M, Grönthal T. Bacteria associated with canine pyometra and concurrent bacteriuria: A prospective study. Vet Microbiol. 2025 Feb;301:110362. doi: 10.1016/j.vetmic.2024.110362. Epub 2024 Dec 28. PMID: 39778300.
4. Santana CH, Souza MF, da Silva LA, de Souza LDR, Santana AM, Oliveira AR, da Paixão TA, Santos RL. Predisposing Factors for Pseudoplacentational Endometrial Hyperplasia or Cystic Endometrial Hyperplasia in Dogs and Their Association with Pyometra. Vet Sci. 2024 Dec 26;12(1):1. doi: 10.3390/vetsci12010001. PMID: 39852876; PMCID: PMC11768680.
5. Федин, Андрей Андреевич / Экспериментальное обоснование и разработка эффективных методов терапии при послеродовом эндометрите и пиометре у сук : автореферат дис. ... кандидата ветеринарных наук : 16.00.07 / Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К.Д. Глинки. - Воронеж, 2005. - 23 с.
6. Gebhardt C, Hirschberger J, Rau S, Arndt G, Krainer K, Schweigert FJ, Brunnberg L, Kaspers B, Kohn B: Use of C-reactive protein to predict outcome in dogs with systemic inflammatory response syndrome or sepsis. J Vet Emerg Crit Car. 2009, 19 (5): 450-458. 10.1111/j.1476-4431.2009.00462.x.
7. Ceron JJ, Pardo-Marin L, Wdowiak A, Zoia A, Wochnik M, Szczubiał M, Bochniarz M, Tecles F, Martinez-Subiela S, Tvarijonaviciute A, Dąbrowski R. Divergences between serum C-reactive protein and ferritin concentrations in canine pyometra. BMC Vet Res. 2023 Jun 21;19(1):78. doi: 10.1186/s12917-023-03630-3. PMID: 37344860; PMCID: PMC10283210.

REFERENCES

1. Hagman R. Pyometra in Small Animals. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2018 Jul;48(4):639-661. doi: 10.1016/j.cvsm.2018.03.001. PMID: 29933767.
2. Xavier RGC, Santana CH, de Castro YG, Carvalho RDO, da Silva TF, Azevedo V, Aburjaile FF, Dorneles EMS, Santos RL, Silva ROS. Metagenomic and 16S rRNA analysis of culture-negative uterine samples identifies Brucella spp. in a female dog with pyometra. Top Companion Anim Med. 2025 May 6:100981. doi: 10.1016/j.tcam.2025.100981. Epub ahead of print. PMID: 40339985.
3. Ylhäinen A, Mölsä S, Thomson K, Laitinen-Vapaavuori O, Rantala M, Grönthal T. Bacteria associated with canine pyometra and concurrent bacteriuria: A prospective study. Vet Microbiol. 2025 Feb;301:110362. doi: 10.1016/j.vetmic.2024.110362. Epub 2024 Dec 28. PMID: 39778300.
4. Santana CH, Souza MF, da Silva LA, de Souza LDR, Santana AM, Oliveira AR, da Paixão TA, Santos RL. Predisposing Factors for Pseudoplacentational Endometrial Hyperplasia or Cystic Endometrial Hyperplasia in Dogs and Their Association with Pyometra. Vet Sci. 2024 Dec 26;12(1):1. doi: 10.3390/vetsci12010001. PMID: 39852876; PMCID: PMC11768680.
5. Fedin, Andrey Andreevich / Experimental substantiation and development of effective methods of therapy for postpartum endometritis and pyometra in female dogs : abstract of dis. ... Candidate of Veterinary Sciences : 16.00.07 / Voronezh State Agrarian University named after K.D. Glinka. - Voronezh, 2005. - 23 p.
6. Gebhardt C, Hirschberger J, Rau S, Arndt G, Krainer K, Schweigert FJ, Brunnberg L, Kaspers B, Kohn B: Use of C-reactive protein to predict outcome in dogs with systemic inflammatory response syndrome or sepsis. J Vet Emerg Crit Car. 2009, 19 (5): 450-458. 10.1111/j.1476-4431.2009.00462.x.
7. Ceron JJ, Pardo-Marin L, Wdowiak A, Zoia A, Wochnik M, Szczubiał M, Bochniarz M, Tecles F, Martinez-Subiela S, Tvarijonaviciute A, Dąbrowski R. Divergences between serum C-reactive protein and ferritin concentrations in canine pyometra. BMC Vet Res. 2023 Jun 21;19(1):78.

УДК: 619:616.9:616.596-002
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.511

«ФУЗОГЕЛЬ» – ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ КОРОВ ПРИ БОЛЕЗНЯХ КОПЫТЕЦ

Хузин Д.А. – д-р биол. наук, доцент, главный научный сотрудник (ORCID 0000-0002-2338-4997); **Тарасова Е.Ю.** * – канд. биол. наук, зав. лабораторией ветеринарной санитарии (ORCID 0000-0002-9056-5798); **Баймухаметов Ф.З.** – канд. хим. наук, научный сотрудник (ORCID 0000-7792-3730); **Спиридонов Г.Н.** – д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией бактериальных патологий животных (ORCID 0000-0003-3558-3667); **Быкова П.В.** – мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0003-3636-0633); **Юсупов С.А.** – канд. ветеринар. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-1333-2974); **Потехина Р.М.** – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-9395-8327); **Лукина Г.Р.** – мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0006-1007-3782)

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

* evgenechka1885@gmail.com

Ключевые слова: *болезни копытец, коровы, лекарственное средство, гель, хелаты меди и цинка.*

Key words: *hoof diseases, cows, medicine, gel, copper and zinc chelate.*

Поступила: 25.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В последние десятилетия болезни копытец продолжают наносить значительный ущерб молочному скотоводству. Важнейшим условием увеличения продуктивности и долголетия коров в молочном скотоводстве является эффективная профилактика болезней копытец и своевременное их лечение в самом начале заболевания. В ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» разработано новое лекарственное средство «Фузогель». Целью работы являлась оценка эффективности нового импортозамещающего лекарственного средства «Фузогель» в форме геля на основе действующих веществ металлокомплексных соединений меди и цинка, при болезнях копытец у коров. Форма геля создает механический барьер, предотвращающий развитие инфекции за счет снижения адгезии на тканях пальцев и копытец вегетативных и споровых форм бактерий и грибов. Испытания эффективности данного средства при заразных и незаразных болезнях копытец у коров, проведенных в двух сельхозпредприятиях, свидетельствуют о его высокой антимикробной и противовоспалительной активности в начальной и средней степени тяжести поражений копытец, быстром купировании воспалительной реакции при таких клинических проявлениях болезней как: пальцевый дерматит, язва мякиша, венчика, свода межкопытцевой щели, пододерматит. «Фузогель», не содержащий антибиотики, можно применять без ограничения на дойном поголовье, что позволяет получать высококачественную продукцию (молоко, мясо, субпродукты). После применения «Фузогеля» у коров с легкой и средней степенью тяжести течения болезни, ранее обнаруживаемые вегетативные формы бактерий и микро-

скопические грибы отсутствовали полностью, что положительно влияло на регенеративные процессы и восстановление функций копытец у коров. Высокая эффективность препарата дает возможность его широкого внедрения в систему мероприятий по борьбе с болезнями копытец крупного рогатого скота.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В последние десятилетия болезни копытец продолжают наносить значительный ущерб молочному скотоводству [1-3]. В виду физиологических особенностей коров, имеющих высокую молочную продуктивность, не редких нарушений зоотехнической работы с дойным стадом и отсутствия своевременной ветеринарной помощи при травмах, широкое распространение получили различные поражения копытец незаразной (травмы, асептический ламинит и пододерматит, язвы мякиша, венчика и свода межкопытцевой щели) и заразной (некробактериоз, пальцевый дерматит и другие гнойно-некротические и язвенные инфекции) этиологии [4-6]. Для неспецифической профилактики и лечения коров с болезнями копытец предложено и апробировано большое количество лекарственных средств местного и общего действия [7-11]. Однако их применение и эффективность ограничиваются необходимостью значительных финансовых и трудовых затрат, сложностью внедрения в технологическую схему молочного скотоводства и ограничениями по использованию молока. В большинстве случаев эти меры применяются с большим опозданием, что приводит к необходимости использования трудоемких хирургических манипуляций, дорогостоящих лекарственных средств местного (локального) действия и симптоматической терапии, что значительно снижает их эффективность.

При создании эффективных препаратов для наружного применения носителями активнодействующих и вспомогательных веществ являются гели, порошки, губки, пленки. Несмотря на достаточно широкий спектр лекарственных форм, применяемых для профилактики и лечения поверхностных и глубоких поражений конечностей, выбор геля в качестве носителя действующих и вспомогательных веществ, является наиболее предпочтительным, т.к. гели хорошо проникают в ткани, формируют надежную механическую защиту и активно противостоят инфекции, что убедительно доказано на практике продолжительным и эффективным использованием Solka Hoofgel® («Kanters Special Products B.V.», Нидерланды), содержащим хелатные соединения меди и цинка.

Поражения копытец у коров вызывает большая группа условно-патогенных микроорганизмов. Патогенное действие этих микроорганизмов проявляется при резком снижении иммунобиологической резистентности и превышении инфекционного порога микроорганизмов, «атакующих» организм. Одним из основных возбудителей остро протекающих гнойных инфекций является стафилококк, который активно разрушает своими ферментными системами защитные свойства кожных покровов при мацерации и микротравмах, открывая «ворота» для других микроорганизмов [12-13]. Обычно попавшим в рану микроорганизмам для адаптации и активного проявления жизнедеятельности требуется 6-12 часов. Поэтому важно своевременно поддерживать механическую защиту кожи. При заболеваниях кожных покровов, копытцевого рога и глубжележащих тканей копытных животных лучшие результаты показали препараты в форме геля импортного производства, Препараты на основе геля уменьшают концентрацию вегетативных и споровых форм бактерий, грибов и вирусов в области раны, предотвращая адгезию микроорганизмов на тканях и препятствуя развитию инфекции. Однако в последние годы они стали менее доступны для ветеринарной практики, а арсенал отечественных препаратов, имеющих достаточную эффективность представлен на рынке в небольшом количестве. Поэтому разработка и внедрение эффективных отечественных средств для лечения копытец крупного рогатого скота

весьма актуальна.

Целью работы являлась оценка эффективности нового лекарственного средства «Фузогель» в форме геля, изготовленного на основе металлокомплексных соединений меди и цинка, при болезнях копытец у коров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» разработано новое лекарственное средство «Фузогель» в форме геля против болезней копытец крупного рогатого скота. Основным действующим веществом данного средства являются металлокомплексные соединения меди и цинка. Устойчивые комплексы были сформированы на основе производных этилендиаминтетрауксусной кислоты (NaЭДТА, Трилон Б) и переведены в гелеобразное состояние в растворе карбоксиметилцеллюлозы.

Испытания эффективности «Фузогеля» при заразных и незаразных болезнях копытец у коров были проведены в сельхозпредприятиях Нижегородской и Кировской областей. Для работы в технологически удобном месте устанавливали станок с расколом для фиксации животных, где проводили осмотр, расчистку, обрезку копытец, санацию и лечение пораженных копытец. После «жесткой» фиксации больного животного в станке, копытца пораженной конечности расчищали, проводили обрезку отросшего и деформированного копытцевого рога, тщательно удаляли некротизированные ткани, и наносили «Фузогель» или коммерческий препарат сравнения Solka Hoofgel®. После этого ожидали высыхания геля (5-10 минут). При необходимости область раны защищали легкой бинтовой повязкой с бандажом. После такой обработки животное выгоняли на сухую чистую площадку загона. Повторные обработки проводили с интервалом 3-5 дней. Процесс лечения животных фиксировали в «Ортопедическом журнале».

В сельхозпредприятии Нижегородской области работу проводили на дойной группе (коровник №1), среди которой были хромые коровы во второй и третьей лактации с разным клиническим диагнозом (пальцевый дерматит – 9 голов, язва мякиша – 9 голов, язва свода межкопытцевой щели – 7 голов, болезнь белой линии – 6 голов, язва Рустерхольца – 8 голов, пододерматит – 7 голов, травмы – 3 головы) и степенью тяжести (легкая, средняя, тяжелая) болезней копытец. В дойной группе коровника №2 (контрольная группа без лечения) находились хромые коровы (пальцевый дерматит – 7 голов, язва мякиша – 6 голов, язва свода межкопытцевой щели – 7 голов, болезнь белой линии – 7 голов, язва Рустерхольца – 9 голов, пододерматит – 6 голов, травмы – 4 головы).

Степень тяжести болезни копытец определяли по клинической картине:

1. легкая степень характеризуется легкой хромотой, поверхностными гнойно-воспалительными поражениями и серозными выделениями на коже или небольшим воспалительным отеком.

2. средняя степень характеризуется выраженной хромотой, гнойно-воспалительными и некротическими поражениями поверхностных тканей с возможным переходом под роговой башмак.

3. тяжелая степень характеризуется сильной хромотой с поражением глубоколежащих тканей, сухожилий и костей, отслоением рогового башмака, флегмонами и артритами.

Лечение коров каждой группы проводилось по следующей схеме: 1 день – обработка; 3 день – осмотр, обработка по необходимости, 5 день – осмотр, обработка по необходимости, 7 день – осмотр и оценка результата лечения.

В другом сельхозпредприятии, находящемся в Кировской области, лечебную эффективность «Фузогеля» сравнивали с коммерческим импортным препаратом Solka Hoofgel® («Kanters Special Products B.V.», Нидерланды) в строго контролируемом опыте на 15 животных с легкой и средней степенью тяжести поражений копытец с диагнозом пальцевый дерматит, которых разделили на пять групп.

В первой группе животных (3 головы с

легкой степенью поражений) после санации раны (расчистки, обрезки копытец и иссечения некротизированных тканей) накладывали «Фузогель» без наложения бандажа. Во второй группе (3 головы со средней степенью поражения) после расчистки, обрезки копытец и иссечения некротизированных тканей, на рану накладывали «Фузогель» и закрывали бандажом. Третью группу животных (3 головы с начальной степенью поражения) обрабатывали Solka Hoofgel® без бандажа. В четвертой группе (3 головы со средней степенью поражения) после санации раны накладывали Solka Hoofgel® и закрывали бандажом. Пятую контрольную группу (3 головы) не лечили. Лечение коров проводили по вышеприведенной схеме.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Количество больных животных, клиническое проявление и степень поражения конечностей в обследуемых сельхозпредприятиях учитывали и оценивали до начала, в процессе и после завершения лечения. Болезни инфекционной и незаразной этиологии диагностировали по характерным клинических признакам и лабораторными исследованиями проб биологического материала с изоляцией патогенных культур микроорганизмов. Результаты микробиологических исследований в начале эксперимента свидетельствовали о присутствии в мазках из очагов пораженных конечностей большого многообразия бактерий: *Staphylococcus* spp., *Clostridium* spp. *Streptococcus* spp., *F. necrophorum* и микроскопических грибов (*Aspergillus* spp., *Mucor* spp., *Penicillium* spp. и *Candida albicans).*

Результаты лечения коров с болезнями копытец препаратом «Фузогель» в Нижегородской области представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Лечение болезней копытец препаратом «Фузогель»

Поражения копытец		Количество голов	Количество обработок	Продолжительность лечения, сут	% выздоров-ления
Клинико-лабораторный диагноз	Степень тяжести поражения				
Пальцевый дерматит	легкая	5	1	от 1до 3	100
	средняя	3	2	от 3 до 5	100
	тяжелая	1	до 3	до 5	100
Язва Рустерхольца	легкая	4	1	от 2 до 3	100
	средняя	3	2	от 3 до 5	100
	тяжелая	1	до 5	до 7	–
Болезнь белой линии	легкая	3	1	от 1до 3	100
	средняя	3	2	от 3 до 5	100
	тяжелая	0	-	-	–
Язвы мякиша	легкая	5	1	от 1 до 3	100
	средняя	3	2	от 3 до 5	100
	тяжелая	1	до 5	от 3 до 7	–
Язвы свода межкопытцевой щели	легкая	3	1	от 1 до 5	100
	средняя	3	2	от 3 до 3	100
	тяжелая	1	до 5	от 3 до 7	–
Пододерматит	легкая	3	1	до 5	100
	средняя	3	2-3	до 5	100
	тяжелая	1	до 5	до 7	–
Травмы	легкая	3	1	от 1 до 2	100
	средняя	-	-	-	-
	тяжелая	0	-	-	-

Таблица 2 – Результаты лечения коров препаратами «Фузогель» и Solka Hoofgel®

Группа	Степень тяжести поражения	Количество голов	Количество обработок	Продолжительность лечения, сут	Выздоровление	
					Срок, сут	%
«Фузогель»	легкая	3	1	3	5-7	100
	средняя	3	2	от 3 до 5	10-15	100
Solka Hoofgel ®	легкая	3	1	3	5-7	100
	средняя	3	2	от 3 до 5	10-15	100
Контроль	легкая	1	-	-		0
	средняя	2	-	-		0

Обладая выраженными антимикробными и ранозаживляющими свойствами, «Фузогель» препятствовал развитию воспаления и инфицированных гнойно-некротических и язвенных процессов. При лечении легкой (начальной) степени поражения тканей кожи и копытцевого рога для прекращения воспалительных явлений и инфицирования неглубоких поражений было достаточно однократного нанесения «Фузогеля» на рану. Средняя степень поражения с глубокими гнойно-некротическими поражениями требовала 2-3 кратной обработки с повторными нанесениями препарата. При проведении лечения высокоудойных коров с тяжелой степенью поражения с неблагоприятным прогнозом, проводили тщательную санацию раны с полным удалением мертвых тканей и наложением «Фузогеля», преследующие цель максимальной очистки и локализации очага поражения, снижения воспалительной реакции и облегчения болевого синдрома, что способствовало сохранению молочной продуктивности коров. Целесообразность продолжительного лечения тяжелых поражений определялась до 7 дней лечения, при обработке до 5 раз. Однако вероятность благоприятного исхода таких поражений при большой вероятности рецидивов болезни была не более 30-45 %.

В дойной группе коровника №2 (контрольная группа без лечения) общее количество больных животных осталось на том же уровне с увеличением степени тяжести поражений копытец.

Результаты лечения коров препаратами «Фузогель» и Solka Hoofgel® в сельхозпредприятии Кировской области представлены в таблице 2.

При легкой степени поражения копытец у коров воспалительный процесс после нанесения «Фузогеля» в первой опытной группе (3 головы) и препарата сравнения Solka Hoofgel® в третьей группе (3 головы) прекратился на 3 сутки. В период лечения у животных со средней степенью поражения копытец бандаж и марлевую повязку снимали через 72 часа. В обеих группах при необходимости проводили санацию и антисептическую обработку поверхности раны и вновь наносили препараты. Продолжительность лечения зависела от тяжести поражения и скорости заживления тканей. В итоге у всех коров опытных групп на 5 и 7 сутки наблюдения воспалительный процесс полностью прекратился. Использование «Фузогеля» для терапии болезней копытец у коров, наравне с препаратом сравнения, способствовало прекращению запаха гниения, скорейшему купированию воспалительного процесса и исчезновению хромоты уже после 2-3 процедур.

Таким образом, у коров подопытных групп гнойно-некротические процессы в области копытец прекратились, а в контрольной группе (3 головы) отмечали дегенеративные изменения - отечность, глубокий некроз тканей копытец в виде гнойного пододерматита, увеличения поверхности язвы и флегмоны.

При благоприятном течении регенеративных процессов и отсутствии дополнительных травм, полное выздоровление у коров со средней степенью поражения наступало на 10-15 сутки. Как правило, в последующие сроки наблюдения в подопытных группах новых случаев заболевания не отмечали. При ортопедическом осмотре коров подопытных групп на 15 сутки после применения гелей состояние мягких тканей и рога копытец было без явных дефектов и патологий.

В данном сельхозпредприятии для изучения микробной обсемененности копытец до и после применения «Фузогеля» провели микробиологические исследования проб биологического материала, отобранного из копытец у коров с поражениями средней тяжести.

До применения препарата у коров с болезнями копытец среди большого многообразия, выявляемых условно-патогенных микроорганизмов число одного или нескольких из их представителей (*Clostridium* spp., *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *F. necrophorum, Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Mucor* spp. и *Candida albicans*) превышало пороговые значения (более $1x10^4$ КОЕ).

После применения «Фузогеля» у коров с легкой и средней степенью тяжести течения болезни, ранее обнаруживаемые вегетативные формы бактерий и микроскопические грибы отсутствовали полностью, что положительно влияло на регенеративные процессы и восстановление функций копытец у коров.

Таким образом, в результате исследований установили, что при наружном применении средство «Фузогель» не уступает по эффективности коммерческому импортному препарату Solka Hoofgel®, зарекомендовавшему себя на рынке, и наравне с ним быстро останавливает воспалительный процесс, ускоряет рассасывание инфильтрата и стимулирует регенеративные процессы в тканях копытец.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Разработано эффективное, удобное в применении импортозамещающее лекарственное средство «Фузогель» против болезней копытец крупного рогатого скота на основе действующих веществ из хелатных соединений меди и цинка в форме геля, не содержащее антибиотики, влияющие на качество животноводческой продукции (молоко, мясо, субпродукты). Новое лекарственное средство показало высокую терапевтическую эффективность при лечении болезней копытец инфекционной и неинфекционной этиологии (пальцевый дерматит, язва мякиша, язва свода межкопытцевой щели, язва Рустерхольца, пододерматит, травмы) в начальной и средней степени тяжести поражений в сельхозпредприятии Нижегородской области. О высокой эффективности «Фузогеля» при лечении коров с болезнями копытец и возможности его внедрения в ветеринарную практику свидетельствуют также результаты его сравнительного испытания с импортным препаратом Solka Hoofgel®, хорошо зарекомендовавшим себя на рынке, в условиях сельхозпредприятий Кировской области.

"FUZOGEL" - AN EFFECTIVE REMEDY AGAINST HOOF DISEASES IN COWS

Khuzin D.A. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Researcher (ORCID 0000-0002-2338-4997); **Tarasova E.Yu. *** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Veterinary Sanitation (ORCID 0000-0002-9056-5798); **Baimukhametov F.Z.** – Candidate of chemistry sciences, researcher (ORCID 0000-7792-3730); **Spiridonov G.N.** – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Bacterial Pathologies of Animals (ORCID 0000-0003-3558-3667); **Bykova P.V.** – Junior Researcher (ORCID 0000-0003-3636-0633); **Yusupov S.A.** – Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0002-1333-2974); **Potekhina R.M.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-9395-8327);.**Lukina G.R.** – Junior Researcher (ORCID 0009-0006-1007-3782)

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

* evgenechka1885@gmail.com

ABSTRACT

In recent decades, hoof diseases have continued to cause significant damage to dairy cattle breeding. The most important condition for increasing the productivity and longevity of cows in dairy cattle breeding is effective prevention of hoof diseases and their timely treatment at the very beginning of the disease. A new drug, Fuzogel, has been developed at the Federal Center for Traumatology and Radiology of the Russian Academy of Sciences. The aim of the work was to evaluate the effectiveness of the new import-substituting drug, Fuzogel, in the form of a gel based on the active substances of copper and zinc metal complex compounds, in hoof diseases in cows. The gel form creates a mechanical barrier that prevents the development of infection by reducing the adhesion of vegetative and spore forms of bacteria and fungi to the tissues of the fingers and hooves. Tests of the effectiveness of this product in infectious and non-infectious hoof diseases in cows conducted in two agricultural enterprises indicate its high antimicrobial and anti-inflammatory activity in the initial and moderate severity of hoof lesions, rapid relief of the inflammatory response in such clinical manifestations of diseases as: digital dermatitis, ulcer of the pulp, coronary band, interdigital space vault, pododermatitis. "Fusogel", which does not contain antibiotics, can be used without restrictions on dairy cattle, which allows obtaining high-quality products (milk, meat, offal). After the use of "Fusogel" in cows with mild and moderate severity of the disease, previously detected vegetative forms of bacteria and microscopic fungi were completely absent, which positively affected the regenerative processes and restoration of hoof functions in cows. The high effectiveness of the drug allows its wide implementation in the system of measures to combat hoof diseases in cattle.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ эпизоотической ситуации по инфекционным болезням пальцев и копытец крупного рогатого скота в отдельных регионах Российской Федерации / Д. А. Хузин, Е. Ю. Тарасова, Р. М. Потехина [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 1. – С. 33-40. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.1.33. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=67347103

2. Корочкин, Р. Б. Некробактериоз конечностей - проблема современного скотоводства / Р. Б. Корочкин // Наше сельское хозяйство. – 2022. – № 16(288). – С. 42-45. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49478554

3. Результаты бактериологического исследования смывов с гнойно-некротических поражений копытец у крупного рогатого скота / Д. Н. Надеждин, Е. М. Марьин, О. Н. Марьина [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1(111). – С. 151-158. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80372393

4. Improving lameness detection in cows: A machine learning algorithm application / E. Dervić, C. Matzhold, C. Egger-Danner [et al.] // J. Dairy Sci. – 2024. – Vol. 107. – P. 11550-11562. – DOI 10.3168/jds.2024-24730. Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030224011457

5. Associations of lameness with milk composition, fatty acid profile, and milk coagulation properties in mid-lactation high-yielding Holstein cows / M. Kass, P. Karis, R. Leming [et al.] // International Dairy Journal. – 2024. – № 153. – 105908. – DOI 10.1016/j.idairyj.2024.105908. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/322030771_Cow_milk_coagulation_Process_description_variation_factors_and_evaluation_methodologies_a_review

6. Сочетанные патологии дистального отдела конечностей у коров молочного направления продуктивности / С. В. Позябин, Е. Н. Борхунова, В. В. Белогуров [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 2. – С. 362-371. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.2.362. Режим

доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=68597317
7. Towards potential antifungal agents: synthesis, supramolecular self-assembly and in vitro activity of azole mono- , sesqui- and diterpenoids / A. Akhmedov, R. Gamirov, Yu. Panina [et al.] // Organic & Biomolecular Chemistry. – 2023. – Vol. 21, No. 23. – P. 4863-4873. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=53959743
8. Grimm, K. Investigation on the effectiveness of a new hoof care product to sustainably reduce and prevent digital dermatitis in dairy cow herds / K. Grimm, A. Fiedler, C. Kröger // J. Dairy Sci. – 2025. – № 108(2). – P. 1869-1881. – DOI 10.3168/jds.2024-25134.
9. Оценка ультраструктурных изменений Fusobacterium necrophorum под воздействием средств, применяемых для групповой профилактики болезней дистального отдела конечностей копытных животных / К. В. Перфилова, Г. С. Кашеваров, В. Р. Саитов [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 153-158. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50745274
10. Нехайчик, Ф. М. Коррозионная активность и пенообразующая способность нового дезинфицирующего препарата / Ф. М. Нехайчик, Д. Н. Мингалеев // Ветеринарный врач. – 2022. – № 1. – С. 26-30. – DOI 10.33632/1998-698X.2021-1-26-30. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48060758
11. Изучение антимикробной и фунгицидной активности средства для дезинфекции животноводческих помещений в присутствии животных / Д. А. Хузин, Т. А. Шамилова, А. М. Тремасова [и др.] // Ветеринарный врач. – 2023. – № 4. – С. 20-26. – DOI 10.33632/1998-698X_2023_4_20. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54307926
12. Роль сапрофитных и условно-патогенных микроорганизмов в возникновении и распространении оппортунистических инфекций крупного рогатого скота / Д. А. Хузин, С. А. Юсупов, А. И. Ерошин [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2022. – Т. 252, № 4. – С. 267-272. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_4_252_267. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49843434
13. Худоерова, Ф. А. Проблема заболеваний копыт высокопродуктивных дойных коров и меры профилактики / Ф. А. Худоерова, Х. А. Хамдамов // Теория и практика современной науки : сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 октября 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение", 2020. – С. 139-142. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44081474

REFERENCES

1. Analysis of the epizootic situation for infectious diseases of fingers and hooves of cattle in certain regions of the Russian Federation / D. A. Khuzin, E. Yu. Tarasova, R. M. Potekhina [et al.] // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2024. - No. 1. - P. 33-40. - DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.1.33. Access mode: https://elibrary.ru/item.asp?id=67347103 (In Russ.)
2. Korochkin, R. B. Necrobacteriosis of the extremities - a problem of modern cattle breeding / R. B. Korochkin // Our agriculture. - 2022. - No. 16 (288). - P. 42-45. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49478554 (In Russ.)
3. Results of bacteriological examination of swabs from purulent-necrotic lesions of hooves in cattle / D. N. Nadezhdin, E. M. Maryin, O. N. Maryina [et al.] // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. - 2025. - No. 1 (111). - P. 151-158. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80372393
4. Improving lameness detection in cows: A machine learning algorithm application / E. Dervić, C. Matzhold, C. Egger-Danner [et al.] // J. Dairy Sci. – 2024. – Vol. 107. – P. 11550-11562. – DOI 10.3168/jds.2024-24730. Access mode: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030224011457
5. Associations of lameness with milk com-

position, fatty acid profile, and milk coagulation properties in mid-lactation high-yielding Holstein cows / M. Kass, P. Karis, R. Leming [et al.] // International Dairy Journal. – 2024. – № 153. –105908. – DOI 10.1016/j.idairyj.2024.105908. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/322030771_Cow_milk_coagulation_Process_description_variation_factors_and_evaluation_methodologies_a_review

6. Combined pathologies of the distal limbs in cows of dairy productivity / S. V. Pozyabin, E. N. Borkhunova, V. V. Belogurov [et al.] // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2024. - No. 2. - P. 362-371. - DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.2.362. Access mode: https://elibrary.ru/item.asp?id=68597317

7. Towards potential antifungal agents: synthesis, supramolecular self-assembly and in vitro activity of azole mono- , sesqui- and diterpenoids / A. Akhmedov, R. Gamirov, Yu. Panina [et al.] // Organic & Biomolecular Chemistry. – 2023. – Vol. 21, No. 23. – P. 4863-4873. Access mode: https://elibrary.ru/item.asp?id=53959743

8. Grimm, K. Investigation on the effectiveness of a new hoof care product to sustainably reduce and prevent digital dermatitis in dairy cow herds / K. Grimm, A. Fiedler, C. Kröger // J. Dairy Sci. – 2025. – № 108(2). – P. 1869-1881. – DOI 10.3168/jds.2024-25134.

9. Evaluation of ultrastructural changes in Fusobacterium necrophorum under the influence of agents used for group prevention of diseases of the distal limbs of ungulates / K. V. Perfilova, G. S. Kashevarov, V. R. Saitov [et al.] // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. - 2023. - No. 1. - P. 153-158. Access mode: https://elibrary.ru/item.asp?id=50745274 (In Russ.)

10. Nekhaychik, F. M. Corrosion activity and foaming ability of a new disinfectant / F. M. Nekhaychik, D. N. Mingaleev // The Veterinarian. – 2022. – No. 1. – P. 26-30. – DOI 10.33632/1998-698X.2021-1-26-30. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48060758 (In Russ.)

11. Study of antimicrobial and fungicidal activity of a disinfectant for livestock premises in the presence of animals / D. A. Khuzin, T. A. Shamilova, A. M. Tremasova [et al.] // The Veterinarian. – 2023. - No. 4. - P. 20-26. - DOI 10.33632/1998-698X_2023_4_20. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54307926 (In Russ.)

12. The role of saprophytic and opportunistic microorganisms in the occurrence and spread of opportunistic infections of cattle / D. A. Khuzin, S. A. Yusupov, A. I. Eroshin [et al.] // Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after. N.E. Bauman. – 2022. – Vol. 252, No. 4. – P. 267-272. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_4_252_267. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49843434 (In Russ.)

13. Khudoerova, F. A. The problem of hoof diseases in highly productive dairy cows and preventive measures / F. A. Khudoerova, H. A. Khamdamov // Theory and practice of modern science: a collection of articles from the III International scientific and practical conference, Penza, October 20, 2020. - Penza: "Science and Education", 2020. - P. 139-142. Access mode: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44081474 (In Russ.)

УДК: 616-035.1: 616-006:599.742.73: 615.033: 615.211
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.520

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЭПИДУРАЛЬНОЙ АНЕСТЕЗИИ ПРИ УНИЛАТЕРАЛЬНОЙ МАСТЭКТОМИИ У КОШЕК

Мячиков А.Д.[1] – ветеринарный врач (ORCID 0009-0004-2038-6331)**; Глазунова Л.А.**[2]* - д-р. ветеринар. наук, профессор каф. морфологии, физиологии и общей патологии (ORCID 0000-0003-4050-5903)

[1] Ветеринарная клиника «Стравет»
[2] ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

* glazunovala@gausz.ru

Ключевые слова: *кошки, унилатеральная мастэктомия, эпидуральная анестезия, длина спинномозгового канала, контроль рентгеном, рентгеноконтрастные вещества, кадаверный материал, расчет объема анестетика.*

Key words: *cats, unilateral mastectomy, epidural anesthesia, spinal canal length, X-ray control, radiopaque agents, cadaver material, anesthetic volume calculation.*

Поступила: 01.08.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025





РЕФЕРАТ

При раке молочной железы у кошек проводят унилатеральную мастэктомию, которая требует качественной анальгезии. В соответствии с международными рекомендациями, мы предлагаем использовать методы регионарной анестезии, в частности, высокую эпидуральную анестезию, простую в исполнении, но требующую точного расчета объема местного анестетика. Для этого необходимо разработать метод, учитывающий длину спинномозгового канала и степень распределения по эпидуральному пространству в разных отделах позвоночника кошки. Целью исследования являлось разработка техники выполнения высокой эпидуральной анестезии при унилатеральной мастэктомии у кошек. В исследовании использовали тридцать кадаверных материалов кошек и десять живых кошек. В результате работы определена необходимая площадь блокады для выполнения унилатеральной мастэктомии у кошек. Для контроля распределения жидкости в эпидуральное пространство вводили смесь рентгеноконтрастного раствора Омнипак и местного анестетика Ропивакаин, контролировали контрастирование эпидурального пространства с помощью рентгенологических снимков. Инъекции выполняли поэтапно, последовательно увеличивая суммарный объем раствора и фиксировали изменения в контрастировании на серии рентгенологических снимков. В результате разработан алгоритм для расчёта необходимого объема местного анестетика. Для подтверждения экспериментальных данных на кадаверном материале кошек были произведены клинические испытания метода на живых кошках, подвергшихся унилатеральной мастэктомии по медицинским показаниям. У живых кошек оценивали уровень боли во время и после хирургии используя шкалы оценки боли. Оценена

клиническая анальгетическая способность эпидуральной анальгезии во время выполнения унилатеральной мастэктомии кошек, и доказана ее эффективность для анальгезии во время хирургии.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Жизнь современного человека тесно связана с домашними питомцами, которые выполняют роль компаньонов, скрашивают быт, оказывая благоприятное психологические и физиологическое воздействие [1]. Владельцы уделяют большое значение состоянию здоровья питомцев, считая животных фактически членами своих семей. Особое беспокойство вызывают онкологические заболевания, среди которых опухоли молочной железы являются третьими по частоте встречаемости новообразований у кошек в возрасте 10-12 лет, из которых около 90% являются злокачественными. Мастэктомия является методом выбора [2,3,4,5], позволяя в ранних стадиях достичь полного излечения рака молочной железы у кошек. В ходе оперативного вмешательства происходит удаление всей гряды молочных желез, с одной стороны, с кожей, подкожной жировой клетчаткой и регионарными лимфоузлами. В связи с тем, что у кошек из-за риска инвазии опухолевых клеток в глубокую грудную мышцу, ее так же удаляют [6,7,8]. Такое радикальное иссечение тканей обусловлено вероятностью до 60% рецидивов при частичном (регионарном) удалении молочных желез [14,18,27]. Поэтому, для обеспечения благоприятного течения операции необходимо разработать соответствующие анальгетические протоколы [9,10].

Методы регионарной анестезии по мнению множества международных ассоциаций ветеринарных анестезиологов рекомендуются для использования при большинстве хирургических процедур и травматических повреждений, как указано в современных ветеринарных рекомендациях по лечению боли [11,12,13]. Учитывая объем хирургической травмы, блокада периферических нервов осложнена их большим количеством и не может являться единственным методом анальгезии, а без этого теряются преимущества регионарной анестезии [14,15,16]

Альтернативным методом регионарной анестезии является эпидуральная блокада, это метод, при котором, местный анестетик, вводится в эпидуральное пространство, распространяясь вдоль позвоночного канала. В зависимости от объема введенного анестетика и размеров спинномозгового пространства развивается блокада корешков спинного мозга ниже и выше места инъекции, чем больше будет объем, тем больше корешков в краниальном направлении будет заблокировано. Эпидуральная инъекция возможна через любое межпозвоночное пространство, но наиболее часто используют доступ между последним поясничным и первым крестцовым позвонком (L7-S1). Это объясняется большим межпозвоночным пространством, относительно более высоких отделов, меньшей вероятностью попадания в субарахноидальное пространство и удобством анатомических ориентиров в виде подвздошных костей, которые располагаются латерально от доступа. Такой способ широко используется у собак, но для кошек не разработано метода расчета высокой эпидуральной блокады требуемой для иссечения 1 и 2 краниальных пар молочных желез.

В настоящее время для кошек используют методы расчета объема анестетика из расчета миллилитры на килограмм массы тела кошки. Недостатками этого подхода является погрешность в объеме расчётного объема в зависимости от конституции тела животного [5,17,18,19].

Наиболее часто используется дозировка 0,1 мл/кг массы тела при оперативных вмешательствах на тазовых конечностях. Для операций в области брюшной полости используются дозировки 0,2 мл/кг или 1 мл/кошку [18,19,20]. Для более высоких блокад, затрагивающих область грудной клетки, эпидуральная блокада для кошек используется реже, так как проведено недостаточно исследований объема грудного отдела эпидурального пространства.

Тогда как у собак проведены расчеты и существуют графики распределения объемов местного анестетика в зависимости от длины позвоночного канала [18,19].

Для расчёта объема эпидурального пространства у собак, поэтапно вводили рентгеноконтрастный раствор в эпидуральное пространство, малыми порциями по 1 мл кадаверным материалам разных пород и возрастов и выполнялись рентгеновские снимки. Исследователи измеряли длину позвоночного канала от позвонка C1 до Cd1, а также длину от позвонка Cd1 до самой краниальной точки затекания раствора. В результате были составлен график распределения объема [18,19,21] (рисунок 1).

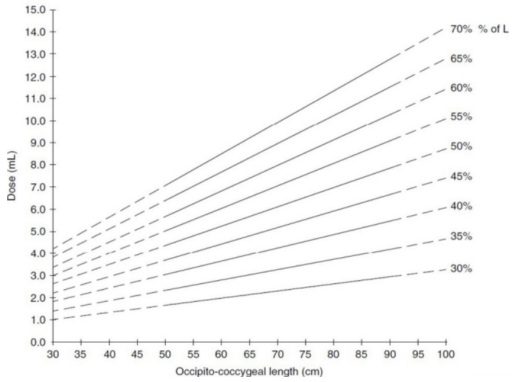


Рисунок 1 – График зависимости распределения местного анестетика по эпидуральному пространству собак.

На горизонтальной оси отмечено расстояние от позвонка C1 до Cd1 в сантиметрах (длина позвоночного канала). Слева в столбце указан объём в миллилитрах, а с правой стороны — процентное соотношение протяжённости распределения раствора по позвоночному каналу, измеряемому от Cd1 [18,19,21].

В настоящее время отсутствуют обоснованные данные, позволяющие рассчитать объем вводимого анестетика в эпидуральное пространство у кошек при выполнении унилатеральной мастэктомии (УМЭ) и обеспечить качественное обезболивание.

В связи с этим целью нашего исследования явилось разработать технику выполнения высокой эпидуральной анестезии при унилатеральной мастэктомии у кошек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводили на базе ветеринарной клиники «Старвет» города Тюмени в 2024-2025 гг. В исследовании использовали эмпирические методы эксперимента по введению рентгенконтрастного раствора в эпидуральное пространство кадаверного материала кошек (n=30), ренгенологического исследования и анализа рентгенограмм по измерению расстояния, на которое распределился раствор. Теоретическими методами синтеза мы объединили в один общий график распределения растворов по эпидуральному пространству кошек, обобщив закономерности распределения объемов у кошек схожих по длине позвоночного канала. Для подтверждения эффективности применяемого способа проводили клинические испытания, в ходе которых провели унилатеральную мастэктомию на живых кошках (n=10), оценив уровень боли до и после операции, используя объективные шкалы оценки боли, вычленив побочные эффекты во время действия блокады.

Предоперационно у кошек оценивали: общий анализ крови с подсчетом лейкоцитарной формулы, биохимический анализ крови, электрокардиографию, эхокардиографию, рентген грудной клетки и ультразвуковое исследование брюшной полости (поиск отдаленных признаков метастазирования) [2,3,5,19].

Перед оперативным вмешательством вводят антибиотик (амоксициллин с клауроновой кислотой) и противорвотный препарат. Выполняли индукцию в анестезию с введением анальгетиков и анестетиков. В нашем исследовании предлагается возможность выполнения унилатеральной мастэктомии кошек без введения внутривенных анальгетиков во время хирургии, выполняя операцию под общей анестезией внутривенно пропофолом или ингаляционно изофлураном, то есть препаратами, которые не имеют анальгетиче-

ской способности [3,19,22].

Эпидуральная анестезия у кошек выполняется в состоянии общей анестезии. При этом животное укладывают либо набок, либо в дорсо-вентральное положение. В положении лежа на боку задние конечности вытягиваются вперед, а в положении лежа на груди задние конечности должны быть "подогнуты" под животное. Это обеспечивает максимальный зазор между последним поясничным позвонком и крестцом. Это место определяется с помощью внешних анатомических ориентиров - «крыльев» подвздошных костей и остистых отростков седьмого поясничного позвонка и крестца. Большим и средним пальцами одной руки пальпируют наружные углы подвздошных костей, а указательный палец направляют каудально. Поясничнокрестцовое пространство определяется пальпацией впадины непосредственно каудально от остистого отростка седьмого поясничного позвонка. Спинномозговая игла вводится медленно под углом 90° к коже животного, при этом необходимо соблюдать осторожность чтобы убедиться, что она находится на средней линии. Выбор размера иглы зависит от размера животного. Для кошек рекомендуется использовать спинномозговую иглу 22G длиной 2,5-5 см, Рекомендуемый способ убедиться, что игла находится в эпидуральном пространстве, — это провести «тест на потерю сопротивляемости» - ввести физиологический раствор для подтверждения отсутствия сопротивления при введении. Как только будет установлено, что игла находится в эпидуральном пространстве, следует осмотреть канюлю на наличие прозрачной спинномозговой жидкости (ликвора) или крови перед инъекцией. Наличие ликворной массы указывает на то, что произошла субарахноидальная пункция. При наличии крови в канюле иглы, вероятно, кончик иглы находится внутри сосуда. В этом случае следует провести повторную инъекцию либо отказаться от проведения эпидуральной блокады. Далее проводят аспирационный тест и так же убеждаются, что в канюле не получены ликвор или кровь. Инъекцию раствора в эпидуральное пространство следует проводить в течение примерно через 30-60 секунд растворы должны быть комнатной температуры [20,21,23,24].

Все действия с животными проводили согласно требованиям европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в экспериментах и для других научных целей.

Полученные результаты обрабатывали с помощью статистических методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Для определения корреляции объема вводимой смеси местного анестетика с рентгеноконтрастным раствором на уровень распределения по эпидуральному пространству мы проводили исследования на кадаверном материале. Для этого подбирали кошек без патологий позвоночного столба на рентгенологических снимках и отсутствием неврологических проблем в анамнезе. Производили измерение длины позвоночного канала сантиметровой лентой, начиная от C1 до Cd1. Использовали рентгеноконтрастный раствор (Омнипак) в смеси с местным анестетиком (Ропивакаин) 1:1.

Введение препаратов в эпидуральное пространство проводили под контролем положения кончика иглы рентгенологическим исследованием после чего вводили рентгеноконтрастный раствор в объеме 0,5 мл. Распределение раствора определяли на рентгенологическом снимке, выполненном в боковом положении животного, измеряя расстояние, на которое окрасилось эпидуральное пространство в краниальном направлении начиная от Cd1. Дальнейшие инъекции выполняли по 0,3 мл раствора, производя рентгенологический снимок с замером длины окрашивания. Введение растворов прекращали, при 100%-ном окрашивании позвоночного канала. Поэтапные рентгенологические снимки кадаверного материала кошки представлены на рисунка 2-4.

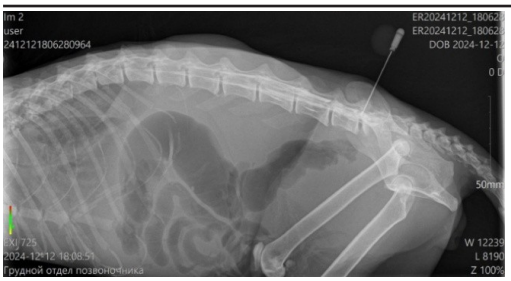


Рисунок 2 – Контрастирование эпидурального пространства 0,5 мл рентгеноконтрастного раствора.



Рисунок 3 – Контрастирование эпидурального пространства 1,1 мл рентгеноконтрастного раствора.



Рисунок 4 – Контрастирование эпидурального пространства 2 мл рентгеноконтрастного раствора.

Проведенные исследования позволили нам распределить полученные результаты, которые мы отразили в таблице 1, где кадаверный материал разделили по группам в зависимости от длины ранее измеренного позвоночного канала, начиная с 20 см с шагом в 5 см, округление происходило в меньшую сторону. Результаты разделения по группам приведены в таблице 1.

Объединив полученные значения по каждой группе, согласно введенного объема раствора мы рассчитали среднее арифметическое значение процента окрашивания позвоночного канала в зависимости от объема введенного раствора и длины позвоночного канала кадаверных материалов кошек. Затем, для удобства применения в работе мы объединили все группы в график, представленный на Рисунке 5.

Полученные данные о распределении раствора по эпидуральному пространству кадаверных материалов кошек, позволили приступить к следующему этапу работ с живыми пациентами и экспериментально определить точность наших наблюдений.

В эксперименте, по клинической оценке, анальгетической способности эпидуральной анальгезии, при выполнении унилатеральной мастэктомии кошек, мы использовали 10 кошек без патологий по основным лабораторным и инструментальным исследованиям.

Перед операцией кошки получали комбинированный антибиотик Синулокс 175 мг/мл, содержащий 140 мг амоксициллина в форме амоксициллина тригидрата и 35 мг клавулановой кислоты в форме клавуланата кальция. Использовали дозировку 20 мг/кг, инъекцию выполняли внутримышечно.

Клиническое испытание кошки проходили в состоянии общей анестезии, индукцию в наркоз выполняли раствором пропофола, для поддержки мы использовали изофлуран, ингаляционно, с использованием наркозно-дыхательного аппарата Mindray Veta 5, мониторинг во время хирургии осуществляли с использованием монитора пациента Mindray uMEC12, контролировали показатели неинвазивного измерения артериального давления, электрокардиограмму, сатурации, капнографии, температуры тела.

После операции проводили контроль неинвазивного измерения артериального давления, температуры тела, частоты дыхательных движений и частоты сокращения сердца, по стабилизации животные получали нестероидные противовоспалительный препарат мелоксикам в дозировке 0,1 мг/кг подкожно, с курсом от 3 до 5

дней в дозировке 0,05 мг/кг перорально. Курс антибиотика продолжался 7 дней.

Этот этап исследований мы разделили на две части: в первом мы вводили рентгеноконтрастное вещество, для проверки соответствия между теоретически необходимым объемом для распространения на нужный процент позвоночного столба и практическим окрашиванием позвоночника: Расчет теоретически необходимого объема мы производили по разработанному нами графику (рисунок 5), согласно алгоритму:

Измеряли S1 - расстояние от позвонка C1 до Cd1 в сантиметрах.

Измеряли S2 – расстояние от позвонка Cd1 до остистого отростка C7.

Таблица 1 – Распределение кадаверных материалов кошек по группам

Группа №	Длина позвоночного столба от C1 до Cd1	Количество кадаверных материалов кошек, на которых проводили исследование
1	20	2
2	25	3
3	30	5
4	35	5
5	40	5
6	45	6
7	50	4
	Итого:	30

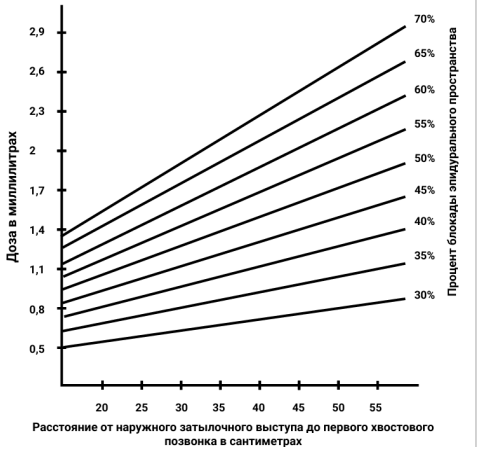


Рисунок 5 – График зависимости распределения местного анестетика по эпидуральному пространству кошек. На горизонтальной оси отмечено расстояние от позвонка C1 до Cd1 в сантиметрах (длина позвоночного канала). Слева в столбце указан объём в миллилитрах, а с правой стороны — процентное соотношение протяжённости распределения раствора по позвоночному каналу, измеряемому от Cd1.

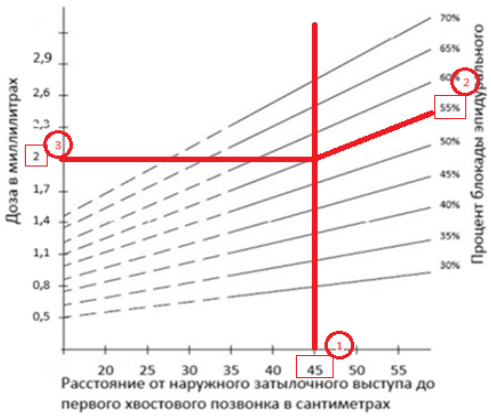


Рисунок 6 – Пример расчета необходимого объема. График зависимости распределения местного анестетика по эпидуральному пространству кошек. На горизонтальной оси отмечена длина от позвонка C1 до Cd1 в сантиметрах (длина позвоночного канала). Слева в столбце указан объём в миллилитрах, а с правой стороны — процентное соотношение протяжённости распределения раствора по позвоночному каналу, измеряемому от Cd1. Где: 1 – это значение S1, 2 – это необходимый процент блокады позвоночного канала и 3 это необходимых объем для введения в эпидуральное пространство.

Рассчитывали процент блокады длины позвоночного канала по формуле: S2/S1 * 100. Отложив на графике вертикаль от горизонтальной оси и совместив с линией от необходимого процента блокады, мы получаем необходимый объем для инъекции (рисунок 6).

Получив теоретическое значение, мы вводили кошкам, находящимся в состоянии общей анестезии, «Омнипак» медленно, поэтапно выполняя рентгенологические снимки в качестве контроля. Полученные значения и несоответствия в проценте распределения мы вносили в таблицу 2.

Полученные результаты показали общую точность распределения, между расчетной и полученной на практике, до одного позвонка, это менее 2% расчетной погрешности (таблица 2).

Во второй части исследования мы использовали раствор местного анестетика Ропивакаин 0,5%.

Зная необходимый объем, подтвержденный рентгенологически, мы, выждав 30 минут после введения контрастного раствора, вводили раствор местного анестетика для получения эпидуральной блокады. Инъекцию производили медленно, используя инфузионный насос за 5 минут, оценивая показатели артериального давления, сатурацию, электрокардиографию, капнографию, были подготовлены реанимационные препараты. В момент инъекции в эпидуральное пространство кошки находились в состоянии общей анестезии, мы использовали препарат для поддержания сна Изофлуран, который поступал ингаляционно в концентрации 0,6-1%. По окончанию введения местного анестетика, в течение 5-10 минут оценивали чувствительность на коже, используя тест с хирургическими цапками. Не получив болевого ответа в виде роста частоты сердечных сокращений, артериального давления или частоты дыхания, мы переходили к проведению операции. Все 10 кошек не получили перед хирургией препаратов с анальгетической способностью. Индукция была выполнена препаратом Пропофол внутривенно.

Во время наблюдения за животными в эксперименте были выявлены следующие побочные эффекты:

У четырех кошек было снижение систолического давления до среднего артериального 65, после введения кристаллоидного раствора в объеме 5 мл/кг, а также снижения концентрации изофлурана на ступень, артериальное давление пришло в норму.

У одной из кошек наблюдали снижение частоты сердечных сокращений до 110, без введения препаратов, путем снижения концентрации изофлурана на ступень, этот показатель пришел в норму.

Во время оперативного вмешательства не было значимых подъемов артериального давления, частоты сердечных сокращений и частоты дыхательных движений. После операции пациенты просыпались без выраженных признаков болезненности. Дополнительно, после операции они получали нестероидный противовоспалительный препарат мелоксикам 0,1 мг/кг. Болезненность оценивали по шкале мимики кошек FGS и визуальной шкале оценки боли кошек (UNESP-Botucatu), уровень боли был в пределах 0-1 и 2-3 баллов соответственно. Что указывает на отсутствие в необходимости обезболивающих препаратов.

На следующий день проводили контроль функционального состояния, оценку состояния швов, уровня боли. При этом четырем кошкам потребовалось назначение дополнительных обезболивающих препаратов (мы применяли введение трамадола 3 мг/кг внутримышечно 2 раза в день, с переоценкой боли на следующий день).

Переоценка уровня боли после операции показала прекращение действия анальгетической способности эпидуральной анестезии.

Таблица 2 – Сравнительная эффективность расчетной и фактической высоты распределения контраста, при использовании графика на рисунке 6

Длина позвоночного столба от C1 до Cd1	Количество кадаверных материалов кошек, на которых проводилось исследование для участия в составлении диаграммы	Количество кошек, на которых проводилось исследование во время проверки точности расчета графика	Процент, на который различался расчетная высота распределения контраста от фактически графика (M±m)
20	2	1	2%
25	3	1	1,8%
30	5	2	1,5%
35	5	2	1,5%
40	5	1	1%
45	6	2	1,4%
50	4	1	1,6%
Итого:	30	10	1,7% в среднем

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Определена необходимая площадь блокады для выполнения унилатеральной мастэктомии у кошек. Для выполнения данной хирургической операции требуется анальгезия кожи и поверхностных мышц живота и грудной клетки начиная от уровня половых органов и паха до кожной складки грудной конечности и глубокой грудной мышцы Musculus pectoralis profundus. Разработан алгоритм проведения эпидуральной инъекции местного анестетика кошкам, рассчитан необходимый объем местного анестетика по разработанной нами диаграмме с описанием метода расчета. Установлена корреляция объема вводимой смеси местного анестетика с рентгеноконтрастным раствором на уровень распределения по эпидуральному пространству на кадаверном материале и подтверждён на живых кошках. Оценена клиническая анальгетическая способность эпидуральной анальгезии во время выполнения унилатеральной мастэктомии кошек, и доказали ее эффективность для анальгезии во время хирургии.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR PERFORMING HIGH EPIDURAL ANESTHESIA IN UNILATERAL MASTECTOMY IN CATS

Myachikov A.D.[1] – veterinarian (ORCID 0009-0004-2038-6331); **Glazunova L.A.**[2]* - D.Sc. (Veterinary Medicine), Professor, Department of Morphology, Physiology and General Pathology (ORCID 0000-0003-4050-5903);

[1] Veterinary clinic "Stravet"

[2]FGBOU VO GAU of the Northern Trans-Urals

* glazunovala@gausz.ru

ABSTRACT

In cats with mammary gland cancer, unilateral mastectomy is performed, which requires high-quality analgesia. In accordance with international recommendations, we propose using regional anesthesia methods, in particular, high epidural anesthesia, which is easy to perform, but requires accurate calculation of the volume of local anesthetic. For this, it is necessary to develop a method that takes into account the length of the spinal canal and the degree of distribution along the epidural space in different parts of the cat's spine. The aim of the study was to develop a technique for performing high epidural anesthesia for unilateral mastectomy in cats. Thirty cat cadaver materials and ten live cats were used in the study. As a result of the work, the required blockade area for performing unilateral mastectomy in cats was

determined. To control the distribution of fluid, a mixture of Omnipaque radiopaque solution and Ropivacaine local anesthetic were injected into the epidural space, and the contrasting of the epidural space was controlled using X-ray images. The injections were performed stepwise, consistently increasing the total volume of the solution, and changes in contrast were recorded on a series of radiographic images. As a result, an algorithm was developed for calculating the required volume of local anesthetic. To confirm the experimental data on cat cadaver material, clinical trials of the method were conducted on live cats that underwent unilateral mastectomy for medical reasons. In live cats, pain levels were assessed during and after surgery using pain assessment scales. The clinical analgesic capacity of epidural analgesia during unilateral mastectomy in cats was assessed, and its effectiveness for analgesia during surgery was proven.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Frantz L.A.F., Bradley, D.G., Larson, G. et al. Animal domestication in the era of ancient genomics. Nat Rev Genet 21, 449–460 (2020). https://doi.org/10.1038/s41576-020-0225-0.
2. De la Flor M, Delgado C, Martínez S, Arenas M, Gómez M, Reig R. Rate of effect of surgical margins after breast conserving surgery and estimation of direct costs. Cir Esp (Engl Ed). 2022 Nov;100(11):702-708. doi: 10.1016/j.cireng.2021.07.016.
3. Amorim FV, Souza HJ, Ferreira AM, Fonseca AB. Clinical, cytological and histopathological evaluation of mammary masses in cats from Rio de Janeiro, Brazil. J Feline Med Surg. 2006 Dec;8(6):379-88. https://doi.org/10.1016/j.jfms.2006.04.004.
4. Gemignani F, Mayhew PD, Giuffrida MA, Palaigos J, Runge JJ, Holt DE, Robertson NA, Seguin B, Walker M, Singh A, Liptak JM, Romanelli G, Martano M, Boston SE, Lux C, Busetto R, Culp WTN, Skorupski KA, Burton JH. Association of surgical approach with complication rate, progression-free survival time, and disease-specific survival time in cats with mammary adenocarcinoma: 107 cases (1991-2014). J Am Vet Med Assoc. 2018 Jun 1;252(11):1393-1402. https://doi.org/10.2460/javma.252.11.1393.
5. MacEwen EG, Hayes AA, Harvey HJ, Patnaik AK, Mooney S, Passe S. Prognostic factors for feline mammary tumors. J Am Vet Med Assoc. 1984 Jul 15;185(2):201-4.
6. Murphy S. Mammary tumours in dogs and cats. In Practice. 2008;30(6):334–339.
7. Petrucci GN, Henriques J, Lobo L, Vilhena H, Figueira AC, Canadas-Sousa A, Dias-Pereira P, Prada J, Pires I, Queiroga FL. Adjuvant doxorubicin vs metronomic cyclophosphamide and meloxicam vs surgery alone for cats with mammary carcinomas: A retrospective study of 137 cases. Vet Comp Oncol. 2021 Dec;19(4):714-723. https://doi.org/10.1111/vco.12660.
8. Stratmann N, Failing K, Richter A, Wehrend A. Mammary tumor recurrence in bitches after regional mastectomy. Vet Surg. 2008 Jan;37(1):82-6. https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2007.00351.x.
9. Moreira CM, Oliveira RL, Costa GA, Corgozinho KB, Luna SP, Souza HJ. Evaluation of tumescent local anesthesia in cats undergoing unilateral mastectomy. Vet Anaesth Analg. 2021 Jan;48(1):134-141. https://doi.org/10.1016/j.vaa.2020.08.006.
10. Luciana G. Teixeira, Diego M. Pujol and Aline F. Pazzim et al. Combination of Transversus abdominis plane block and Serratus plane block anesthesia in dogs submitted to masctetomy. Pesq. Vet. Bras.. 2018. Vol. 38(2):315-319. https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5007.
11. Корнюшенков, Е.А. Рекомендации протоколов анестезии для проведения плановых кастраций собак и кошек (орхифуникулэктомии, овариогистерэктомии и овариоэктомии) / Е.А. Корнюшенков, Е.В. Туровникова, Е.В. Захаров, Ю.С. Дородных, А.Н. Мальцева, Е.С. Васечкина, В.В. Соловьева, Т.Б. Краснова, С.Г. Атанасова, Е.А. Лежнева, А.Ю. Павлюченко // Российский ветеринарный журнал. — 2023. — № 2. — С. 5–13. https://doi.org/10.32416/2500-4379-2023-2-5-13.
12. Albrecht E, Chin KJ. Advances in regional anaesthesia and acute pain management: a narrative review. Anaesthesia. 2020

Jan;75 Suppl 1:e101-e110. https://doi.org/10.1111/anae.14868.
13. Bednarski R, Grimm K, Harvey R, Lukasik VM, Penn WS, Sargent B, Spelts K; American Animal Hospital Association. AAHA anesthesia guidelines for dogs and cats. J Am Anim Hosp Assoc. 2011 Nov-Dec;47(6):377-85. https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-5846.
14. DeRossi R, Hermeto LC, Jardim PHA, de Andrade Bicudo N, de Assis KT. Postoperative pain control in cats: clinical trials with pre-emptive lidocaine epidural co-administered with morphine or methadone. J Feline Med Surg. 2016 Nov;18(11):882-888. https://doi.org/10.1177/1098612X15602738.
15. Основы анестезиологии и реаниматологии в клинической ветеринарии мелких млекопитающих животных: учебное пособие для вузов / И. И. Калюжный, П. Р. Пульняшенко, А. В. Яшин [и др.]; под редакцией И. И. Калюжный, П. Р. Пульняшенко. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 236 с.
16. Племяшов, К. В. Ветеринарная анестезиология. Общая и местная анестезия: учебное пособие для вузов / К. В. Племяшов, А. А. Стекольников, А. Ю. Нечаев. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — 236 с. Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/439943?category=939&publisher=0.
17. Campoy L., Read M. R. (ed.). Small animal regional anesthesia and analgesia. – John Wiley & Sons, 2013 – 304 p.
18. Jones RS. Epidural analgesia in the dog and cat. Vet J. 2001 Mar;161(2):123-31. https://doi.org/10.1053/tvjl.2000.0528. PMID: 11243684.
19. Klide AM, Soma LR. Epidural analgesia in the dog and cat. J Am Vet Med Assoc. 1968 Jul 15;153(2):165-73.
20. Machin H, Merlin T, Viscasillas J. Use of ultrasonography to confirm epidural catheter position in a cat. Vet Anaesth Analg. 2018 Sep;45(5):711-713. https://doi.org/10.1016/j.vaa.2018.03.012.
21. Lawal FM, Adetunji A. A comparison of epidural anaesthesia with lignocaine, bupivacaine and a lignocaine-bupivacaine mixture in cats. J S Afr Vet Assoc. 2009 Dec;80 (4):243-6. https://doi.org/10.4102/jsava.v80i4.220.
22. Mariscal Martínez A, Vives Roselló I, Salazar Gómez A, Catanese A, Pérez Molina M, Solà Suarez M, Pascual Miguel I, Blay Aulina L, Ríos Gozálvez C, Julián Ibáñez JF, Rodríguez Martínez P, Martínez Román S, Margelí Vila M, Luna Tomás MA. Advantages of preoperative localization and surgical resection of metastatic axillary lymph nodes using magnetic seeds after neoadjuvant chemotherapy in breast cancer. Surg Oncol. 2021 Mar;36:28-33. https://doi.org/10.1016/j.suronc.2020.11.013.
23. Couceiro TC, Menezes TC, Valênça MM. Post-mastectomy pain syndrome: the magnitude of the problem. Rev Bras Anestesiol. 2009 May-Jun;59(3):358-65. English, Portuguese. https://doi.org/10.1590/s0034-70942009000300012.
24. Tayari H, Otero PE, D'Agostino M, Bartolini F, Briganti A. Epidural Volume of Injectate Using a Dose Regimen Based on Occipito-Coccygeal Spinal Length (OCL): Randomized Clinical Study Comparing Different Ropivacaine Concentrations, with or without Morphine, in Bitches Undergoing Total Unilateral Mastectomy. Animals (Basel). 2022 Feb 25;12(5):587. https://doi.org/10.3390/ani12050587.

REFERENCES

1. Frantz L.A.F., Bradley, D.G., Larson, G. et al. Animal domestication in the era of ancient genomics. Nat Rev Genet 21, 449–460 (2020). https://doi.org/10.1038/s41576-020-0225-0.
2. De la Flor M, Delgado C, Martínez S, Arenas M, Gómez M, Reig R. Rate of effect of surgical margins after breast conserving surgery and estimation of direct costs. Cir Esp (Engl Ed). 2022 Nov;100(11):702-708. doi: 10.1016/j.cireng.2021.07.016.
3. Amorim FV, Souza HJ, Ferreira AM, Fonseca AB. Clinical, cytological and histopathological evaluation of mammary masses in cats from Rio de Janeiro, Brazil. J Feline Med Surg. 2006 Dec;8(6):379-88. https://doi.org/10.1016/j.jfms.2006.04.004.
4. Gemignani F, Mayhew PD, Giuffrida MA, Palaigos J, Runge JJ, Holt DE, Robertson NA, Seguin B, Walker M, Singh A, Lip-

tak JM, Romanelli G, Martano M, Boston SE, Lux C, Busetto R, Culp WTN, Skorupski KA, Burton JH. Association of surgical approach with complication rate, progression-free survival time, and disease-specific survival time in cats with mammary adenocarcinoma: 107 cases (1991-2014). J Am Vet Med Assoc. 2018 Jun 1;252(11):1393-1402. https://doi.org/10.2460/javma.252.11.1393.
5. MacEwen EG, Hayes AA, Harvey HJ, Patnaik AK, Mooney S, Passe S. Prognostic factors for feline mammary tumors. J Am Vet Med Assoc. 1984 Jul 15;185(2):201-4.
6. Murphy S. Mammary tumours in dogs and cats. In Practice. 2008;30(6):334–339.
7. Petrucci GN, Henriques J, Lobo L, Vilhena H, Figueira AC, Canadas-Sousa A, Dias-Pereira P, Prada J, Pires I, Queiroga FL. Adjuvant doxorubicin vs metronomic cyclophosphamide and meloxicam vs surgery alone for cats with mammary carcinomas: A retrospective study of 137 cases. Vet Comp Oncol. 2021 Dec;19(4):714-723. https://doi.org/10.1111/vco.12660.
8. Stratmann N, Failing K, Richter A, Wehrend A. Mammary tumor recurrence in bitches after regional mastectomy. Vet Surg. 2008 Jan;37(1):82-6. https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2007.00351.x.
9. Moreira CM, Oliveira RL, Costa GA, Corgozinho KB, Luna SP, Souza HJ. Evaluation of tumescent local anesthesia in cats undergoing unilateral mastectomy. Vet Anaesth Analg. 2021 Jan;48(1):134-141. https://doi.org/10.1016/j.vaa.2020.08.006.
10. Luciana G. Teixeira, Diego M. Pujol and Aline F. Pazzim et al. Combination of Transversus abdominis plane block and Serratus plane block anesthesia in dogs submitted to masctetomy. Pesq. Vet. Bras.. 2018. Vol. 38 (2):315-319. https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5007.
11. Kornyushenkov, E.A. Recommendations for anesthesia protocols for elective castrations of dogs and cats (orchifuniculectomy, ovariohysterectomy, and ovariectomy) / E.A. Kornyushenkov, E.V. Turovnikova, E.V. Zakharov, Yu.S. Dorodnykh, A.N. Maltseva, E.S. Vasechkina, V.V. Solovyova, T.B. Krasnova, S.G. Atanasova, E.A. Lezhneva, A.Yu. Pavlyuchenko // Russian Veterinary Journal. - 2023. - No. 2. - P. 5–13. https://doi.org/10.32416/2500-4379-2023-2-5-13. (In Russ.)
12. Albrecht E, Chin KJ. Advances in regional anesthesia and acute pain management: a narrative review. Anaesthesia. 2020 Jan;75 Suppl 1:e101-e110. https://doi.org/10.1111/anae.14868.
13. Bednarski R, Grimm K, Harvey R, Lukasik VM, Penn WS, Sargent B, Spelts K; American Animal Hospital Association. AAHA anesthesia guidelines for dogs and cats. J Am Anim Hosp Assoc. 2011 Nov-Dec;47(6):377-85. https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-5846.
14. DeRossi R, Hermeto LC, Jardim PHA, de Andrade Bicudo N, de Assis KT. Postoperative pain control in cats: clinical trials with pre-emptive lidocaine epidural co-administered with morphine or methadone. J Feline Med Surg. 2016 Nov;18(11):882-888. https://doi.org/10.1177/1098612X15602738.
15. Fundamentals of anesthesiology and resuscitation in clinical veterinary medicine of small mammals: a textbook for universities / I. I. Kalyuzhny, P. R. Pulnyashenko, A. V. Yashin [et al.]; edited by I. I. Kalyuzhny, P. R. Pulnyashenko. - 3rd ed., reprinted - St. Petersburg: Lan, 2024. - 236 p.
16. Plemyashov, K. V. Veterinary anesthesiology. General and local anesthesia: a textbook for universities / K. V. Plemyashov, A. A. Stekolnikov, A. Yu. - St. Petersburg: Lan, 2025. - 236 p. Access mode: https://e.lanbook.com/book/439943?
category=939&publisher=0.17.Campoy L., Read M. R. (ed.). Small animal regional anesthesia and analgesia. – John Wiley & Sons, 2013 – 304 p. (In Russ.)
18. Jones RS. Epidural analgesia in the dog and cat. Vet J. 2001 Mar;161(2):123-31. https://doi.org/10.1053/tvjl.2000.0528. PMID: 11243684.
19. Klide AM, Soma LR. Epidural analgesia in the dog and cat. J Am Vet Med Assoc. 1968 Jul 15;153(2):165-73.
20. Machin H, Merlin T, Viscasillas J. Use of ultrasonography to confirm epidural catheter position in a cat. Vet Anaesth Analg. 2018 Sep;45(5):711-713. https://doi.org/10.1016/j.vaa.2018.03.012.

21. Lawal FM, Adetunji A. A comparison of epidural anaesthesia with lignocaine, bupivacaine and a lignocaine-bupivacaine mixture in cats. J S Afr Vet Assoc. 2009 Dec;80 (4):243-6. https://doi.org/10.4102/jsava.v80i4.220.
22. Mariscal Martínez A, Vives Roselló I, Salazar Gómez A, Catanese A, Pérez Molina M, Solà Suarez M, Pascual Miguel I, Blay Aulina L, Ríos Gozálvez C, Julián Ibáñez JF, Rodríguez Martínez P, Martínez Román S, Margelí Vila M, Luna Tomás MA. Advantages of preoperative localization and surgical resection of metastatic axillary lymph nodes using magnetic seeds after neoadjuvant chemotherapy in breast cancer. Surg Oncol. 2021 Mar;36:28-33. https://doi.org/10.1016/j.suronc.2020.11.013.
23. Couceiro TC, Menezes TC, Valênça MM. Post-mastectomy pain syndrome: the magnitude of the problem. Rev Bras Anestesiol. 2009 May-Jun;59(3):358-65. English, Portuguese. https://doi.org/10.1590/s0034-70942009000300012.
24. Tayari H, Otero PE, D'Agostino M, Bartolini F, Briganti A. Epidural Volume of Injectate Using a Dose Regimen Based on Occipito-Coccygeal Spinal Length (OCL): Randomized Clinical Study Comparing Different Ropivacaine Concentrations, with or without Morphine, in Bitches Undergoing Total Unilateral Mastectomy. Animals (Basel). 2022 Feb 25;12(5):587. https://doi.org/10.3390/ani12050587.

НЕЗАРАЗНЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК: 619:616.155.194.18-07:636.7
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.532

ОСОБЕННОСТИ КЛИНИКО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ У СОБАК С ГЕМОЛИТИЧЕСКОЙ АНЕМИЕЙ НЕЯСНОГО ГЕНЕЗА ПРИ ПЕРВИЧНОМ ОБРАЩЕНИИ

Чечнева А.В.[*1] **–** канд. ветеринар. наук, доц. каф. болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных (ORCID 0009-0002-4723-1423); **Ефиминюк Е.А.**[2] – ветеринарный врач-гематолог онко-гематологического отделения животных (ORCID 0009-0005-3968-5435)

[1] ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
[2] ВК «В добрые руки»

*anast_asia@bk.ru

Ключевые слова: *гемолитическая анемия, клинические симптомы, гематологические тесты, дифференциальная диагностика, собаки*

Keywords: *hemolytic anemia, clinical symptoms, hematological tests, differential diagnosis, dogs*

Благодарности: *выражаем благодарность клиническому патологу Глебовой Ольге Анатольевне за скрупулёзную работу в оценке микроскопических препаратов больных собак, а также за предоставленные фото, используемые в работе.*

Поступила: 20.06.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Анемия является патологическим клинико-гематологическим синдромом, который возникает за счет уменьшения количества эритроцитов, что приводит к развитию гипоксии органов и тканей животных [5]. Этиологическим фактором развития анемии у собак могут являться различные патологии красного костного мозга, отравления производными зоокумарина, наследственные геморрагические диатезы (гемофилия), онкологические и трансмиссивные заболевания, а также дефицит витаминов, макро- и микроэлементов [4,6]. Для проведения адекватной терапии требуется проведение дифференциальной диагностики для исключения причин возникновения гемолитической анемии. В статье представлены результаты исследования собак с признаками гемолитической анемии, в которых отражены особенности клинической картины и морфологических изменений крови при первичном обращении в ветеринарную клинику. Проведение гематологического исследования позволило определить тяжелую анемию (показатель гематокрита у обследованных животных не превышал 15,9%). При клиническом обследовании и анализе анамнестических данных, кроме спе-

цифичной анемичности слизистых оболочек, выявляли неспецифические симптомы: вялость и апатия, гипорексия и/или анорексия у всех 100% собак. При проведении микроскопического исследования мазков крови больных собак в 54% случаев были выявлены сфероциты, лейкемоидная реакция (лейкоцитоз за счет нейтрофилии), а также ретикулоцитоз с различной степенью выраженности. Перечисленные изменения, учитывая отсутствие патологии костного мозга, онкологических, генетических, трансмиссивных и инфекционных заболеваний у исследуемой группы животных, а также положительный ответ на иммуносупрессивную терапию (комбинация «Преднизолона» и «Микофенолата мофетил» в сочетании с «Циклоспорином»/ «Азатиоприном»/ «Циклофосфамидом»/ «Винкристином»), с большей долей вероятности указывают на иммуноопосредованный гемолиз, что соответствует литературным источникам.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Наиболее часто у собак с гемолитической анемией наблюдают неспецифические клинические симптомы, такие как вялость, апатия и анемичность слизистых оболочек с различной степенью иктеричности, однако, в тяжелых случаях отмечают коллапс, тахипноэ, тахикардию, гипорексию с прогрессированием до анорексии, тошноту, рвоту, петехии и экхимозы, макрогематурию, гематохезию, мелену [2, 3]. Диагностика гемолитической анемии включает в себя ряд лабораторных исследований: общий клинический анализ крови, биохимический анализ сыворотки крови, цитологическое исследование крови с оценкой морфологических изменений эритроцитов и лейкоцитов. Также требуется исключение отравления гемолитическими ядами, диагностика инфекционных и неопластических заболеваний [1, 5]. Данные исследования необходимы для установления этиологического фактора возникновения гемолитической анемии с целью проведения своевременной эффективной терапии. Стоит отметить, что при отсутствии подтверждения вышеперечисленных факторов, развитие гемолитической анемии может быть связано с реализацией иммуноопосредованного гемолиза, однако в ветеринарной практике отсутствуют специфические тесты для подтверждения данного диагноза.

Целью работы является определение клинико-гематологических особенностей течения гемолитической анемии неясного генеза у собак в начальном периоде заболевания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Материалом для исследования послужили спонтанно заболевшие собаки в количестве 11 особей с признаками гемолитической анемии неясного генеза, поступившие в ветеринарный центр «В добрые руки» в период с октября 2024 года по апрель 2025 года. В работе представлен анализ клинико-гематологических показателей собак, полученных при первичном поступлении в клинику, ведущий диагноз иммуноопосредованная гемолитическая анемия был подтвержден во всех случаях при дальнейшем наблюдении животных в динамике и исключении прочих этиологических факторов. При выполнении данной работы использовали комплексный подход, включающий сбор анамнестических данных, общий клинический осмотр животных и гематологические исследования: общий клинический анализ крови, цитологическое исследование крови для оценки количественных и качественных изменений эритроцитов и лейкоцитов, определение уровня ретикулоцитов, биохимический анализ сыворотки крови. В ходе формирования группы при выявлении онкологических заболеваний, неадекватного ответа на иммуносупрессивную терапию, а также выявлении патологии красного костного мозга, отравлений, трансмиссивных или генетических заболеваний у животных, данные особи были исключены из исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ/ RESULTS

В исследование было включено 11 собак с диагнозом гемолитическая анемия неясного генеза. Шесть собак были самцами, пять собак были самками, из кото-

рых два и одна, соответственно, были кастрированы. Средний возраст составил 6 лет 3 месяца (диапазон от 11 месяцев до 10 лет 11 месяцев). Среди пород было 4 шпица, цвергшнауцер, мальтипу, русско-европейская лайка, ши-тцу, мальтийская болонка, русский охотничий спаниель и метис. Результаты анализа клинических симптомов собак с гемолитической анемией представлены в таблице 1.

Вялость и апатия, анемичность слизистых оболочек, гипорексия и/или анорексия наблюдалось в 100% случаев (11 собак), тошнота и/или рвота наблюдалась в 36,36% случаев (4 собаки), тахипноэ и/или тахикардия и макрогематурия наблюдались в 27,27% случаев (3 собаки), иктеричность – в 18,18% случаев (2 собаки), при клиническом обследовании собак гипертермия, петехии и экхимозы не были выявлены ни в одном случае.

При гематологическом исследовании оценивали следующие параметры: количество лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов, ретикулоцитов, гемоглобин, гематокрит, MCV, MCHC, наличие сфероцитов, агглютинации, ядерных эритроцитов, а также количество ретикулоцитов. Результаты оценки гематологических отклонений представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Инцидентность клинических симптомов у собак с гемолитической анемией

Клинические симптомы	Абсолютное количество, в головах	Относительное количество, в %
Вялость и апатия	11	100,00
Тахипноэ и/или тахикардия	3	27,27
Анемичность слизистых оболочек	11	100,00
Иктеричность слизистых оболочек	2	18,18
Макрогематурия	3	27,27
Гипорексия и/или анорексия	11	100,00
Тошнота и/или рвота	4	36,36
Всего	11	100,00

Таблица 2 – Результаты общего клинического анализа крови собак с гемолитической анемией

Показатель	Обозначение/ ед. измерения	Среднее значение	Референсный интервал
Лейкоциты	WBC, 10^9/l	33,76	6 – 17
Эритроциты	RBC, 10^{12}/l	1,73	5,5 – 8,5
Гемоглобин	HGB, g/l	45,18	120 – 180
Гематокрит	HCT, %	12,35	37 – 55
Ср. объем эритроцитов	MCV, fl	76,07	60 – 75
Ср. конц. гемоглобина в эритроцитах	MCHC, g/l	316,73	299 – 380
Тромбоциты	PLT, 10^9/l	196,00	200 – 900
Ретикулоциты агрегатные	RTC, 10^9/l	233,54	< 80
Ядерные эритроциты	NRBC, 100 le	15,73	-

При оценке результатов клинического исследования цельной крови выявлены следующие средние показатели: количество лейкоцитов составило 33,76 10^9/l (диапазон 6,1 – 94), количество эритроцитов составило 1,73 10^{12}/l (диапазон 0,76-2,75), уровень гемоглобина 45,18 g/l (диапазон 30 – 62), средний объем эритроцитов 76,06 g/l (диапазон 65 – 87,4), средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах 316,73 g/l (диапазон 280 – 464), количество тромбоцитов советовало 196,00 10^9/l (диапазон 25 – 381), количество агрегатных ретикулоцитов состави-

ло 233,54 10^9/l (диапазон 42,3 – 1053), количество ядерных эритроцитов составило 15,73 (диапазон 0 – 113).

При анализе полученных результатов гематологического исследования выявлена тяжелая степень анемии (максимальное значение гематокрита не превышает 15,9 %) и лейкоцитоз (среднее значение 33,76 тыс/мкл в группе исследуемых животных) как среднего показателя среди всех животных. Данные гематологического исследования наиболее характерны для иммуноопосредованного гемолиза, что соответствуют литературным источникам [4,5,6].

Для оценки формы течения анемии определяли размер и цветовой показатель эритроцитов, при этом макроцитарная гипохромная анемия была выявлена в 36,36 % случаев (у 4 собак), нормоцитарная гипохромная анемия в 27,27% случаев (у 3 собак), макроцитарная нормохромная анемия в 18,18% случаев (у 2 собак), нормоцитарная гиперхромная и макроцитарная гиперхромная анемии в 9,9 % случаев (у 1 собаки).

При проведении цитологического исследовании крови (рисунок 1) были выявлены морфологические изменения, такие как сфероцитоз, лейкемоидная реакция за (лейкоцитоз за счет нейтрофилии), а также ретикулоцитоз с различной степенью выраженности наблюдался в 54% случаев (6 из 11 собак), при этом, агглютинация не была выявлена ни у одной собаки. Учитывая наличие лейкемоидной реакции различной степени выраженности, ведущим диагнозом у исследуемой группы животных является иммуноопосредованная гемолитическая анемия. Стоит отметить, что полученные данные свидетельствуют о том, что наличие сфероцитоза и агглютинации не являются обязательными гематологическими изменениями для начальной стадии гемолитической анемии.

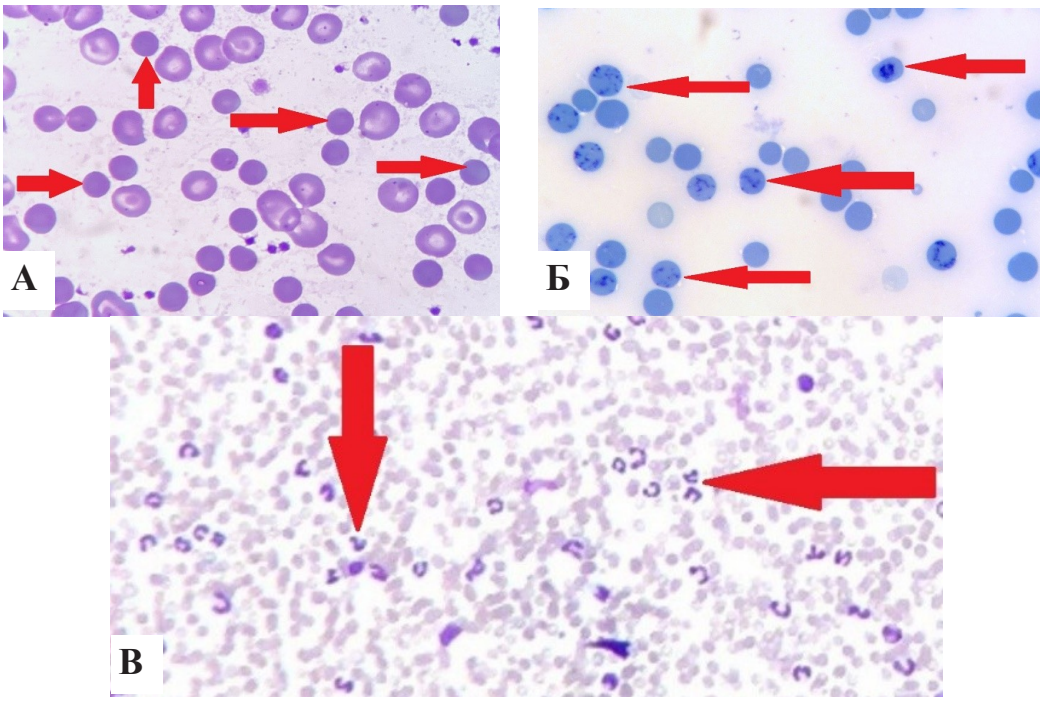


Рисунок 1 – Микропрепараты мазков крови собак с гемолитической анемией: а – сфероцитоз, б – ретикулоцитоз (окуляр х10, объектив х100), в - лейкемоидная реакция (окуляр х10, объектив х40).

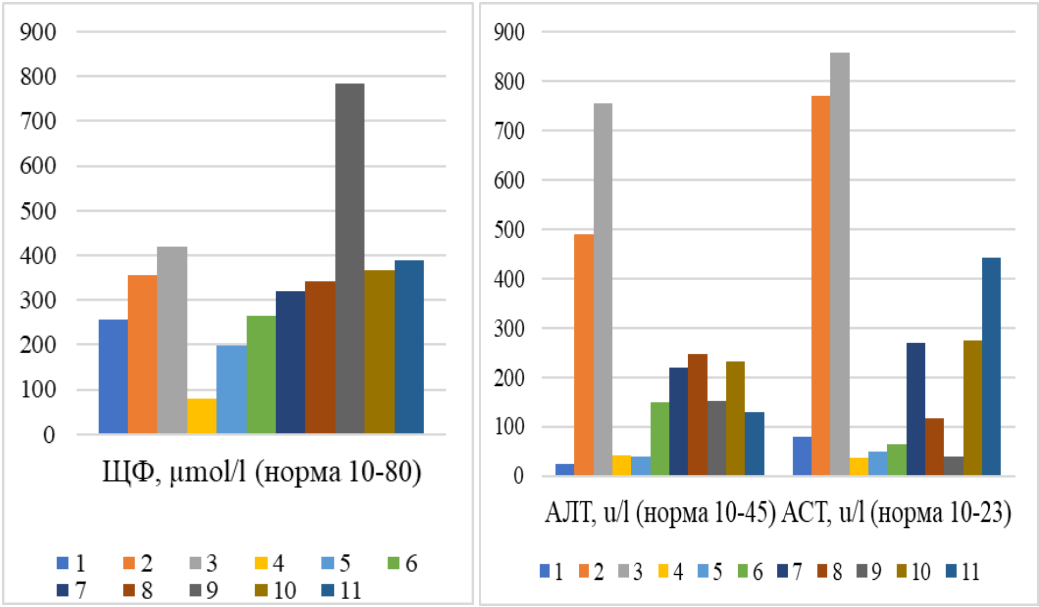


Рисунок 2 – Результаты биохимических показатель сыворотки крови собак с иммуноопосредованной гемолитической анемией.

Тест Кумбса в данном исследовании был проведен у 1 из 11 собак (9%) с отрицательным результатом. Другим животным тест Кумбса не выполняли по причине наличия гемотрансфузии или предшествующей иммуносупрессивной терапии в анамнезе.

При проведении биохимического анализа сыворотки крови собак значительные отклонения были выявлены в количестве общего билирубина, щелочной фосфатазы (ЩФ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), полученные данные отражены на рисунке 2.

При оценке показателей биохимического исследования сыворотки крови выявлены следующие изменения: средний уровень общего билирубина составил 56,7 µmol/l (диапазон 1,7 – 324,3 µmol/l), референсный интервал 1,71 – 10,26 µmol/l; средний уровень АЛТ составил 225,1 u/l (диапазон 23 – 755 u/l), референсный интервал 27 – 87 u/l; средний уровень АСТ составил 272,4 u/l (диапазон 35,2 – 857 u/l), референсный интервал 26 – 74 u/l; средний уровень щелочной фосфатазы составил 342,8 u/l (диапазон 79 – 784 u/l), референсный интервал 56 – 188 u/l. Таким образом, билирубимения была выявлена в 64 % случаев (у 7 из 11 собак), повышение уровня трансфераз в 73% случаев (у 8 из 11 собак) и повышение уровня щелочной фосфатазы в 91% случаев (у 10 из 11 собак).

Все собаки, включенные в данное исследование, получали комбинацию иммуносупрессивных препаратов, включая «Преднизолон» (11 из 11 собак) и «Микофенолата мофетил» (8 из 11 собак) в сочетании с «Циклоспорином» (5 из 11 собак), «Азатиоприном» (2 из 11 собак), «Циклофосфамидом» (4 собаки из 11), «Винкристином» (2 собаки из 11). Комбинация препаратов назначалась индивидуально каждому животному. Ответ на терапию оценивался еженедельно, в первые 7-10 дней к критериям эффективности относилось уменьшение степени гемолиза и урежение необходимости гемотрансфузий, а в дальнейшем через 10-14 дней от начала терапии восстановление уровня гемоглобина, гематокрита и эритроцитов с одновременной нормализацией уровня лейкоцитов.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Исходя из полученных данных наиболее распространенными клиническими симптомами, выявленными у всех 11 собак (100%) с гемолитической анемией неясного генеза при первичном обращении, являлись анемичность слизистых оболочек, вялость и апатия, гипорексия и/или анорексия. При оценке гематологических показателей в исследуемой группе животных были выявлены лейкоцитоз (средний уровень лейкоцитов составил 33,76 10^9/l), тяжелая степень анемии (средний уровень гематокрита составил 12,35%), макроцитарная гипохромная анемия в 36,36 % случаев, реже встречалась нормоцитарная гипохромная анемия в 27,27% случаев, гиперхромия выявлена в 18% случаев и была связана с выраженным гемолизом. Ретикулоцитоз с различной степенью выраженности, лейкемоидная реакция, а также сфероцитоз были выявлены в 54% случаев. При биохимическом анализе сыворотки крови наиболее распространенными отклонениями являлись билирубимения в 64 % случаев, повышение уровня трансфераз в 73% случаев и щелочной фосфатазы в 91% случаев.

Учитывая, что у всех животных в исследуемой группе были исключены онкологические и трансмиссивные заболевания, патологии красного костного мозга и отравления гемолитическими ядами было принято решение о проведении иммуносупрессивной терапии. При повторной оценке гематологических показателей у всех животных наблюдалось повышение уровня гематокрита, гемоглобина и эритроцитов, а также снижение уровня лейкоцитов в течение 10-14 дней от начала иммуносупрессивной терапии.

Описанные клинические и гематологические изменения, а также положительный ответ на иммуносупрессивную терапию у животных в исследуемой группе, на наш взгляд, связаны с иммуноопосредованным гемолизом, что соответствует литературным данным об аутоиммунной гемолитический анемии собак [1,2,3,5,6].

FEATURES OF CLINICAL AND HEMATOLOGICAL ABNORMALITIES IN DOGS WITH HEMOLYTIC ANEMIA OF UNCERTAIN ORIGIN AT INITIAL CONTACT WITH A DOCTOR

Chechneva A.V.* [1] – candidate of veterinary sciences, associate professor of the department of diseases of small domestic, laboratory and exotic animals (ORCID 0009-0002-4723-1423); **Efiminyuk E.A.** [2] **–** veterinary hematologist of the Oncological and Hematology department (ORCID 0009-0005-3968-5435)

[1] Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"

[2] VC "V dobrye ruki"

*anast_asia@bk.ru

ABSTRACT

Anemia is a pathological clinical and hematological syndrome that occurs due to a decrease in the number of red blood cells, which leads to the development of hypoxia of animal organs and tissues [5]. Various pathologies of the red bone marrow, poisoning with zookoumarin derivatives, hereditary hemorrhagic diathesis (hemophilia), oncological and vector-borne diseases, as well as deficiency of vitamins, macro- and microelements can be an etiological factor in the development of anemia in dogs [4,6]. Adequate therapy requires differential diagnosis to rule out the causes of hemolytic anemia. The article presents the results of a study of dogs with signs of hemolytic anemia, which reflect the features of the clinical picture and morphological changes in the blood during the initial visit to the veterinary clinic. Hematological examination made it possible to determine severe anemia (the hematocrit index in the examined animals did not exceed 15.9%). During clinical examination and analysis of anamnestic data, in addition to specific anemia of the mucous membranes, nonspecific symptoms were revealed: lethargy and apathy, hyporexia and/or anorexia in all 100% of dogs. Microscopic examination of blood smears from sick dogs revealed spherocytes, leukemoid reaction (leukocytosis due to neutrophilia), and reticulocytosis with varying degrees of severity

in 54% of cases. These changes, taking into account the absence of bone marrow pathologies, oncological, genetic, transmissible and infectious diseases in the studied group of animals, as well as a positive response to immunosuppressive therapy («Prednisolone» and «Mycophenolate» in combination with «Cyclosporine»/ «Azathioprine»/ «Cyclophosphamide»/ «Vincristine»), are more likely to indicate immuno-mediated hemolysis, which corresponds to literary sources [1,2,3,5,6].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Andres M. Diagnostic utility of thoracic radiographs and abdominal ultrasound in canine immune-mediated hemolytic anemia / M. Andres, E. Hostnik, E. Green et al. // The Canadian Veterinary Journal. – 2019. – Т. 60. – №. 10. – С. 1065.
2. Balch A. Canine immune-mediated hemolytic anemia: pathophysiology,
clinical signs, and diagnosis / A. Balch, A. Mackin // Compend. – 2007. – Т. 29. –
№. 4. – С. 217-225.
3. Weingart C. Primary immune-mediated haemolytic anaemia: a retrospective long-term study in 61 dogs / C. Weingart, D. Thielemann, B. Kohn //Australian Veterinary Journal. – 2019. – Т. 97. – №. 12. – С. 483-489.
4. Джексон, М.Л. Ветеринарная клиническая патология: введение в курс / М.Л. Джексон. – Пер. с англ. – М.: Аквариум, 2009. — 383 с.
5. Ниманд, Х.Г. Болезни собак. Практическое руководство для ветеринарных врачей / Х.Г. Ниманд, П.Ф. Сутер. // Перевод с немецкого, 2-е издание. – М.: Аквариум Ltd, 2001. – 806 с.
6. Уиллард, М.Д. Лабораторная диагностика в клинике мелких домашних животных / М.Д. Уиллард, Г. Тведтен, Г.Г. Торнвальд. – Перевод с английского. Москва: Аквариум, 2004. – 430 с.

REFERENCES

1. Andres M. Diagnostic utility of thoracic radiographs and abdominal ultrasound in canine immune-mediated hemolytic anemia / M. Andres, E. Hostnik, E. Green et al. // The Canadian Veterinary Journal. – 2019. – T. 60. – №. 10. – P. 1065.
2. Balch A. Canine immune-mediated hemolytic anemia: pathophysiology,
clinical signs, and diagnosis / A. Balch, A. Mackin // Compend. – 2007. – T. 29. –
№. 4. – P. 217-225.
3. Weingart C. Primary immune-mediated haemolytic anaemia: a retrospective long-term study in 61 dogs / C. Weingart, D. Thielemann, B. Kohn //Australian Veterinary Journal. – 2019. – T. 97. – №. 12. – P. 483-489.
4. Jackson, M.L. Veterinary Clinical Pathology: Introduction to the Course / M.L. Jackson. – Translated from English. – Moscow: Aquarium, 2009. – 383 p.
5. Niemand, H.G. Diseases of dogs. A practical guide for veterinarians / H.G. Niemand, P.F. Suter. // Translation from German, 2nd edition. – M.: Aquarium Ltd, 2001. – 806 p.
6. Willard, M.D. Laboratory diagnostics in the small animal clinic / M.D. Willard, G. Tvedten, G.G. Thornwald. – Translation from English. Moscow: Aquarium, 2004. – 430 p.

УДК: 636.2.09:616.36-008.8-07
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.539

ДИНАМИКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ И СИНДРОМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПАТОЛОГИИ ПЕЧЕНИ У МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ В ПЕРИОД ДОРАЩИВАНИЯ И ОТКОРМА

Алехин Ю.Н.[1] – д-р ветеринар. наук, гл. науч. сотр. (ORCID (0000-0003-0666-7722); **Попова О.С.*** [2] – канд. ветеринар. наук, доц. каф. фармакологии и токсикологии (ORCID 0000-0002- 0650-0837)

[1] ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии»
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

*alef_z@mail.ru

Ключевые слова: *патологии печень, свиньи, период доращивания, период откорма.*

Keywords: *liver pathologies, pigs, rearing period, fattening period.*

Поступила: 23.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Полифункциональность печени обуславливает широкий спектр причин возникновения её патологий, но механизмы саногенеза снижают риск развития болезней, хотя скрытые, в том числе и обратимые патофизиологические процессы имеют место, что в результате формирует многоликость проявления и необходимость более детальной диагностики гепатопатий. Целью наших исследований было изучение возрастной динамики заболеваемости и синдромальной структуры патологии печени у молодняка свиней. Исследования по изучению структуры и динамики заболеваемости печени у молодняка свиней провели на двух промышленных комплексах, расположенных в Воронежской области, где животные товарных гибридов (КБхЛхЙ) содержались в типовых помещениях и получали комбикорма, соответствующие их возрасту и физиологическому состоянию. В крови определяли широкий спектр показателей, в том числе маркеры гепатопатий (АсАТ, АлАТ и ГГТ) достоверные изменения которых являлось поводом для более детального изучения функций печени. На основании ретроспективного анализа общего объема информации выделили животных клинически здоровых (группа 1) и с патологией печени (группа 2). При этом в группу 2 вошли больные с первичным выявлением у них заболеваний данного органа, что более объективно отражает уровень заболеваемости, т.к., хронические формы патологии помимо непосредственных причин их возникновения зависят от эффективности проводимых ветеринарных мероприятий. Наиболее высокая заболеваемость печени наблюдается в середине периода доращивания (45-60 суток) и откорма (120-135 суток). В середине периода доращивания чаще встречается гепатит, характер проявления которого указывает на его происхождение как следствие переболевания заболеваниями же-

лудочно-кишечного и/или респираторного тракта. При этом алиментарные факторы риска усиливают степень проявления гепатопатий, на что указывает наличие метаболических нарушений и умеренное накопление их токсических продуктов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Трудно переоценить физиологическую роль печени, потому что нет функций организма, которые прямо или косвенно не завесили бы от состояния данного органа. Однако многогранность выполняемых функций и активное участите в поддержании гомеостаза обуславливает уязвимость печени в отношении внешних и внутренних факторов, таких как морфофункциональное состояние органов и систем организма, условия внешней среды и параметры кормления. [1-4]. Поэтому болезни печени входят в число наиболее распространённых и экономически значимых патологий в животноводстве, в частности в свиноводстве, актуальность которых возрастает с интенсификации отрасли, что обусловлено повышением техногенного прессинга на организм животных [5,6]. Однако печень имеет уникальную систему защиты, нивелирующая многие риски развития патологии [7-9], что не только позволяет сохранять жизнеспособность и потенциал продуктивности животных в сложных условиях существования, но и адаптироваться к ним.

Таким образом полифункциональность печени обуславливает широкий спектр причин возникновения её патологий, но механизмы саногенеза снижают риск развития болезней, хотя скрытые, в том числе и обратимые патофизиологические процессы имеют место, что в результате формирует многоликость проявления и необходимость более детальной диагностики гепатопатий [10]. К числу наиболее информативных относится синдромный принцип диагностики, заключающийся в выявлении синдромов, т.е., сочетания клинико-лабораторных симптомов, объединенных общими механизмами патогенеза, отражающих наличие и форму проявления патологического состояния. При этом не только детализируются механизмы развития патологии, но и определяется направление фармакологической коррекции. [11,12]. Целью наших исследований было изучение возрастной динамики заболеваемости и синдромальной структуры патологии печени у молодняка свиней.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования по изучению структуры и динамики заболеваемости печени у молодняка свиней провели на двух промышленных комплексах, расположенных в Воронежской области, где животные товарных гибридов (КБхЛхЙ) содержались в типовых помещениях и получали комбикорма, соответствующие их возрасту и физиологическому состоянию. В соответствии с программой мониторинга состояния животных в период с февраля по декабрь 2024 года проводили клиническое обследование по 115 голов в каждый из возрастных периодов 30-45, 45-60, 60-75, 75-90, 90-105, 105-120, 120-135 и 135-150 и 150-165 сут, т.е. от отъема до завершения откорма. При выявлении симптомов патологии помимо физикальных методов, у больных и здоровых аналогов по возрасту отбирали пробы крови для её сравнительного анализа. В крови определяли широкий спектр показателей, в том числе маркеры гепатопатий (АсАТ, АлАТ и ГГТ) достоверные изменения которых являлось поводом для более детального изучения функций печени. На основании ретроспективного анализа общего объема информации выделили животных клинически здоровых (группа 1) и с патологией печени (группа 2). При этом в группу 2 вошли больные с первичным выявлением у них заболеваний данного органа, что более объективно отражает уровень заболеваемости, т.к., хронические формы патологии помимо непосредственных причин их возникновения зависят от эффективности проводимых ветеринарных мероприятий. Констатацию наличия патологии печени и постановку диагноза осуществляли на основании результатов физикальных (осмотр, оценка аппетита и двигательной активности) и лаборатор-

ных методов исследования [13-15]. При этом мы использовали синдромный принцип диагностики, в соответствии с которым определили спектр изучаемых показателей (Таблица 1).

Полученный цифровой материал подвергали статистической обработке с использованием пакета программ Statistica v6.1. При этом рассчитывали среднюю арифметическую (M) и её среднюю ошибку (m), достоверность различия между выборками оценивали с помощью параметрического критерия Стьюдента с констатацией дифференциальной значимости 5%.

Таблица 1 – Индикаторы синдромов патологии печени

Клинико-биохимический синдром	Определяемые показатели	Используемый метод исследования
Мезенхимально-воспалительный	Тимоло-вероналовая проба (ТВП)	По Маклагану [Медведева, Камышников]
	Гамма-глобулины сыворотки крови	Электрофорез на пленках из ацетата целлюлозы (АСТР.054954.001 РЭ, РФ)
	С-реактивный белок	Набор реагентов «СРБ - Иммунотурбидиметрический ДДС» (РФ).
Холестатический	Фосфолипиды	Набор реагентов BSBE (Китай).
	Билирубин общий	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	Билирубин прямой	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	Билирубин не прямой	Билирубин общий – билирубин прямой
	Щелочная фосфатаза	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	Холестерин	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	коэффициент де Ритиса	АсАТ/АлАТ
Цитолитический	аланиаминотрансфераза (АлАТ)	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	аспартатминотрансфераза (АсАТ)	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	коэффициент де Ритиса	АсАТ/АлАТ
	гамма-глутамилтрансфераза (ГГТ)	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
Гепатодепрессивный	Общий белок	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ).
	Коэффициент конъюгации	Билирубин прямой х билирубин общий / 100
	Холестерин	Набор реагентов ДиаВет Тест
	Альбумин	Набор реагентов ДиаВет Тест
	Холинэстераза (ХЭ)	Набор реагентов ДиаВет Тест (РФ)
Эндогенная интоксикация	Молекулы средней массы на длине волны 237 нм	По Алехину Ю.Н.[1]
	Молекулы средней массы на длине волны 254 нм	

[1]*Алехин Ю.Н. Эндогенные интоксикации у животных и их диагностика: Методические рекомендации / Ю.Н. Алёхин. – Воронеж, 2000 – 28 с.*

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В течение опыта комплексному обследованию было подвергнуто 1035 животных, из числа которых 729 были признаны здоровыми, но 306 – больными, в том числе у 134 констатировали патологию печени. Однако, в 17 случаях имело место слабовыраженное и не стойкое отклонение отдельных показателей (чаще АсАТ и общего белка), что не дало основание для постановки диагноза, поэтому эти животные не учитывались при анализе распространенности гепатопатий у молодняка свиней.

Таким образом, общая заболеваемость молодняка в период от отъема до завершения откорма составила 29,5%. Распространённость болезней печени оказалась равна 11,3%, но в структуре заболеваемости её доля составила 38,2%. При этом напомним, что фиксировали свиней только с первичным выявлением гепатопатий, т.е., исключался повторный учёт ранее обнаруженных больных. Поэтому с учетом животных с хронической формой патологии уровень заболеваемости будет выше.

Ретроспективный анализ показал (Рисунок 2), что динамика частоты случаев поражения печени имеет волнообразный характер с периодами увеличения и уменьшения заболеваемости, но в возрасте от 45-до 60 и от 120-135 суток было отмечено значительное повышение числа больных.

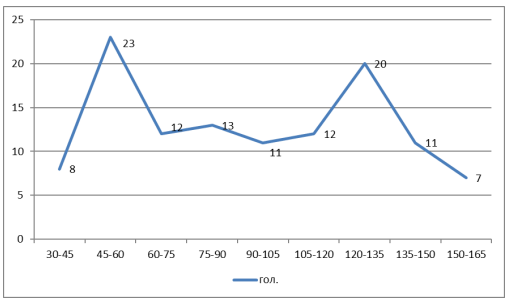


Рисунок 2 – Возрастная заболеваемость печени у молодняка свиней.

Именно на эти два пика заболеваемости мы акцентировали дальнейшие исследования. В возрасте 45-60 суток в сравнение с предыдущим анализируемым периодом количество животных с патологией печени возросло в 2,9 раза. У больных в сравнении со здоровыми поросятами, отмечено достоверное отклонения большинства изучаемых показателей (Таблица 2). Однако более выраженные изменения произошли среди индикаторов мезенхимально-воспалительного синдрома, так в 3,3 раза увеличились показатели С-РБ и тимоловой пробы, а доля гаммаглобулинов на 22,3% (от 18,8 до 23,0%). Повышение уровня коэф. де Ритиса (в 2,1 раза), АсАТ (75,6%) и ГГТ (на 5,9%) указывают на наличие деструкции мембран гепатоцитов, т.е., на цитолитический синдром [16]. Синдром эндогенной интоксикации проявился увеличением на 25,9% содержания молекул средней массы на длине воны 254 нм и на 57,3% на 237 нм, что указывает на накопления токсических продуктов, образующихся в печени, но в большей степени в естественных полостях организма [17].

Неоднозначные изменения произошли со стороны индикаторов малой печеночной недостаточности (гепатодепрессия). Снижение содержания в крови общего белка на 19,0% и альбуминов на 29,8% дают основание для констатации депрессии белоксинтезирующей функции печени [18]. Однако показатели липидного обмена существенно не изменились, а пигментный обмен активировался. Так, наблюдается увеличение общего билирубина и его фракций, а также на 61,3% более интенсивны стали процессы конъюгации.

Таким образом, в возрасте 45-60 суток у поросят отмечено увеличение частоты случаев болезней печени, которые проявляются сочетанием синдромов цитолиза, мезенхимально-воспалительного и эндогенной интоксикации, что указывает на наличие у животных гепатита и в меньшей степени гепатодистрофии. Выявленная эндогенной интоксикации имеет преимущественно резорбтивного меха-

низма развития и не оказывает выраженного депрессивного влияния на функции печени, но наоборот наблюдается активация процессов биотрансформации. Отмеченное дает основание предположить, что инициирующую роль в развитии болезней печени у поросят в данном возрасте принадлежит патологиям в желудочно-кишечном и/или респираторном тракте.

Таблица 2 – Показатели сыворотки крови поросят в возрасте 45-60 суток

Показатели	Группа 1	Группа 2
Общий белок, г/л	54,7±1,35	44,3±2,59*
Альбумин, г/л	20,5±0,71	14,1±1,07*
Гамма-глобулины, г/л	10,3±0,48	10,2±0,30
С-РБ, мг/л	4,21±0,061	13,90±0,141*
Фосфолипиды, мМ/л	0,34,8±0,032	0,37±0,040
Холестерин, мМ/л	3,06±0,221	2,86±0,194
Билирубин общий, мкМ/л	2,37±0,101	3,50±0,312*
Билирубин прямой, мкМ/л	0,39±0,033	0,92±0,104*
Билирубин непрямой, мкМ/л	1,98±0,031	2,57±0,100*
МСМ 254, усл. ед	0,27±0,008	0,34±0,011*
МСМ 237, усл ед	0,89±0,100	1,40±0,086*
АсАТ, Е/л	33,6±1,55	59,0±2,17*
АлАТ, Е/л	34,3±1,96	28,1±1,40*
ГГТ, Е/л	17,0±0,13	18,0±0,25*
ЩФ, Е/л	196,5±8,17	204,0±6,92
ХЭ, Е/л	4707,1±79,25	3097,1±205,21*
Коэф. конъюгации	16,3±1,00	26,3±1,64*
Коэф. Де Ритиса	0,98±0,033	2,1±0,101*
Тимолова проба, ед	3,8±0,25	12,5±0,50*

В последующий период от 60 до120 суток заболеваемость печени снижается хотя ещё сохраняется сравнительно высокий её уровень. В возрасте 120-135 суток наблюдается резкое увеличение числа больных на 66,7%. Из данных Таблицы 3 видно, что биохимический профиль крови у больных характеризуется признаками угнетения белоксинтезирующей функции печени, в частности имеет место низкий в отношении параметров здоровых содержание общего белка на 20,2%, доли альбуминов на 15,7% (38,2 и 32,2%) и гамма-глобулинов на 18,4% (17,7 и 21,7%).

Пониженными оказались уровень холестерина (на 22,2%), коэффициентов Де Ритиса (на 31,1%) и конъюгации (на 50,0%), а также активности ГГТ (на 42,8%) и ХЭ (на 74,4%). Указанные изменения свидетельствуют о наличии выраженности синдрома гепатодепрессии. Столь же выраженным оказались изменения маркеров холестаза. Так, имеет место увеличение на 22,8% фосфолипидов, на 80,7% общего и на в 2,0 раза неконъюгированного билирубина, а также на 55,1% активности ЩФ. Значительно менее выражен синдром цитолиза (АсАТ) и реакция мезенхимы (ТП, С-РБ). Содержание молекул средней массы оказались выше нормы на длине волны 237 нм на 3,0% (норма до 1,0 усл. ед) и на 254 нм на 53,3% (до 0,3 усл. ед), что указывает на наличие эндогенной интоксикации в возникновении которой ведущая роль принадлежит накоплению токсических продуктов нарушенного обмена веществ, в том числе

сбоя метаболической функции печени [19,20].

Таким образом, в возрасте 120-135 суток у молодняка свиней наблюдается увеличение заболеваемости печени. У большинства больных имеет токсическая дистрофия печени с выраженными синдромами гепатодепресии, холестаза и эндогенной интоксикации. В условиях реального производства подробный сценарий развития гепатопатий может быть обусловлен наличием токсических веществ в кормах (воде) или по причине неполноценного кормления, в частности избытка, дефицита или дисбаланса питательных и биологически активных веществ [21]. При этом следует отметить, что указанные факторы могут оказывать действие в течение всего периода откорма, но увеличение заболеваемости печени именно в этом возрасте обусловлено активизацией роста животных, соответственно и интенсивности обмена веществ после завершения процесса адаптации к новым условиям содержания и состава кормления обусловленных переводом молодняка из цеха доращивания в цех откорма. У здоровых животных тренд активации роста продолжается, но у больных он сдерживается. Так сдаточный вес животных с патологией печени оказался на 14,8% ниже, чем у здоровых, соответственно 90,5±5,06 и 106,2±4,75 кг.

Таблица 3 – Показатели сыворотки крови поросят в возрасте 120-135 суток

Показатели	Группа 1	Группа 2
Общий белок, г/л	75,8±2,79	60,5±4,87
Альбумин, г/л	29,0±1,53	19,5±1,44
Гамма-глобулины, г/л	16,5±1,19	10,7±0,43
С-РБ, мг/л	4,60±0,058	4,90±0,102
Фосфолипиды, мМ/л	0,57±0,053	0,70±0,60
Холестерин, мМ/л	2,61±0,175	2,03±0,150
Билирубин общий, мкМ/л	3,32±0,220	6,00±1,044
Билирубин прямой, мкМ/л	0,63±0,029	0,57±0,124
Билирубин непрямой, мкМ/л	2,69±0,105	5,43±0,171
МСМ 254, усл. ед	0,30±0,012	0,46±0,103
МСМ 237, усл ед	0,912±0,170	1,030,304
АсАТ, Е/л	44,3±0,36	58,1±0,30
АлАТ, Е/л	36,3±0,22	69,2±1,13
ГГТ, Е/л	24,5±1,00	14,0±0,73
ЩФ, Е/л	148,7±5,55	230,7±7,02
ХЭ, Е/л	7813,0±163,80	2003,3±117,06
Коэф. конъюгации	19,0±1,27	9,5±1,11
Коэф. Де Ритиса	1,22±0,050	0,84±0,061
Тимолова проба, ед	4,5±0,25	5,5±0,25

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Болезни печени имеет широкое распространение среди товарного поголовья свиней, а частота их случаев, формы проявления и причины возникновения имеют возрастные особенности. Наиболее высокая заболеваемость печени наблюдается в середине периода доращивания (45-60 суток) и откорма (120-135 суток). В середине периода доращивания чаще встречается гепатит, характер проявления которого указывает на его происхождение как следствие переболевания заболеваниями желудочно-кишечного и/или респираторного тракта. При этом алиментарные факторы риска усиливают степень проявле-

ния гепатопатий, на что указывает наличие метаболических нарушений и умеренное накопление их токсических продуктов. Поэтому у поросят в период доращивания основным направление нивелирования актуальности заболеваний печени является профилактика болезней желудочно-кишечных и респираторных болезней и особенности повышение полноценности их лечения. У больных в период откорма в патогенезе болезней печени преобладают дистрофические гепатодепрессивные механизмы, обусловленные поступлением в организм или образованием у нём токсических веществ. При этом основным инициирующим механизмом возникновения патологии является несоответствие между растущими потребностями организма в период активации роста и фактическим уровнем питательных и биологически активных веществ в рационе. В данном случае ключевое значение в профилактике болезней печени у молодняка имеет углубление детализации кормления на разных этапах откорма.

DYNAMICS OF INCIDENCE AND SYNDROMAL STRUCTURE OF LIVER PATHOLOGY IN YOUNG PIGS DURING THE PERIOD OF FATHERING AND FATTENING

Alekhine Yu.N. [1] – Doctor of Veterinary Sciences, Chief Researcher (ORCID (0000-0003-0666-7722); **Popova O.S.***[2] – Candidate of Veterinary Sciences, Assoc. Prof. of the Department of Pharmacology and Toxicology (ORCID 0000-0002- 0650-0837)

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

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*alef_z@mail.ru

ABSTRACT

The polyfunctionality of the liver causes a wide range of causes for the occurrence of its pathologies, but the mechanisms of sanogenesis reduce the risk of disease development, although hidden, including reversible pathophysiological processes take place, which as a result forms the diversity of manifestations and the need for more detailed diagnostics of hepatopathies. The aim of our research was to study the age dynamics of morbidity and syndromic structure of liver pathology in young pigs. Studies on the structure and dynamics of liver disease in young pigs were conducted at two industrial complexes located in the Voronezh region, where animals of commercial hybrids (KBxLxY) were kept in typical premises and received compound feed corresponding to their age and physiological state. A wide range of indicators was determined in the blood, including markers of hepatopathies (AST, ALT and GGT), reliable changes of which were the reason for a more detailed study of liver functions. Based on the retrospective analysis of the total volume of information, clinically healthy animals (group 1) and those with liver pathology (group 2) were identified. Group 2 included patients with primary detection of liver diseases, which more objectively reflects the incidence rate, since chronic forms of pathology, in addition to the immediate causes of their occurrence, depend on the effectiveness of veterinary measures. The highest incidence of liver disease is observed in the middle of the growing period (45-60 days) and fattening (120-135 days). In the middle of the growing period, hepatitis is more common, the nature of the manifestation of which indicates its origin as a consequence of diseases of the gastrointestinal and / or respiratory tract. At the same time, alimentary risk factors increase the degree of manifestation of hepatopathies, as indicated by the presence of metabolic disorders and moderate accumulation of their toxic products.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мяделец, О. Д. Функциональная морфология и элементы общей патологии печени: монография / О. Д. Мяделец, Е. И. Лебедева; М-во здравоохранения Республики Беларусь, УО "Витебский гос. мед. ун-т", Каф. гистологии, цитологии и эмбриологии. - Витебск: [ВГМУ], 2018. -

339 с.
2. Mizuno K, Ueno Y. Autonomic nervous system and the liver. Hepatol Res. 2017;47 (2):160–5.
3. Baquerre C, Montillet G, Pain B. Liver organoids in domestic animals: an expected promise for metabolic studies. Vet Res. 2021 Mar 18;52(1):47,
4. Карамаева А.С., Газеев И.Р., Карамаев С.В. (2025). Зависимость развития внутренних органов у бычков молочных пород от заболеваемости в первый месяц после рождения. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния, (1 (10)), 50-57
5. Хлебус Н.К., Петровский С.В. (2023). Изменения биохимического состава крови при токсических поражениях печени свиноматок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, (1 (69)), 415-427,
6. Петровксий С.В. Распространение болезней печени у свиноматок по результатам изучения биохимического состава крови // Международный вестник ветеринарии. - 2023, 2.- С. 415-420
7. Лызиков, А. Н., Скуратов, А. Г., Осипов, Б. Б. (2015). Механизмы регенерации печени в норме и при патологии. Проблемы здоровья и экологии, (1 (43)), 4-9.
8. Плеханов А.Н., Товаршинов А.И. Регенерация печени: решенные и проблемные вопросы (сообщение 1). Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2020;(11):101 106. .
9. Liver regeneration — the best kept secret. A model of tissue injury response / J. A. Cienfuegos [et al.] // Rev Esp Enferm Dig. — 2014. — Vol. 106(3). — P. 171–194.
10. Estheru S. Incidence of Spontaneous Liver lesions in Pigs / S. Estheru, V. Rama Devi, P. Annapurna, A. Kumar //Journal of Veterinary Science & Technology. - 2013, 2(1).- P. 5-7
11. Макарова М.А., Баранова И.А. (2017). Основные гепатологические синдромы в практике врача-интерниста. Consilium Medicum, 19 (8), 69-74
12. Петровский С.В., Котович И.В. Сывороточно-биохимические синдромы при гепатопатиях свиноматок: изменения и их диагностическая значимость. // Дальневосточный аграрный вестник. - 2023, 17 (4). - С.- 99-110
13. Клиническая лабораторная диагностика (методы и трактовка лабо раторных исследований) / под ред. проф. В.С.Камышникова. – 4-е изд. –Москва: МЕДпресс-информ, 2023 – 720 с.
14. Медведева М.А. Клиническая ветеринарная лабораторная диагностика: Справочник для ветеринарных врачей. 2-е изд. - М. : Аквариум-Принт, 2020. - 416 с.
15. Электрофоретическое исследование белков в лабораторной практике / Д.В. Горбачева, – Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2020. – 42 с.
16. Ливзан М.А., Гаус О.В., Лисовский М.А. Дифференциальный диагноз патологии печени при синдроме цитолиза: разбор клинического случая. Эффективная фармакотерапия. 2023; 19 (35): 22–29
17. Алехин Ю.Н. Эндогенные интоксикации у животных и их диагностика: Методические рекомендации / Ю.Н. Алёхин. – Воронеж, 2000 – 28 с.
18. Натальский А.А. Современные представления о печеночной недостаточности в хирургии. / А.А. Натальский, С.В. Тарасенко, О.В. Зайцев, О.Д. Песков // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2014, 4.- С. 138-147
19. Хлебус Н.К., Петровский С.В. Изменения биохимического состава крови при токсических поражениях печени свиноматок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2023, 1 (69).- С. 415-427)
20. Диагностическое и прогностическое значение маркеров эндогенной интоксикации при гепатопатиях крупного рогатого скота: монография / Е. В. Кузьминова, А. А. Абрамов, М. П. Семененко, А. Г. Кощаев. – Краснодар, 2023. – 169 с
21. Мерзленко Р.А., Стрельников С.А. Профилактика и лечение жировой дистрофии печени у свиней (монография), - 2018, с Белгород: «Политерра».- 111 с.

REFERENCES
1. Myadelets, O. D. Functional morphology and elements of general liver pathology: monograph / O. D. Myadelets, E. I. Lebedeva; Ministry of Health of the Republic of Belarus, Educational Institution "Vitebsk State Medical University", Department of Histology, Cytology and Embryology. - Vitebsk: [VSMU], 2018. - 339 p.
2. Mizuno K, Ueno Y. Autonomic nervous system and the liver. Hepatol Res. 2017;47 (2):160–5.
3. Baquerre C, Montillet G, Pain B. Liver organoids in domestic animals: an expected promise for metabolic studies. Vet Res. 2021 Mar 18;52(1):47,
4. Karamaeva A.S., Gazeev I.R., Karamaev S.V. (2025). Dependence of the development of internal organs in dairy bulls on morbidity in the first month after birth. Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary science and animal husbandry, (1 (10)), 50-57
5. Khlebus N.K., Petrovsky S.V. (2023). Changes in the biochemical composition of blood in toxic liver damage in sows. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education, (1 (69)), 415-427,
6. Petrovskii S.V. Prevalence of liver diseases in sows based on the results of studying the biochemical composition of blood // International Bulletin of Veterinary Medicine. - 2023, 2. - P. 415-420
7. Lyzikov, A. N., Skuratov, A. G., Osipov, B. B. (2015). Mechanisms of liver regeneration in norm and pathology. Problems of health and ecology, (1 (43)), 4-9.
8. Plekhanov A. N., Tovarshinov A. I. Liver regeneration: resolved and problematic issues (message 1). Surgery. Journal im. N. I. Pirogov. 2020; (11): 101 106. .
9. Liver regeneration — the best kept secret. A model of tissue injury response / J. A. Cienfuegos [et al.] // Rev Esp Enferm Dig. - 2014. - Vol. 106(3). — P. 171–194.
10. Estheru S. Incidence of Spontaneous Liver Lesions in Pigs / S. Estheru, V. Rama Devi, P. Annapurna, A. Kumar //Journal of Veterinary Science & Technology.- 2013, 2 (1).- P. 5–7
11. Makarova M.A., Baranova I.A. (2017). Main Hepatological Syndromes in the Practice of an Internist. Consilium Medicum, 19 (8), 69–74
12. Petrovsky S.V., Kotovich I.V. Serum Biochemical Syndromes in Hepatopathies of Sows: Changes and Their Diagnostic Significance. // Far Eastern Agrarian Bulletin.- 2023, 17 (4).- P.- 99-110
13. Clinical laboratory diagnostics (methods and interpretation of laboratory studies) / edited by prof. V.S.Kamyshnikov. - 4th ed. - Moscow: MEDpress-inform, 2023 - 720 p.
14. Medvedeva M.A. Clinical veterinary laboratory diagnostics: Handbook for veterinarians. 2nd ed. - Moscow: Aquarium-Print, 2020. - 416 p.
15. Electrophoretic study of proteins in laboratory practice / D.V. Gorbacheva, - Gomel: State Institution "RSPC RMiECh", 2020. - 42 p.
16. Livzan M.A., Gaus O.V., Lisovsky M.A. Differential diagnosis of liver pathology in cytolysis syndrome: analysis of a clinical case. Effective pharmacotherapy. 2023; 19 (35): 22–29
17. Alekhine Yu.N. Endogenous intoxications in animals and their diagnostics: Methodical recommendations / Yu.N. Alekhine. - Voronezh, 2000 - 28 p.
18. Natalsky A.A. Modern concepts of liver failure in surgery. / A.A. Natalsky, S.V. Tarasenko, O.V. Zaitsev, O.D. Peskov // Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician I.P. Pavlov. – 2014, 4.- P. 138-147
19. Khlebus N.K., Petrovsky S.V. Changes in the biochemical composition of blood in toxic liver damage in sows. News of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education.- 2023, 1 (69).- P. 415-427)
20. Diagnostic and prognostic value of markers of endogenous intoxication in hepatopathies of cattle: monograph / E.V. Kuzminova, A.A. Abramov, M.P. Semenenko, A.G. Koshchaev. – Krasnodar, 2023. – 169 p
21. Merzlenko R.A., Strelnikov S.A. Prevention and treatment of fatty liver disease in pigs (monograph), - 2018, from Belgorod: "Politerra". - 111 p.

УДК: 636.2.087.7:615.31:547.458
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.548

ОСОБЕННОСТИ ЭЛИМИНАЦИИ ЭКЗОГЕННОГО СОРБИТОЛА У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Понамарёв В.С.* – канд. ветеринар. наук, доц. каф. фармакологии и токсикологии (ORCID 0000-0002-6852-3110); **Погодаева П.С.** – канд. ветеринар. наук, доц. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0001-7115-5921

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

* psevdopyos@mail.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, сорбитол, элиминация, гепатобилиарная система, печень, моча, фармакокинетика, предиктор.

Key words: cattle, sorbitol, elimination, hepatobiliary system, liver, urine, pharmacokinetics, predictor.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 24-26-00005 (https://rscf.ru/project/ 24-26-00005/)

Поступила: 25.05.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты исследования кинетики элиминации экзогенного сорбитола с мочой у клинически здоровых животных крупного рогатого скота. Установлены временные интервалы и количественные показатели выведения препарата, что является фундаментальной основой для разработки теста толерантности к сорбитолу в качестве предиктора функционального состояния гепатобилиарной системы. Результаты работы восполняют существующий пробел в данных о метаболизме сахароспиртов у жвачных животных. Особенности преджелудков КРС, населенных микробиотой, способной ферментировать различные углеводы и сахароспирты, теоретически могут влиять на процессы абсорбции и последующую кинетику сорбитола. Однако данные об элиминации экзогенного сорбитола в организме КРС в доступных научных источниках практически отсутствуют. В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования явилось изучение особенностей элиминации перорально введенного экзогенного сорбитола у крупного рогатого скота с оценкой его выведения с мочой для обоснования дальнейшего применения в качестве нагрузочного теста для оценки состояния гепатобилиарной системы. Полученные результаты демонстрируют, что у здорового КРС экзогенный сорбитол начинает обнаруживаться в моче через 2 часа после введения, достигает пиковой концентрации к 4-6 часу и практически полностью элиминируется в течение 24 часов. Важным выводом является наличие статистически значимых различий в уровне экскреции сорбитола между группами животных, различающихся по полу, возрасту, физиологическому статусу и типу кормления. Наблюдаемые различия, в частности, более высокая экскреция у бычков по сравнению с нетелями и коровами, а также у коров на высококонцентратном рационе по сравнению с аналогами на стандартном рационе, позволяют предположить, что на метаболизм сорбитола у жвачных могут влиять не только функция печени, но и осо-

бенности рубцового пищеварения, гормональный статус и уровень метаболизма. Это указывает на необходимость учета данных факторов при интерпретации нагрузочных тестов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Диагностика функционального состояния печени у продуктивных животных, в частности у крупного рогатого скота (КРС), остается актуальной проблемой в ветеринарной медицине и животноводстве. Раннее выявление субклинических нарушений гепатобилиарной системы, часто возникающих на фоне метаболических нагрузок (высокопродуктивные молочные коровы), алиментарных факторов (использование силоса, жмыха) или интоксикаций, позволяет своевременно корректировать рацион и применять профилактические меры, предотвращая экономические потери [1-3].

Существующие биохимические методы исследования крови (активность АСТ, АЛТ, ГГТ, щелочной фосфатазы, концентрация билирубина, желчных кислот) часто свидетельствуют о уже развившемся цитолизе или холестазе, в то время как необходимость в тестах, оценивающих функциональный резерв органа, его детоксикационную и метаболическую активность, крайне высока [4,5].

Одним из перспективных подходов является оценка клиренса экзогенных веществ, метаболизм которых преимущественно происходит в печени [6-10].

В гуманной медицине широкое применение нашел пероральный тест толерантности к сорбитолу. Сорбитол (D-глюцит) – шестиатомный спирт, природный заменитель сахара, который абсорбируется в кишечнике путем пассивной диффузии и практически полностью (более 90%) захватывается гепатоцитами из портального кровотока при первом прохождении. В печени он подвергается быстрому окислению до фруктозы под действием фермента сорбитолдегидрогеназы. Таким образом, скорость его исчезновения из системного кровотока и выведения с мочой напрямую зависит от функциональной целостности и массы активных гепатоцитов. Несмотря на хорошо изученный механизм утилизации сорбитола у моногастричных животных и человека, его метаболизм у жвачных представляет значительный научный интерес [11-15].

Особенности преджелудков КРС, населенных микробиотой, способной ферментировать различные углеводы и сахароспирты, теоретически могут влиять на процессы абсорбции и последующую кинетику сорбитола. Однако данные об элиминации экзогенного сорбитола в организме КРС в доступных научных источниках практически отсутствуют.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования явилось изучение особенностей элиминации перорально введенного экзогенного сорбитола у крупного рогатого скота с оценкой его выведения с мочой для обоснования дальнейшего применения в качестве нагрузочного теста для оценки состояния гепатобилиарной системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование проводилось в условиях одного из животноводческих хозяйств Псковской области. Для проведения эксперимента было сформировано 4 группы клинически здоровых животных черно-пестрой голштинизированной породы (n=40) по 10 голов в каждой, стратифицированных по полу, возрасту, живой массе и физиологическому статусу. В первую группу вошли бычки живой массой 350±20 кг в возрасте 14-16 месяцев. Вторую группу составили нетели живой массой 450±30 кг. Третью и четвертую группы составили лактирующие коровы на 2-3 месяце лактации с продуктивностью 20-25 кг/сутки, содержащиеся в различных условиях: третья группа – привязное содержание, стандартный рацион; четвертая группа –беспривязное содержание, рацион с повышенным содержанием концентратов.

Всем животным после 12-часовой пищевой депривации (с сохранением свободного доступа к воде) перорально с

помощью зонда вводился водный раствор сорбитола (XyloPURE , «Эко-Проект») в дозе 0.5 г/кг живой массы. Доза была выбрана на основании адаптации методик, используемых в медицинской практике, и предварительных пилотных исследований на ограниченной группе животных, показавших отсутствие осмотического диарейного эффекта и признаков дискомфорта у КРС в данном диапазоне доз.

Для количественного сбора мочи у животных всех групп использовались стерильные мочеприемники (Urinary Collection Bag для КРС, JorVet). Отбор проб проводился до введения сорбитола (фоновые пробы, точка Т0), а затем через следующие интервалы после введения: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24 часа. Каждая проба тщательно отбиралась в стерильные пробирки типа Эппендорф, маркировалась и немедленно замораживалась при температуре -20°С для последующего анализа с целью предотвращения микробной деградации сорбитола.

Концентрация сорбитола в образцах мочи определялась с помощью твердофазного конкурентного иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием коммерческого набора реагентов (Sorbitol ELISA Kit, MyBioSource, Inc., США, каталожный номер MBS269615) в соответствии с инструкцией производителя. Анализ проводился на планшетном ридере StatFax2100 (США). Чувствительность метода составила 0.1 мг/дл, диапазон измерений – 0.1-50 мг/дл. Все образцы были проанализированы в двух повторностях.

Полученные цифровые данные были обработаны методами вариационной статистики с использованием программного обеспечения SPSS 23.0 и Excel. Рассчитывались среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD), стандартная ошибка среднего (m). Для оценки достоверности различий между группами в различные временные точки применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим пост-хок тестом Тьюки. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Данные в таблице представлены как M ± SD.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Введение пероральной дозы сорбитола в количестве 0.5 г/кг не вызвало у подопытных животных каких-либо негативных клинических реакций, нарушений поведения или актов дефекации, что свидетельствует о хорошей переносимости препарата.

Во всех фоновых пробах мочи (Т0), отобранных до введения сорбитола, его концентрация находилась ниже порога чувствительности метода определения (<0.1 мг/дл), что указывает на отсутствие эндогенной экскреции сахароспирта в detectable количествах у здоровых животных натощак.

После перорального введения была зафиксирована четкая динамика появления и исчезновения сорбитола в моче. Первые статистически значимые количества сорбитола были обнаружены в пробах мочи, отобранных через 2 часа после введения у животных всех групп. Концентрация продолжала нарастать, достигая пиковых значений в интервале между 4 и 6 часами после нагрузки.

Средние пиковые концентрации сорбитола в моче значимо различались между группами. Наивысшие показатели были зарегистрированы у бычков-кастратов (Группа 1), составив 38.5 ± 4.2 мг/дл в среднем на 4-м часу исследования. У нетелей (Группа 2) пиковая концентрация была достоверно ниже – 28.1 ± 3.8 мг/дл ($p<0.05$). У лактирующих коров пиковые значения также разнились: у животных на стандартном рационе (Группа 3) – 24.7 ± 3.1 мг/дл, а у коров на рационе с высоким содержанием концентратов (Группа 4) – 32.5 ± 3.9 мг/дл, что было статистически значимо выше по сравнению с Группой 3 ($p<0.05$).

После достижения пика концентрация сорбитола в моче начинала прогрессивно снижаться. К 12-му часу исследования экскреция сорбитола с мочой значительно снижалась, а к 24-му часу у 95% животных концентрация вновь падала ниже определяемого уровня (<0.1 мг/дл).

Суммарная экскреция сорбитола за 24 -часовой период, рассчитанная на основе

кривой «концентрация-время» и объема выделенной мочи, также показала межгрупповые различия. Наибольший процент выведенной от введенной дозы был отмечен в Группе 1 (8.5 ± 1.2%), тогда как в Группах 2 и 3 этот показатель был достоверно ниже – 5.8 ± 0.9% и 5.2 ± 0.8% соответственно ($p<0.01$). В Группе 4 суммарная экскреция была на уровне 7.1 ± 1.0%, что значимо превышало показатели Группы 3.

Полученные количественные данные по концентрации сорбитола в моче (мг/дл) в зависимости от времени после нагрузки и группы животных представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Динамика концентрации сорбитола в моче (мг/дл, M ± SD) после перорального введения в дозе 0.5 г/кг

Временной интервал	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
1	0.5 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.2
2	12.4 ± 2.1*	8.9 ± 1.7	7.5 ± 1.5	10.8 ± 2.0*
3	29.8 ± 3.5*	20.3 ± 2.9	18.1 ± 2.5	25.4 ± 3.1*
4	38.5 ± 4.2*	28.1 ± 3.8*	24.7 ± 3.1	32.5 ± 3.9*
6	35.2 ± 3.8*	25.4 ± 3.2*	22.3 ± 2.8	28.9 ± 3.5*
8	18.7 ± 2.7*	12.6 ± 2.0	10.8 ± 1.9	15.1 ± 2.3*
12	3.1 ± 0.8	2.2 ± 0.6	1.8 ± 0.5	2.7 ± 0.7
24	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

*Примечание: * - статистически значимые различия ($p<0.05$) по сравнению с Группой 3 в соответствующий временной интервал.*

Анализ данных позволяет заключить, что полный цикл элиминации однократной пероральной дозы сорбитола у здорового крупного рогатого скота занимает не более 24 часов, при этом основное выведение происходит в интервале между 2 и 12 часами после введения.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенное исследование впервые предоставляет комплексные данные о кинетике элиминации экзогенного сорбитола и его выведения с мочой у крупного рогатого скота. Установлено, что пероральная нагрузка сорбитолом в дозе 0.5 г/кг является безопасной и хорошо переносимой процедурой для животных различных физиологических групп.

Полученные результаты демонстрируют, что у здорового КРС экзогенный сорбитол начинает обнаруживаться в моче через 2 часа после введения, достигает пиковой концентрации к 4-6 часу и практически полностью элиминируется в течение 24 часов. Важным выводом является наличие статистически значимых различий в уровне экскреции сорбитола между группами животных, различающихся по полу, возрасту, физиологическому статусу и типу кормления.

Наблюдаемые различия, в частности, более высокая экскреция у бычков по сравнению с нетелями и коровами, а также у коров на высококонцентратном рационе по сравнению с аналогами на стандартном рационе, позволяют предположить, что на метаболизм сорбитола у жвачных могут влиять не только функция печени, но и особенности рубцового пищеварения, гормональный статус и уровень метаболизма. Это указывает на необходимость учета данных факторов при интерпретации нагрузочных тестов.

Таким образом, исследование подтверждает принципиальную возможность использования перорального теста толерантности к сорбитолу с оценкой его экскреции с мочой для неинвазивной оценки функции печени у КРС. Установленные референсные интервалы и кинетические параметры для здоровых животных слу-

жат необходимой базой для дальнейших исследований.

Перспективы работы заключаются в апробации разработанной методики на группах животных с экспериментально индуцированными и клинически диагностированными патологиями гепатобилиарной системы (жировая дистрофия печени, холангиты, токсические поражения) для оценки диагностической чувствительности и специфичности теста. Это позволит валидировать его в качестве надежного инструмента для доклинической диагностики нарушений печеночной функции в современном животноводстве.

FEATURES OF EXOGENOUS SORBITOL ELIMINATION IN CATTLE

Ponamarev V.S.* – PhD in Veterinary Medicine, Associate Professor at the Department of Pharmacology and Toxicology (ORCID 0000-0002-6852-3110); **Pogodaeva P.S.** – PhD in Veterinary Medicine, Associate Professor at the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID 0000-0001-7115-5921

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine

* psevdopyos@mail.ru

Acknowledgments: *The study was funded by the Russian Science Foundation under the research project No. 24-26-00005 (https:// rscf.ru/project/ 24-26-00005/).*

ABSTRACT

The article presents the results of a study of the kinetics of elimination of exogenous sorbitol in urine in clinically healthy cattle animals. Time intervals and quantitative indicators of drug elimination have been established, which is the fundamental basis for the development of a sorbitol tolerance test as a predictor of the functional state of the hepatobiliary system. The results of the work fill the existing gap in data on the metabolism of sugar alcohols in ruminants. The features of the pre-pancreas of cattle inhabited by microbiota capable of fermenting various carbohydrates and sugar alcohols can theoretically influence the absorption processes and subsequent kinetics of sorbitol. However, there is practically no data on the elimination of exogenous sorbitol in cattle in available scientific sources. In connection with the above, the purpose of this study was to study the characteristics of the elimination of orally administered exogenous sorbitol in cattle with an assessment of its urinary excretion to justify further use as a stress test to assess the state of the hepatobiliary system. The results obtained demonstrate that in healthy cattle, exogenous sorbitol begins to be detected in the urine 2 hours after administration, reaches a peak concentration by 4-6 hours, and is almost completely eliminated within 24 hours. An important conclusion is the presence of statistically significant differences in the level of sorbitol excretion between groups of animals differing in sex, age, physiological status and type of feeding. The observed differences, in particular, higher excretion in bulls compared to heifers and cows, as well as in cows on a high-concentration diet compared to their counterparts on a standard diet, suggest that not only liver function, but also features of cicatricial digestion, hormonal status and metabolic rate can affect sorbitol metabolism in ruminants. This indicates the need to take these factors into account when interpreting load tests.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гавриш, В. Г. Справочник ветеринарного врача: Лабораторная диагностика и биохимия животных / В. Г. Гавриш, И. И. Калюжный. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2019. — 380 с. — ISBN 978-5-222-32145-6.

2. Трошин, А. Н. Оценка функционального состояния печени у собак с использованием бромсульфалеинового теста / А. Н. Трошин, М. В. Семенова // Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные. — 2020. — № 4. — С. 35-38.

3. Center, S. A. Liver Function Tests in Small Animal Practice / S. A. Center // The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. — 2023. — Vol. 53, № 1.

— P. 93-128. — DOI: 10.1016/ j.cvsm.2022.07.008.
4. Gori, E. Evaluation of ammonia tolerance test for diagnosis of hepatic encephalopathy in dogs with portosystemic shunt / E. Gori, M. Lippi, S. Pierini et al. // Journal of Veterinary Internal Medicine. — 2019. — Vol. 33, № 2. — P. 1682-1689. — DOI: 10.1111/ jvim.15524.
5. Ibrahim, W. H. Current status of future directions of hepatic function assessment in critical illness / W. H. Ibrahim, A. M. Al Hail, R. R. Pathan // Journal of Veterinary Emergency and Critical Care. — 2021. — Vol. 31, № 4. — P. 435-448. — DOI: 10.1111/vec.13085.
6. Kovalkovičová, N. Dynamic liver function tests in dogs: A review / N. Kovalkovičová, J. Čobanová, I. Šutiaková // Acta Veterinaria Brno. — 2018. — Vol. 87, № 2. — P. 205-214. — DOI: 10.2754/ avb201887020205.
7. Lisciandro, S. C. Use of the liver function test LiMAx in canine liver disease / S. C. Lisciandro, M. Hopper // Journal of Small Animal Practice. — 2021. — Vol. 62, № 6. — P. 449-455. — DOI: 10.1111/jsap.13312.
8. Mizuno, T. Ammonia tolerance test in dogs with portosystemic shunt / T. Mizuno, K. Hiraoka, K. Uchida // Journal of Veterinary Medical Science. — 2017. — Vol. 79, № 9. — P. 1539-1543. — DOI: 10.1292/ jvms.17-0275.
9. Nelson, N. C. Comparison of fasting and postprandial plasma ammonia concentrations in dogs with and without hepatic disease / N. C. Nelson, C. G. Couto, C. E. Raleigh // Journal of Veterinary Internal Medicine. — 2016. — Vol. 30, № 3. — P. 825-831. — DOI: 10.1111/jvim.13936.
10. Panti, A. The use of indocyanine green clearance testing to evaluate liver disease in dogs / A. Panti, C. R. Lamb, A. J. Caine // The Veterinary Journal. — 2020. — Vol. 256. — P. 105434. — DOI: 10.1016/ j.tvjl.2020.105434.
11. Proot, S. J. P. The use of the ^{13}C-methacetin breath test for non-invasive assessment of liver function in dogs / S. J. P. Proot, J. Rothuizen, V. B. Favier // Veterinary Quarterly. — 2019. — Vol. 39, № 1. — P. 67-76. — DOI: 10.1080/01652176.2019.1621540.
12. Ruland, K. The ^{13}C-methacetin breath test for quantitative liver function testing in dogs: A review / K. Ruland, A. Fischer, J. Hartmann // Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere / Heimtiere. — 2020. — Vol. 48, № 2. — P. 121-129. — DOI: 10.1055/a-1127 -4730.
13. Саленко, Н. В. Современные методы оценки функционального состояния печени у продуктивных животных / Н. В. Саленко, А. А. Стекольников // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. — 2021. — № 10. — С. 18-27.
14. Туманян, М. А. Диагностика заболеваний печени у мелких домашних животных: современные подходы и клинические тесты / М. А. Туманян, Е. В. Кривова // Ветеринарный врач. — 2022. — № 2. — С. 12-19.
15. Wagner, K. A. Interpretation of Liver Enzymes / K. A. Wagner, M. H. Hart // Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. — 2017. — Vol. 47, № 3. — P. 663-675. — DOI: 10.1016/ j.cvsm.2016.11.009.

REFERENCES

1. Gavrish, V. G. Handbook of a veterinarian: Laboratory diagnostics and biochemistry of animals / V. G. Gavrish, I. I. Kalyuzhny. Rostov-on-Don: Phoenix, 2019. 380 p. ISBN 978-5-222-32145-6.
2. Troshin, A. N. Assessment of the functional state of the liver in dogs using a bromosulfalein test / A. N. Troshin, M. V. Semenova // Russian Veterinary Journal. Farm animals. - 2020. — No. 4. — pp. 35-38.
3. Center, S. A. Liver Function Tests in Small Animal Practice / S. A. Center // The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. — 2023. - Vol. 53, № 1. Pp. 93-128. - DOI: 10.1016 / j. cvsm.2022.07.008.
4. Gori, E. Evaluation of ammonia tolerance test for diagnosis of hepatic encephalopathy in dogs with portosystemic shunt / E. Gori, M. Lippi, S. Pierini et al. // Journal of Veterinary Internal Medicine. — 2019. - Vol. 33, № 2. - Pp. 1682-1689. - DOI: 10.1111 /

jvim.15524.
5. Ibrahim, W. H. Current status of future directions of hepatic function assessment in critical illness / W. H. Ibrahim, A. M. Al Hail, R. R. Pathan // Journal of Veterinary Emergency and Critical Care. — 2021. - Vol. 31, № 4. Pp. 435-448. - DOI: 10.1111 / vec.13085.
6. Kovalkovičová, N. the Dynamic liver function tests in dogs: A review / N. Kovalkovičová, J. Čobanová, I Šutiaková // Acta Veterinaria Brno. — 2018. - Vol. 87, № 2. Pp. 205-214. - DOI: 10.2754 / avb201887020205.
7. Lisciandro, S. C. Use of the liver function test LiMAx in canine liver disease / S. C. lisciandro, M. Hopper // Journal of Small Animal Practice. — 2021. - Vol. 62, № 6. Pp. 449-455. - DOI: 10.1111 / jsap.13312.
8. Mizuno, T. Ammonia tolerance test in dogs with portosystemic shunt / T. Mizuno, K. Hiraoka, K. Uchida // Journal of Veterinary Medical Science. — 2017. - Vol. 79, № 9. Pp. 1539-1543. - DOI: 10.1292 / jvms.17-0275.
9. Nelson, N. C. Comparison of fasting and postprandial plasma ammonia concentrations in dogs with and without hepatic disease / N. C. Nelson, C. G. Couto, C. E. Raleigh // Journal of Veterinary Internal Medicine. — 2016. - Vol. 30, № 3. Pp. 825-831. - DOI: 10.1111 / jvim.13936.
10. Panti, A. the use of indocyanine green clearance testing to assess liver disease in dogs / A. Panti, C. R. Lamb, A. J. Caine // the Veterinary Journal. — 2020. - Vol. 256. P. 105434. - DOI: 10.1016 / j. tvjl.2020.105434.
11. Proot, S. J. P. the use of the 13C-methacetin breath test for non-invasive assessment of liver function in dogs / S. J. P. Proot, J. Rothuizen, V. B. Favier // Veterinary Quarterly. — 2019. - Vol. 39, № 1. Pp. 67-76. - DOI: 10.1080 / 01652176.2019.1621540.
12. Ruland, K. The 13C-methacetin breath test for quantitative liver function testing in dogs: a review / K. Ruland, A. Fischer, J. Hartmann // tier. — 2020. - Vol. 48, № 2. Pp. 121-129. - DOI: 10.1055 / a-1127-4730.
13. Salenko, N. V. Modern methods for assessing the functional state of the liver in productive animals / N. V. Salenko, A. A. Stekolnikov // Veterinary, animal science, and biotechnology. — 2021. — No. 10. — pp. 18-27.
14. Tumanyan, M. A. Diagnosis of liver diseases in small domestic animals: modern approaches and clinical tests / M. A. Tumanyan, E. V. Krivova // Veterinarian. — 2022. — No. 2. — pp. 12-19.
15. Wagner, K. A. Interpretation of Liver Enzymes / K. A. Wagner, M. H. Hart // Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. — 2017. - Vol. 47, № 3. Pp. 663-675. - DOI: 10.1016 / j. cvsm.2016.11.009.

УДК: 619:616
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.555

РОЛЬ ГИСТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК В МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛИМФОМЫ У КОШЕК

Митрохина Н.В.[1,2*] – канд. ветеринар. наук, гл. врач, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-2712-4252); **Сотникова Л.Ф.**[2] – д-р ветеринар. наук, проф., зав. каф. болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных, (ORCID 0000-0001-7138-6463).

[1] Сеть ветеринарных лабораторий ВЕТЛАБ
[2] ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет

*nv@mitrokhina.ru

Ключевые слова: *лимфома, гистогенез, лимфобласт, иммунобласт, центробласт,клетка-предшественница, гемопоэз.*
Key words: *lymphoma, histogenesis, lymphoblast, immunoblast, centroblast,progenitor cell, hematopoiesis.*

Поступила: 01.07.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Целью нашего исследования является выявление гистогенетических признаков опухолевых клеток и оценка их роли в патоморфологической диагностике лимфомы. Объектами исследования явились новообразования от кошек разного возраста и пола. Диагноз ставился на основании макроскопического изучения удаленных тканей и гистологического исследования. При исследовании гистологических образцов тканей учитывали локализацию опухоли, форму роста (диффузная, очаговая, фолликулярная), размер опухолевых клеток (мелкоклеточная, крупноклеточная) и гистогенетические характеристики (центробластная, лимфобластная, иммунобластная). При анализе локализации опухоли выявлено поражение лимфатических узлов в 17,4% случаев, кожи и мягких тканей – 15,2%, глаз и век – 6,5%, носовой полости – 15,2%, органов ЖКТ – 32,6% и другие локализации – 13%. Гистологическое исследование показало, что крупноклеточный морфологический вариант лимфомы выявляется в 65,2% случаев, а мелкоклеточный – в 34,8% случаев. Наиболее характерными морфологическими признаками крупноклеточной лимфомы являются: диффузная инфильтрация ткани атипичными клетками округлой и неправильной округлой формы. Клетки крупные (до 10 диаметров эритроцита). Ядра клеток крупные, содержат на поверхности инвагинации и неровности. Рисунок хроматина в ядре глыбчатый, что позволяет дифференцировать множественные нуклеолы. Наиболее характерными морфологическими признаками мелкоклеточной лимфомы являются: диффузная или очаговая инфильтрация ткани мелкими (до 5 диаметров эритроцита) лимфоидными клетками. Ядра клеток округлые, содержат грубый зернистый, реже, глыбчатый хроматин. В ядрах нуклеола часто не дифференцируется. Представленные данные могут быть использованы для составления гистологических

классификаций опухолей мелких домашних животных, а также для разработки новых таргетных схем лечения лимфомы.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Одним из часто встречающихся и сложно диагностируемых заболеваний лимфопролиферативной системы кошек является лимфома. Изучение морфологических закономерностей опухолевой трансформации клеток является актуальной проблемой ветеринарной медицины. Актуальность проблемы определяется сложным морфогенезом лимфоидных клеток и множественными стадиями их дифференцировки. Без лечения смертность составляет порядка 40 -75% в течение 4-8 недель после постановки диагноза [1]. Это злокачественное новообразование лимфоидной и кроветворной тканей. Причины возникновения лимфомы у кошек могут быть различными, включая генетический фактор, вирусы и канцерогенное воздействие. Признаки проявления этого онкологического заболевания неспецифичны [2,3]. Симптомы у кошек включают увеличение лимфатических узлов, снижение аппетита и потерю мышечной массы тела, изменение поведения (апатия, слабость), повышение температуры тела. Возможно формирование органных и вне органных новообразований. Лимфома у кошек составляет 50-90% всех образований гемолимфопоэтический системы [2].

Лимфопоэз представляет собой совокупность процессов, при которых происходит развитие и дифференцировка лимфоидных клеток. В результате дифференцировки гемопоэтических стволовых клеток происходит образование общих лимфоидных предшественников, из которых развиваются все типы лимфоидных клеток (Т-, В- и NK-клетки), и общих миелоидных предшественников, которые могут дифференцироваться в эритроциты, мегакариоциты, макрофаги и гранулоциты [4,5]. Опухолевая трансформация различных клеточных линий возможна на любой стадии дифференцировки клеток. Этот процесс многоступенчатый, в ходе него нормальные клетки претерпевают серию генетических и эпигенетических изменений [6]. Характер мутаций, приводящий клетку к опухолевой трансформации, определяет ее морфологические характеристики, отражающие уровень блока клеточной дифференцировки. Возникновение, морфологические особенности и гистогенез опухоли позволяют судить о степени ее злокачественности, прогнозировать течение заболевания и эффективность терапии [7]. Современная классификация лимфоидных новообразований должна быть основана на клинических, морфологических, иммунофенотипических характеристиках [8], что определяет гистогенетическую принадлежность клеток. Понимание гистогенеза опухолевой клетки позволит верифицировать лимфоидные опухоли и прогнозировать течение заболевания, что, в свою очередь, поможет определить эффективные алгоритмы лечения. Таким образом, изучение гистогенетических признаков опухолевых клеток в ходе микроскопического исследования является одной из приоритетных задач ветеринарной патоморфологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследование было проведено на базе сети ветеринарных лабораторий ВЕТЛАБ. В исследование включили 46 биоптатов тканей кошек, поступивших в лабораторию в 2024 году и пораженных лимфомой. Критериями включения являлись: фрагменты тканей с макроскопическими признаками поражения опухолью, ткани и новообразования с морфологическими признаками лимфомы. Критериями исключения были: органы и ткани, пораженные опухолями не лимфоидного генеза, ткани с признаками пролиферативного воспаления. Материал был получен от кошек разных возрастов и пород.

Макроскопические признаки лимфомы оценивали по изменению структуры органа, утрате специфического рисунка, формированию в ткани гомогенного бесструктурного опухолевого узла.

Макроскопическими признаками тканей с пролиферативным воспалением считали – увеличение ткани в объеме,

изменение (не утрата) специфического рисунка ткани, наличие демаркационной линии вокруг очага в виде гиперемии или формирования псевдокапсулы.

Микроскопическими признаками лимфомы являлись – наличие инфильтратов, состоящих из атипичных лимфоидных клеток, опухолевая инвазия, наличие зон некроза, повышенная митотическая активность клеток (более 5 фигур митоза в поле зрения при х400), наличие апоптических телец.

На преаналитическом этапе была выполнена гистологическая вырезка биопсийного материала. На исследование брали фрагменты органов и тканей из зоны видимого поражения и на границе со здоровыми тканями. Диаметр отобранных образцов был 2 $см^3$. Образцы прошли гистологическую проводку и заливку в парафиновые блоки.

Для заливки использовалась автоматическая заливочная станция KEDDE KD -BMII. Микротомия парафинового блока была проведена на полуавтоматическом микротоме Rotary 3004M. Гистологические срезы были выполнены толщиной 4 мкм, фиксированы на предметном стекле и окрашены гематоксилином и эозином в автоматическом автостейнере.

На аналитическом этапе исследования выполнили микроскопию гистологических препаратов, которая осуществлялась на микроскопе Micro Screen при увеличении в 400 раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ходе исследования были выявлены самые частые локализации лимфомы у кошек (табл.1).

Из 46 исследованных лимфом крупноклеточное строение имели 30, мелкоклеточное – 16 (табл. 2).

В ходе исследования были выявлены основные морфологические особенности крупноклеточной и мелкоклеточной лимфомы. Крупноклеточная лимфома всех локализаций состояла из крупных лимфоидных клеток округлой и неправильной округлой формы. Ядра клеток были крупные, эксцентричные. Часто на поверхности ядер определялись инвагинации и неровности. В ядрах содержался грубый глыбчатый гетерохроматин и 2 и более крупные нуклеолы. Цитоплазма клеток была скудная, базофильная. В микроокружении выявляли макрофаги, придававшие ткани вид «звездного неба». Клетки были расположены диффузно, рисунок исходной ткани стерт. Патологические фигуры митоза определяли в каждом поле зрения при увеличении х400 в количестве 5 и более (рис. 1).

Таблица 1– Распределение лимфомы у кошек по локализации

Локализация опухоли	Число наблюдений	%
Лимфатические узлы	8	17,4
Кожа и мягкие ткани	7	15,2
Глаза	3	6,5
Желудочно-кишечный тракт	15	32,6
Носовая полость	7	15,2
Другое	6	13

Таблица 2 – Распределение опухоли по клеточной популяции

Клеточный интерфейс	Число наблюдений	%
Крупноклеточный	30	65,2
Мелкоклеточный	16	34,8

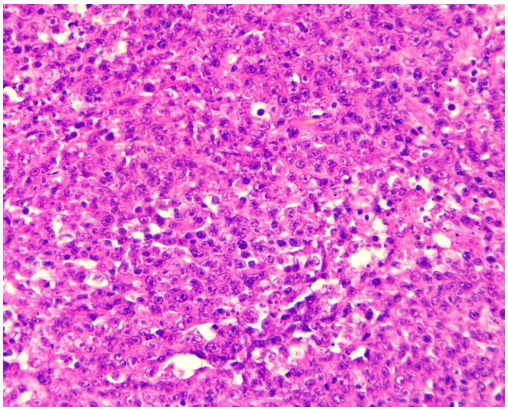


Рисунок 1– Гистологическое строение крупноклеточной лимфомы. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение х400.

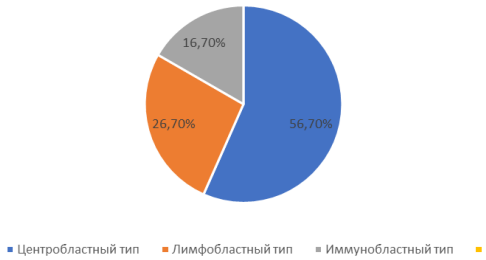


Рисунок 2 – Распределение лимфомы по клеточным морфологическим типам.

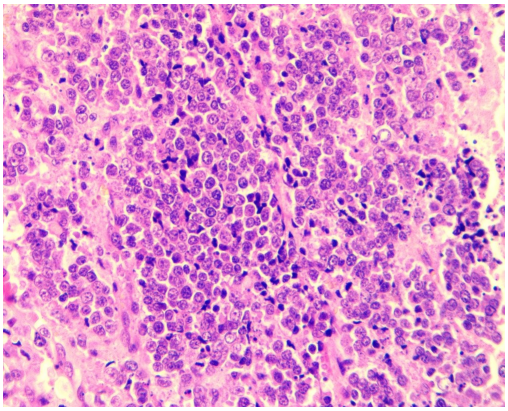


Рисунок 3 – Диффузная крупноклеточная лимфома. Центробластный морфологический тип. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение х400.

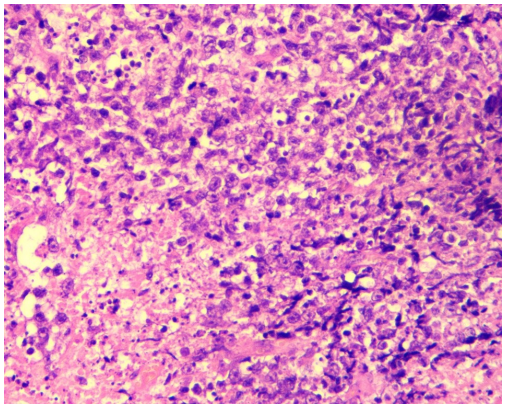


Рисунок 4 – Диффузная крупноклеточная лимфома. Иммунобластный морфологический тип. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение х400.

В ходе исследования было выявлено, что диффузная крупноклеточная лимфома представлена в виде трех морфологических типов: центробластного, иммунобластного и лимфобластного (рис. 2).

Были выявлены основные микроскопические особенности различных морфологических типов лимфом. Центробластный морфологический тип лимфомы характеризовался наличием опухолевых инфильтратов, состоящих из крупных клеток округлой формы. Ядра клеток крупные, округлые, эксцентричные. Ядерная мембрана не ровная, но без инвагинаций. В ядрах содержался грубый глыбчатый хроматин и 1-3 и более мелкие нуклеолы (рис. 3).

Иммунобластный морфологический тип лимфомы характеризовался опухолевыми инфильтратами, состоявшими из клеток с микроскопическими признаками иммунобластов. Эти крупные клетки содержали массивные ядра неправильной округлой и подковообразной формы. Число нуклеол в ядре 1-2, нуклеолы крупные, пузырьковидные (рис. 4).

Лимфобластный морфологический тип лимфомы характеризовался наличием опухолевых инфильтратов, состоявших из крупных клеток округлой формы. Ядра клеток крупные, округлые, эксцентричные, содержали глыбчатый насыщенный

гетерохроматин. В ядрах нуклеола не дифференцировалась или выявлялась 1 мелкая нуклеола (рис. 5).

Мелкоклеточная лимфома, не зависимо от локализации, состояла из мелких лимфоидных клеток округлой и неправильной округлой формы. Ядра опухолевых клеток оценивались как эксцентричные, часто гиперхромные. Нуклеола часто не дифференцировалась. Ядро было окружено тонким ободком базофильной цитоплазмы. Патологические фигуры митоза выявлялись в количестве до 3 в поле зрения при х400 (рис. 6).

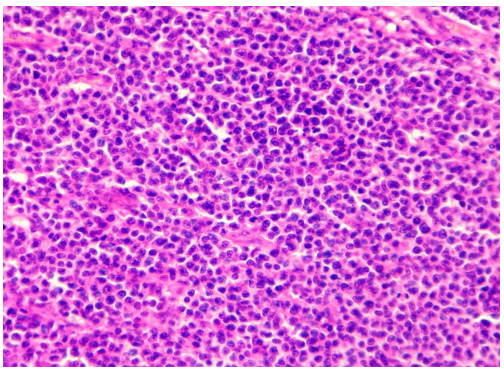


Рисунок 5 – Диффузная крупноклеточная лимфома. Лимфобластный морфологический тип. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение х400.

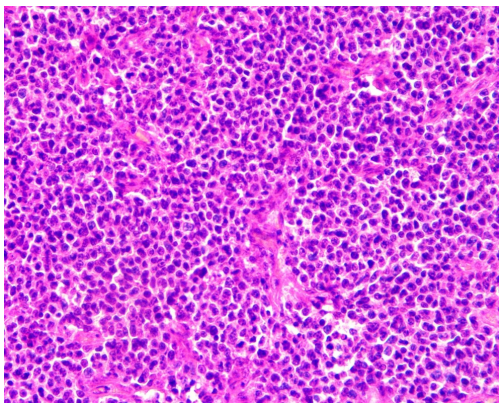


Рисунок 6 – Гистологическое строение мелкоклеточной лимфомы. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение х400.

По данным Гуриной Е.Р. наиболее часто лимфома у собак локализуется в поверхностных лимфатических узлах, печени и селезенке. У кошек более часто встречаются изменения в желудочно-кишечном тракте [9], что совпадает с результатами нашего исследования. Мы это связываем с особенностями строения и функциями слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), а также наличием в данной области активного микробиота, способствующего высокому уровню пролиферации в данной зоне лимфоидных клеток. Подобные наблюдения были и у других авторов, например, Давыдкин И.Л., Косталанова Ю.В., Козлов С.В. отмечают, что прогрессирование хронического неатрофического гастрита с постепенным развитием метаплазии и дисплазии эпителия слизистой оболочки желудка служит обязательным условием развития рака желудка [10].

Вербицкая Н.Е и соавт. указывают на редкие локализации лимфом, такие как молочная железа, большой сальник и сердце [11]. В ходе нашего исследования подобные локализации не выявлены.

Поражая разные органы и ткани, лимфомы сохраняют свои морфологические признаки, что подтверждает родство их происхождения. Гистогенетическое происхождение опухолевых клеток делает их морфологические признаки сходными вне зависимости от локализации опухоли, что говорит о том, что для дифференциальной диагностики лимфом необходимо изучать именно происхождение клеток, что, в свою очередь, поможет определить и степень злокачественности опухоли. Кудачева Н.А. в своей работе указывает, что степень злокачественности лимфомы зависит от того, на какой стадии дифференцировки лимфоциты будут подвержены злокачественной трансформации [12].

В ходе исследования нами были выявлены, основываясь на принципе гистогенетического происхождения клеток, три основных морфологических типа крупноклеточных лимфом: центробластный, иммунобластный и лимфобластный. В соответствии с классификацией Всемирной

организации здравоохранения (ВОЗ) 2008 г. опухолей гемопоэтической и лимфоидной ткани диффузная крупноклеточная лимфома представлена тремя морфологическими вариантами: центробластным, иммунобластным, анапластическим (13). Возможно, дальнейшее изучение гистогенеза опухолевых клеток у животных так же позволит выявить анапластический морфологический тип лимфомы. Михайлов Е.В. в своей работе (2023 г.) различает следующие виды диффузных крупноклеточных лимфом: центробластная, иммунобластная и смешанная [14]. Смешанный вариант лимфомы содержит разные популяции опухолевых клеток и может быть выделен в отдельную группу или может быть исключен из классификации с учетом преобладания той или иной клеточной популяции в ткани опухоли. Таким образом, гистогенез опухолевых клеток необходимо продолжать изучать, для формирования точных ветеринарных гистологических классификаций.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом показана роль гистогенетических признаков в дифференциальной диагностике лимфомы. Морфологические особенности различных морфологических типов лимфом в целом соответствуют данным, приведенным в источниках литературы. Результаты исследования могут быть использованы для составления ветеринарных гистологических классификаций и лягут в основу понимания происхождения опухолевых клеток.

THE ROLE OF HISTOGENETIC FEATURES OF TUMOR CELLS IN THE MORPHOLOGICAL DIAGNOSIS OF LYMPHOMA IN FASHIONS

Mitrokhina N.V.[1,2]* – PhD. Veterinarian, Chief physician, senior researcher. Associate Professor (ORCID 0000-0002-2712-4252); **Sotnikova L.F.**[2] – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Diseases of Small domestic, Laboratory and Exotic animals, (ORCID 0000-0001-7138-6463).

[1] VETLAB Veterinary Laboratory Network

[2] Russian Biotechnological University

*nv@mitrokhina.ru

ABSTRACT

The aim of our study was to identify histogenetic features of tumor cells and assess their role in the pathomorphological diagnosis of lymphoma. The objects of the study were neoplasms from cats of different ages and sexes. The diagnosis was based on macroscopic examination of the removed tissues and histological examination. When examining histological tissue samples, the tumor localization, growth pattern (diffuse, focal, follicular), tumor cell size (small cell, large cell) and histogenetic characteristics (centroblastic, lymphoblastic, immunoblastic) were taken into account. When analyzing the tumor localization, lymph node involvement was revealed in 17.4% of cases, skin and soft tissues - 15.2%, eyes and eyelids - 6.5%, nasal cavity - 15.2%, gastrointestinal tract - 32.6% and other localizations - 13%. Histological examination showed that the large-cell morphological variant of lymphoma is detected in 65.2% of cases, and the small-cell variant in 34.8% of cases. The most characteristic morphological features of large-cell lymphoma are: diffuse tissue infiltration with atypical cells of round and irregular round shape. The cells are large (up to 10 diameters of an erythrocyte). The cell nuclei are large, contain invaginations and irregularities on the surface. The chromatin pattern in the nucleus is lumpy, which allows differentiating multiple nucleoli. The most characteristic morphological features of small-cell lymphoma are: diffuse or focal tissue infiltration with small (up to 5 diameters of an erythrocyte) lymphoid cells. The cell nuclei are round, contain coarse granular, less often, lumpy chromatin. Nucleoli in nuclei are often not differentiated. The presented data can be used to compile histological classifications of tumors in small domestic animals, as well as to develop new targeted treatment regimens for lymphoma.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ленкова, Н. В. Сравнительная эффективность схем консервативного лечения

при алиментарной лимфоме у кошек / Н. В. Ленкова, А. В. Вольф // Международный вестник ветеринарии. – 2023. – № 2. – С. 430-438. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.2.430. – EDN KKVPFK.
2. Гурина, Е. Р. Токсичность Этопозида в лечении кошек при лимфоме / Е. Р. Гурина, А. М. Лунегов // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2023. – № 2. – С. 84-88. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2023.2.84. – EDN QZVVIY.
3. Горин, М. А. Клинические и ультрасонографические особенности алиментарной лимфомы у кошек / М. А. Горин // Вестник Нижегородского государственного агротехнологического университета. – 2024. – № 1(41). – С. 49-53. – EDN RHWUFO.
4. Повещенко А.Ф., Коненков В.И., Шкурат Г.А., Летягин А.Ю./ Лимфопоэз и миграционные процессы // Успехи физиологических наук. – 2019. – Т. 50, № 4. – С. 40-49. – DOI 10.1134/S0301179819030081. – EDN BFXSUJ.
5. Homma M, Yamochi-Onizuka T, Shiozawa E et al. Primary pulmonary classical Hodgkin lymphoma with two recurrences in the mediastinum: a case report. J Clin Exp Hematop 2010; 50: 151-7. DOI: 10.1136/bcr-2014-204020
6. Широких П.Г., Мотыко Е.В., Кириенко А.Н. [и др.] /Генетическая диагностика хронического лимфоцитарного лейкоза // Гематология. Трансфузиология. Восточная Европа. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 65-82. – DOI 10.34883/PI.2025.11.1.008. – EDN AWNXCM.
7. Кучер, Е. В. Роль цитогенетических и молекулярно- генетических исследований в диагностике и прогнозировании течения хронического лимфолейкоза / Е. В. Кучер, Г. И. Мороз, С. Н. Гайдукова // Гематология. Трансфузиология. Восточная Европа. – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 78-89. – DOI 10.34883/PI.2021.7.1.007. – EDN WMICNZ.
8. Сагоян Г.Б, Андержанова Л.Х., Дьяконова Ю.Ю. [и др.] /В-клеточная лимфома неклассифицируемая с промежуточными признаками между диффузной крупноклеточной в-клеточной лимфомой и лимфомой Ходжкина // Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 88-95. – DOI 10.24287/1726-1708-2019-18-1-88-95. – EDN XLDFAY.
9. Гурина, Е. Р. Анализ локализации лимфомы у собак и кошек / Е. Р. Гурина // Эффективные и безопасные лекарственные средства в ветеринарии: материалы VI Международного конгресса, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Издательство ЛЕМА, 2024. – С. 34-35. – EDN BPEZVE.
10. Давыдкин, И. Л. Malt-лимфома желудка и хеликобактерассоциированный гастрит: морфологические и иммуногистохимические особенности / И. Л. Давыдкин, Ю. В. Косталанова, С. В. Козлов // Новые технологии в онкологии : сборник материалов ежегодной научно-практической конференции, Самара, 01 декабря 2016 года. – Самара: ООО «Акцент», 2016. – С. 24-28. – EDN YMEBIP.
11. Вержбицкая Н. Е. Первичные экстранодальные неходжкинские лимфомы редких локализаций / Н. Е. Вержбицкая, С. В. Петров, С. В. Чекрыжов // Архив патологии. – 2009. – Т. 71, № 2. – С. 27-29. – EDN KVZVJX.
12. Кудачева, Н. А. Клинико-морфологическая диагностика лимфом у собак / Н. А. Кудачева, Т. Ю. Беспалова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 9-2(63). – С. 14-17. – DOI 10.23670/IRJ.2017.63.006. – EDN ZHAKBL.
13. Левашов А.С., Валиев Т.Т., Ковригина А.М. [и др.]/ Современные возможности диагностики и лечения диффузной В-крупноклеточной лимфомы у детей и взрослых (обзор литературы) // Современная онкология. – 2015. – Т. 17, № 3. – С. 30-41. – EDN VBITCD.
14. Михайлов, Е. В. Патоморфологическая диагностика лимфом / Е. В. Михайлов // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 марта – 28 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный

университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 218-220. – EDN SPFYXI.

REFERENS

1. Lenkova, N. V. Comparative Effectiveness of Conservative Treatment Schemes for Nutritional Lymphoma in Cats / N. V. Lenkova, A. V. Wolf // International Bulletin of Veterinary Medicine. – 2023. – No. 2. – Pp. 430-438. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.2.430. – EDN KKVPFK.
2. Gurina, E. R. Toxicity of Etoposide in the Treatment of Cats with Lymphoma / E. R. Gurina, A. M. Lunegov // Regulatory and Legal Regulation in Veterinary Medicine. – 2023. – No. 2. – Pp. 84-88. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2023.2.84. – EDN QZVVIY.
3. Gorin, M. A. Clinical and Ultrasonographic Features of Nutritional Lymphoma in Cats / M. A. Gorin // Bulletin of the Nizhny Novgorod State University of Agrotechnology. – 2024. – No. 1(41). – Pp. 49-53. – EDN RHWUFO.
4. Poveschenko A.F., Konenkov V.I., Shkurat G.A., Letyagin A.Yu./ Lymphopoiesis and Migration Processes // Advances in Physiological Sciences. – 2019. – Vol. 50, No. 4. – Pp. 40-49. – DOI 10.1134/S0301179819030081. – EDN BFXSUJ.
5. Homma M, Yamochi-Onizuka T, Shiozawa E et al. Primary pulmonary classical Hodgkin lymphoma with two recurrences in the mediastinum: a case report. J Clin Exp Hematop 2010; 50: 151-7. DOI: 10.1136/bcr-2014-204020
6. Shirokikh P.G., Motyko E.V., Kirienko A.N. [et al.] /Genetic Diagnostics of Chronic Lymphocytic Leukemia // Hematology. Transfusiology. Eastern Europe. – 2025. – Vol. 11, No. 1. – Pp. 65-82. – DOI 10.34883/PI.2025.11.1.008. – EDN AWNXCM.
7. Kucher, E. V. The Role of Cytogenetic and Molecular Genetic Research in the Diagnosis and Prediction of the Course of Chronic Lymphocytic Leukemia / E. V. Kucher, G. I. Moroz, and S. N. Gaidukova // Hematology. Transfusiology. Eastern Europe. – 2021. – Vol. 7, No. 1. – Pp. 78-89. – DOI 10.34883/PI.2021.7.1.007. – EDN WMICNZ.
8. Sagoyan G.B., Anderhanova L.Kh., Dyakonova Yu.Yu. [et al.] /B-cell lymphoma unclassifiable with intermediate features between diffuse large B-cell lymphoma and Hodgkin's lymphoma // Issues of Hematology/Oncology and Immunopathology in Pediatrics. – 2019. – Vol. 18, No. 1. – Pp. 88-95. – DOI 10.24287/1726-1708-2019-18-1-88-95. – EDN XLDFAY.
9. Gurina, E. R. Analysis of Lymphoma Localization in Dogs and Cats / E. R. Gurina // Effective and Safe Medications in Veterinary Medicine: Proceedings of the 6th International Congress, St. Petersburg, May 15–17, 2024. – St. Petersburg: LEMA Publishing House, 2024. – Pp. 34-35.
10. Davydkin, I. L. Malt-lymphoma of the stomach and Helicobacter-associated gastritis: morphological and immunohistochemical features / I. L. Davydkin, Yu. V. Kostalanova, S. V. Kozlov // New Technologies in Oncology: Collection of Materials of the Annual Scientific and Practical Conference, Samara, December 01, 2016. – Samara: LLC Aktsent, 2016. – P. 24-28. – EDN YMEBIP.
11. Verzhbitskaya N. E. Primary extranodal non-Hodgkin's lymphomas of rare localizations / N. E. Verzhbitskaya, S. V. Petrov, S. V. Chekryzhov // Archive of Pathology. – 2009. – Vol. 71, No. 2. – Pp. 27-29. – EDN KVZVJX.
12. Kudacheva, N. A. Clinical and Morphological Diagnostics of Lymphomas in Dogs / N. A. Kudacheva, T. Yu. Bespalova // International Research Journal. – 2017. – No. 9-2 (63). – Pp. 14-17. – DOI 10.23670/IRJ.2017.63.006. – EDN ZHAKBL.
13. Levashov A.S., Valiev T.T., Kovrigina A.M. [et al.]/ Modern possibilities of diagnosis and treatment of diffuse B-large cell lymphoma in children and adults (literature review) // Modern Oncology. – 2015. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 30-41. – EDN VBITCD.
14. Mikhailov, E. V. Pathomorphological diagnosis of lymphomas / E. V. Mikhailov // Theory and practice of innovative technologies in agriculture : proceedings of the national scientific and practical conference, Voronezh, March 01 – 28, 2023. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2023. – pp. 218-220. – EDN SPFYXI.

УДК:577.2:006
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.563

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТАГЕНОМНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

Прасолова О.В. – канд. ветеринар. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-8924-2273)

ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов»

*o.prasolova@vgnki.ru

***Ключевые слова*:** микробиом, стандартизация, валидация, секвенирование, генетика

Keywords: microbiome, standardization, validation, sequencing, genetics

Поступила: 20.08.2025 **Принята к публикации: 26.08.2025**
Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Термин микробиом охватывает совокупность всех генов, принадлежащих микроорганизмам (бактериям, вирусам, грибам), которые населяют определённую среду. Секвенирование участка гена 16S рРНК позволяет изучить таксономический состав микробиоты, выявляя бактерии и археи, в том числе сложно поддающиеся культивированию. Однако данный метод до сих пор не имеет стандартизированной процедуры. Множество доступных методологических вариантов усложняют воспроизведение результатов и, как правило, ограничивают сопоставимость результатов между независимыми исследованиями, использующими разные методики, измерительные и биоинформатические конвейеры. Интерпретация, обсуждение и визуализация результатов исследования микробиома животных представляют собой сложную задачу из-за отсутствия единых стандартных параметров и справочных данных для сбора и сравнения. Стандартизированные методологии при исследовании сообществ микроорганизмов необходимы для упрощения и сравнения результатов различных исследований. В данном анализе представлены основные причины расхождений в получаемых данных на всех этапах работ. К ним относятся отбор проб (место отбора проб, метод, транспортировка и хранение образца), извлечение материала нуклеиновой кислоты, выбор праймера 16S рРНК, амплификация, подготовка библиотеки, секвенирование и конвейер биоинформатического анализа. Проблемы, связанные с таксономическим и функциональным профилированием на основе метагеномных данных, включают в себя вопросы точности классификации в условиях систематических ошибок в базах данных, сложности прогнозирования функций и метаболических взаимодействий в различных микробных сообществах, а также отсутствие единого методологического подхода к проведению исследования. Преодоление этих препятствий потребует междисциплинарного сотрудничества, развития вычислительных инструментов и совершенствования аналитических методов.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Сложность культивирования большинства микроорганизмов, присутствующих в естественных или управляемых системах, вынуждает микробиологов использовать молекулярно-генетический подход, а именно ген 16S рРНК в качестве филогенетического маркера при изучении таксономического состава микроэкосистем [1]. Ген 16S рРНК, кодирует 30S субъединицу прокариотической рибосомы, имеет длину приблизительно 1600 нуклеотидов. Он высококонсервативен у всех видов бактерий и содержит девять гипервариабельных участков разной степени консервативности (V1–9). Последовательности генов 16S рРНК, полученные из микробиомов, обычно кластеризуются в таксономические единицы (OTU, operational taxonomic unit) на нескольких уровнях для определения видового богатства, разнообразия, состава и структуры сообщества. Более консервативные участки полезны для определения таксонов более высокого ранга, тогда как более быстро эволюционирующие участки помогают при идентификации рода или вида. Определение таксономии на основе ограниченного сегмента гена 16S рРНК, например, только области V4, может быть проблематичным. Во многих случаях классифицируемая последовательность практически идентична нескольким другим бактериальным последовательностям в референтной базе данных. Аналогично, при метагеномном анализе, когда извлекаются только части бактериального генома, классификация на таксономическом уровне будет зависеть от степени консервативности доступных последовательностей. Таким образом, определение таксономии видов, содержащих очень похожие последовательности, будет сложнее, и анализ будет накапливать большую долю прочтений на более высоких уровнях таксономического дерева. Для ~ 42% бактериальных родов будут пары последовательностей внутри рода, которые не могут быть достоверно разделены, потому что их последовательности генов 16S рРНК схожи более чем на 97% [2]. Использование для анализа, областей V3 и V4 совместно, является золотым стандартом для идентификации бактерий на уровне рода [1].

Интерпретация, обсуждение и визуализация результатов исследования микробиома животных представляют собой сложную задачу из-за отсутствия единых стандартных параметров и справочных данных для сбора и сравнения. Стандартизированные методологии при исследовании сообществ микроорганизмов необходимы для упрощения и сравнения результатов различных исследований [3].

Важной проблемой метагеномного исследования является валидация анализа с учетом используемой матрицы, который нельзя считать валидированным, пока он не будет практически использован большинством исследователей, что сделает возможным осуществление межлабораторной воспроизводимости результатов [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Нами проведен анализ методологического ландшафта для исследования бактериальных сообществ и влияния методологических решений на результаты метагеномного секвенирования в рамках опубликованных исследований из различных баз данных Elibrary, PubMed, NCBI, Elesiver, Web of Science.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

При попытках стандартизации исследований микробиомных сообществ было предпринято множество усилий, направленных на получение сопоставимых данных аналитических характеристик измерений с точки зрения чувствительности, специфичности, точности, воспроизводимости и т. д.

Однако, существует необходимость исследований для определения приоритетов и изучения источников изменчивости и смещения в экспериментальном рабочем процессе, а также потребность в стандартизированных материалах и методах для улучшения сопоставимости и охвата результатов измерений.

Одной из возможных причин расхож-

дений в получаемых данных является введение системных смещений из-за различий в дизайне исследования, включая методологии и аналитические рабочие процессы в разных исследованиях. Эти смещения начинаются с момента сбора образцов и продолжают вноситься на протяжении всего эксперимента, что приводит к наблюдаемому сообществу, которое значительно отличается от истинного основного микробного состава. Выявление того, как факторы в подходе к работе с образцами по-разному способствуют этим микробным смещениям между исследованиями, имеет важное значение и требует использования высокочувствительных методов метагеномного секвенирования в большой когорте при различных условиях. Тщательно разработанный дизайн эксперимента увеличивает потенциал получения высококачественных, воспроизводимых данных и гарантирует научную обоснованность полученных выводов. Для обеспечения статистической достоверности необходимо учитывать уровень выборки в эксперименте. [5]. Дизайн исследования должен быть согласован с конкретными исследовательскими целями, с учетом исследуемого материала (от человека, животных или окружающей среды), поскольку он напрямую влияет на валидность и интерпретируемость результатов. [6]. В исследованиях микробиома животных использование материала, с помощью неинвазивных методов (образцы фекалий, ректальные мазки), значительно упрощает процесс, однако, например, содержимое слепой кишки предоставляет возможность получения полного профиля микробного сообщества кишечника, но требует эвтаназии животного. Поскольку микробиомные сообщества представляют собой живые и метаболически активные микроорганизмы, образцы следует замораживать или инактивировать сразу после сбора, а затем хранить в стабильных условиях до выделения ДНК. Следует избегать колебаний температуры, воздействия кислорода и многократных циклов замораживания и размораживания поскольку они могут нарушить целостность ДНК и РНК, влияя на метагеномные профили микробных сообществ [7].

Золотым стандартом метода обработки образцов после стерильного сбора является быстрое замораживание в жидком азоте с последующим хранением при температуре –80°C. Однако это часто невозможно в полевых условиях, и предложены альтернативные варианты стабилизации и хранения образцов: консервирующие буферы, стабилизирующие агенты на основе этанола или гуанидинизотиоцианата, которые доступны в коммерческих наборах [8]. С целью обеспечения воспроизводимости результатов, рекомендуем указывать в метаданных исследования сведения об обработке и хранении образцов.

Из всех этапов подготовки образцов к исследованию способ выделения нуклеиновой кислоты может оказывать наибольшее влияние на вариабельность исследования из-за уникальных смещений в различных подходах к микробному лизису.Тип используемого метода извлечения ДНК зависит от типа платформы секвенирования, которая будет использоваться (короткое считывание или длинное считывание), а также от вида материала, однако проведенные сравнительные исследования многих ученых не смогли создать стандартизированную процедуру. Включение отрицательных контролей имеет решающее значение для выявления контаминации на этапах отбора проб и выделения ДНК, поскольку в противном случае это может привести к ошибочному фоновому выявлению микроорганизмов. Кроме того, следует включать положительные контроли (например, имитирующее сообщество бактерий, обработанное как отдельный образец) или внутренние стандарты (целые клетки или экзогенная ДНК, добавленные в матрицу образца) для выявления потенциальных смещений в концентрации образца, выделении ДНК и биоинформатическом анализе [6]**.** Имитационные референсные материалы сообщества представляют собой приготовленные в лаборатории смеси определенных

компонентов (обычно ДНК из индивидуально культивируемых бактерий; иногда смеси целых клеток) в указанных количествах. Таким образом, эти материалы полезны в качестве «истинных» для рабочих процессов анализа, позволяя количественно оценивать аналитические характеристики (например, точность, смещение, воспроизводимость и т. д.) [9]. Данные референсные материалы должны быть подробно изучены и задепонированы в государственные репозитории, с целью сохранения их свойств и стандартизации процедур с учетом межлабораторной воспроизводимости [10]. Получение материалов с целью дальнейшего использования в качестве референсных в микробиологических и молекулярно-генетических исследованиях осуществляется в рамках научно-исследовательских работ и как правило является результатом интеллектуальной собственности, оформленным в виде патента на изобретение.

После выделения ДНК процесс подготовки библиотеки преобразует выделенные образцы ДНК в маркированные библиотеки, готовые к секвенированию на выбранной платформе. Создание библиотеки коротких прочтений обычно включает четыре основных этапа: фрагментацию ДНК на более мелкие, случайные, перекрывающиеся фрагменты с использованием ультразвуковых или ферментативных методов; репарацию концов фрагментов; лигирование парных или одинарных адаптеров; и индексацию, которая позволяет объединять несколько образцов в одном цикле секвенирования, снижая материальные затраты на образец и увеличивая производительность за цикл. Индексированные библиотеки нормализуются и объединяются в эквимолярные концентрации перед секвенированием. Смещение стандартной процедуры на данном этапе зависит использования/неиспользования ПЦР [11].

С ростом разнообразия биоинформатических инструментов и параметров, определяющих использование каждого из них, может быть сложно определить, какой инструмент даст наиболее точное представление о составе образца. В условиях этой растущей проблемы использование контрольных материалов помогает исследователям в валидации и выборе процесса разработки. Эти материалы также могут быть использованы для оценки текущих и будущих версий программного обеспечения. Однако выбор наиболее подходящего контрольного материала сам по себе является на данный момент нерешенной задачей [12].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Существует множество технических этапов, необходимых для проведения экспериментов по секвенированию ампликона гена 16S рРНК, которые могут повлиять на результаты изучения бактериальных сообществ. К ним относятся отбор проб (место отбора проб, метод, транспортировка и хранение образца), извлечение материала нуклеиновой кислоты, выбор праймера 16S рРНК, амплификация, подготовка библиотеки, секвенирование и конвейер биоинформатического анализа. Проблемы, связанные с таксономическим и функциональным профилированием на основе метагеномных данных, включают в себя вопросы точности классификации в условиях систематических ошибок в базах данных, сложности прогнозирования функций и метаболических взаимодействий в различных микробных сообществах, а также отсутствие единого методологического подхода к проведению исследования. Преодоление этих препятствий потребует междисциплинарного сотрудничества, развития вычислительных инструментов и совершенствования аналитических методов.

INFLUENCE OF METHODOLOGICAL DECISIONS ON THE RESULTS OF METAGENOMIC SEQUENCING OF BACTERIAL COMMUNITIES

Prasolova O.V. – Candidate of Sciences (Veterinary medicine), Leading researcher of the Molecular Biology Department (orcid.org/0000-0001-8924-2273)

The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality

*o.prasolova@vgnki.ru

ABSTRACT

The term microbiome encompasses the totality of genes belonging to microorganisms (bacteria, viruses, fungi) that inhabit a particular environment. Sequencing a region of the 16S rRNA gene allows us to study the taxonomic composition of the microbiota, identifying bacteria and archaea, including those that are difficult to cultivate. However, this method still does not have a standardized procedure. The many available methodological options complicate the reproducibility of results and, as a rule, limit the comparability of results between independent studies using different methodologies, measurement and bioinformatics pipelines. Interpretation, discussion and visualization of animal microbiome research results are a complex task due to the lack of uniform standard parameters and reference data for collection and comparison. Standardized methodologies in the study of microorganism communities are needed to simplify and compare the results of different studies. This analysis presents the main reasons for discrepancies in the data obtained at all stages of the work. These include sampling (sampling location, method, sample transport and storage), nucleic acid extraction, 16S rRNA primer selection, amplification, library preparation, sequencing and bioinformatics pipeline. Challenges associated with metagenomic data-based taxonomic and functional profiling include issues of classification accuracy in the face of systematic database errors, difficulties in predicting functions and metabolic interactions in different microbial communities, and the lack of a unified methodological approach to conducting the study. Overcoming these obstacles will require interdisciplinary collaboration, development of computational tools and improvement of analytical methods.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. The effect of 16S rRNA region choice on bacterial community metabarcoding results. / Y. Bukin,
Y. Galachyants, I. Morozov [et al.] // Sci Data 6, 190007 (2019). https://doi.org/10.1038/sdata.2019.7.
2. Characterization of the gut microbiome using 16S or shotgun metagenomics / J. Jovel , J. Patterson, W. Wang // Frontiers in microbiology. – 2016. – №7– С.459.
3. Towards standards for human fecal sample processing in metagenomic studies / P.I. Costea, G. Zeller, S. Sunagawa [et al.] // Nature biotechnology. – 2017. – Т. 35. – №. 11. – С. 1069-1076.
4. Variation in the metagenomic analysis of fecal microbiome composition calls for a standardized operating approach / Z. Xu, Y.K. Yeoh, H.M. Tun [et al.] //Microbiology Spectrum. – 2024. – Т. 12. – №. 12. – С. e01516-24.
5. Determination of effect sizes for power analysis for microbiome studies using large microbiome databases / G. Rahman, D. McDonald, A. Gonzalez [et al.] // Genes. – 2023. – Т. 14. – №. 6. – С. 1239.
6. Analysis of metagenomic data / S. Liu, J.S. Rodriguez, V. Munteanu [et al.] //Nature Reviews Methods Primers. – 2025. – Т. 5. – №. 1. – С. 5. https://doi.org/10.1038/s43586-024-00376-6
7. Comparison of methods to collect fecal samples for microbiome studies using whole-genome shotgun metagenomic sequencing / D. A. Byrd, R. Sinha, K. L. Hoffman [et al.] // Msphere. – 2020. – Т. 5. – №. 1. – С. 10.1128/msphere. 00827-19, https://doi.org/10.1128/msphere.00827-19.
8. Reproducibility, stability, and accuracy of microbial profiles by fecal sample collection method in three distinct populations / D. A. Byrd, J. Chen, E. Vogtmann [et al.] // PLoS One. – 2019. – Т. 14. – №. 11. – С. e0224757.
9. Variability and bias in microbiome metagenomic sequencing: an interlaboratory study comparing experimental protocols / S. P. Forry, S. L.Servetas, J. G. Kralj [et al.] // Scientific reports. – 2024. – Т. 14. – №. 1. – С. 9785. https://doi.org/10.1038/s41598-024-57981-4.
10. Прасолова, О. В. Депонирование патогенных штаммов микроорганизмов как основа биобезопасности / О.В. Прасолова // Нормативно-правовое регулирование

в ветеринарии. — 2024. — № 3. — С. 39–43. — DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.3.39.
11. Library construction for next-generation sequencing: overviews and challenges / S. R. Head, H. K Komori,
S. A. LaMere [et al.] //Biotechniques. – 2014. – Т. 56. – №. 2. – С. 61-77.
12. Benchmarking short-read metagenomics tools for removing host contamination / Y. Gao, H. Luo, H. Lyu [et al.] // GigaScience. – 2025. – Т. 14. – С. giaf004.

REFERENCES

1. The effect of 16S rRNA region choice on bacterial community metabarcoding results. / Y. Bukin,
Y. Galachyants, I. Morozov [et al.] // Sci Data 6, 190007 (2019). https://doi.org/10.1038/sdata.2019.7.
2. Characterization of the gut microbiome using 16S or shotgun metagenomics / J. Jovel , J. Patterson, W. Wang // Frontiers in microbiology. – 2016. – №7– С.459.
3. Towards standards for human fecal sample processing in metagenomic studies / P.I. Costea, G. Zeller, S. Sunagawa [et al.] // Nature biotechnology. – 2017. – Т. 35. – №. 11. – С. 1069-1076.
4. Variation in the metagenomic analysis of fecal microbiome composition calls for a standardized operating approach / Z. Xu, Y.K. Yeoh, H.M. Tun [et al.] //Microbiology Spectrum. – 2024. – Т. 12. – №. 12. – С. e01516-24.
5. Determination of effect sizes for power analysis for microbiome studies using large microbiome databases / G. Rahman, D. McDonald, A. Gonzalez [et al.] // Genes. – 2023. – Т. 14. – №. 6. – С. 1239.
6. Analysis of metagenomic data / S. Liu, J.S. Rodriguez, V. Munteanu [et al.] //Nature Reviews Methods Primers. – 2025. – Т. 5. – №. 1. – С. 5. https://doi.org/10.1038/s43586-024-00376-6
7. .Comparison of methods to collect fecal samples for microbiome studies using whole -genome shotgun metagenomic sequencing / D. A. Byrd, R. Sinha, K. L. Hoffman [et al.] // Msphere. – 2020. – Т. 5. – №. 1. – С. 10.1128/msphere. 00827-19, https://doi.org/10.1128/msphere.00827-19.
8. Reproducibility, stability, and accuracy of microbial profiles by fecal sample collection method in three distinct populations / D. A. Byrd, J. Chen, E. Vogtmann [et al.] // PLoS One. – 2019. – Т. 14. – №. 11. – С. e0224757.
9. Variability and bias in microbiome metagenomic sequencing: an interlaboratory study comparing experimental protocols / S. P. Forry, S. L.Servetas, J. G. Kralj [et al.] // Scientific reports. – 2024. – Т. 14. – №. 1. – С. 9785. https://doi.org/10.1038/s41598-024-57981-4.
10. Prasolova, O. V., Deposit of pathogenic microbial strains as a basis for biosafety / O. V. Prasolova // Legal regulation in veterinary medicine. — 2024. — № 3. — P. 39–43. — DOI 10.52419/issn2782-6252.2024.3.39.
11. Library construction for next-generation sequencing: overviews and challenges / S. R. Head, H. K Komori,
S. A. LaMere [et al.] //Biotechniques. – 2014. – Т. 56. – №. 2. – С. 61-77.
12. Benchmarking short-read metagenomics tools for removing host contamination / Y. Gao, H. Luo, H. Lyu [et al.] // GigaScience. – 2025. – Т. 14. – С. giaf004.



Редакция журнала
«Международный вестник ветеринарии»
196084, Санкт-Петербург, Черниговская 5,
СПбГУВМ.
Телефон/факс (812) 387-11-58
Mail to: farm_vestnik@mail.ru