



ISSN 2413-4201

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

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

Издаются с 1883 г.

ТОМ 264 (4)



ISSN 2413-4201
DOI 10.31588/2413_4201_1883_4_264

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

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

**JOURNAL OF
RESEARCH AND
PRACTICE**

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

**Издаются
с 1883 г.**

**ТОМ 264
(4)**



Казань 2025



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

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ТОМ 264 (4) 2025 г.

Учредитель –
Казанский государственный аграрный
университет

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

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

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

Журнал включен
в Российский индекс научного
цитирования (РИНЦ).
Включен в Перечень ведущих
рецензируемых научных изданий ВАК
РФ, в которых должны быть
опубликованы основные результаты
диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук и
доктора наук по специальностям:
1.5.5. Физиология человека и
животных (биологические науки),
4.2.1. Патология животных,
морфология, физиология,
фармакология и токсикология
(биологические науки, ветеринарные
науки),
4.2.2. Санитария, гигиена, экология,
ветеринарно-санитарная экспертиза и
биобезопасность (биологические
науки, ветеринарные науки),
4.2.3. Инфекционные болезни
и иммунология животных
(биологические науки,
ветеринарные науки),
4.2.4. Частная зоотехния, кормление,
технологии приготовления кормов
и производства продукции
животноводств (сельскохозяйственные
науки)
4.2.5. Разведение, селекция, генетика
и биотехнология животных
(сельскохозяйственные науки,
биологические науки).

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

16*

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Члены редакционного совета:

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

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

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

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

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

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

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



SCIENTIFIC NOTES KAZAN BAUMAN ACADEMY OF VETERINARY MEDICINE

JOURNAL OF RESEARCH AND PRACTICE
VOLUME 264 (4) 2025

Founder -

Kazan State Agrarian University

Publisher and editorial address:

420015, Republic of Tatarstan,

Kazan, K. Marks st., 65

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

website: www.vetzapiski.ru

e-mail: uch.zap1883@mail.ru

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

Registered by

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

registration certificate:

PI No. FS77 - 89643

June 3, 2025

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

1.5.5. Human and animal physiology (biological sciences)

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

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

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

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

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

Published

4 times a year

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

Chief Editor:

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

Deputies of Chief Editor:

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

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

Members of the Editorial Committee:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Члены редакционного совета:

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ

	стр.
Антоневский И. В., Плешакова В. И., Лещёва Н. А. Модификация метода количественной оценки биопленкообразующей способности микроорганизмов с использованием сафранина	6
Гарская Н. А., Ткачёв А. В., Тресницкий С. Н. Некоторые особенности показателей белкового обмена свиноматок как проявление различных вариантов вводного скрещивания	14
Горшунова С. В., Козлов Е. С. Исследование возможности снятия отравлений тяжелыми металлами наночастицами селена	24
Древко Я. Б., Ларионова О. С., Шелковая А. А., Ларионов С. В. Наночастицы селена стабилизированные ТВИН-80 для восполнения дефицита селена в организме животных	30
Калашников А. Е., Букаров Н. Г., Гостева Е. Р., Ахметов Т. М. Применение биохимических маркеров для ранней диагностики и предупреждения смещения сычуга у молочных коров	36
Круть У. А., Кошаев И. А., Шайдорова Г. М., Потапова М. С., Олейникова И. И. Влияние схемы применения <i>Bacillus subtilis</i> и энрофлоксацина на биохимический профиль цыплят-бройлеров	44
Кузнецова Ю. А., Ахунова А. Р., Галеева А. Г., Хаертынов К. С., Ефимова М. А. Иммуноферментная тест-система для межоперационного контроля специфичности рекомбинантного капсидного белка цирковируса свиней 2-го типа	50
Кучеров А. А., Пудовкин Н. А., Смутнев П. В. Влияние дегидратации и солевого рациона на динамику осморегуляторных гормонов у уток	57
Новик Я. В., Долгоруков Е. Е. Влияние пробиотических препаратов на показатель минерального обмена гусей	65
Плотникова Э. М., Ишмухаметов К. Т., Шакуров М. М., Мухаметшин И. Р., Гайнутдинов Т. Р. Отбор высокоиммуногенных штаммов ротавируса свиней, выделенных из тканей пораженных животных	71
Терентьева Н. Ю., Кавадина Е. В., Ермолаев В. А., Иванова С. Н. Сравнительная эффективность двух схем лечения посткоитального эндометрита у кобыл американской рысистой породы	77
Трофимова Е. Н., Гараев А. Р., Никитин И. Н. Роль испытательного центра Республиканской ветеринарной лаборатории в обеспечении биологической безопасности животноводства	84

ЗООТЕХНИЯ

Закирова А. В., Ткачев А. В., Нотина Е. А., Быкова И. А., Ткачева О. Л. Физиологические особенности роста и развития поросят разных генотипов по генам FUT1 и MUC4	90
Зарубежнова Д. В., Шайдуллин Р. Р., Тюлькин С. В., Зиннатов Ф. Ф., Власов А. В. Состав молока коров джерсейской породы с разным генотипом локусов генов соматотропинового каскада	96
Феткуллова Г. И. Генетическая структура лошадей татарской и якутской пород по полиморфным белкам крови	102
Чевтаева Н. Д. Изучение ассоциаций полиморфизма гена <i>KCNB1</i> с молочной продуктивностью и качеством молока при включении в рацион дрожжевой добавки «КЛЮВЕР ПРО»	108

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

	Pages
Antonevskiy I. V., Pleshakova V. I., Leshcheva N. A. Modification of a method for quantitative assessment of biofilm-forming capacity of microorganisms using safranin.....	6
Garskaya N. A., Tkachev A. V., Tresnitskiy S. N. Some features of protein metabolism indicators of sows as a manifestation of various crossing options.....	14
Gorshunova S. V., Kozlov E. S. Investigation of possibility of removing heavy metal poisoning using selenium nanoparticles.....	24
Drevko Ya. B., Larionova O. S., Shelkovaya A. A., Larionov S. V. TVIN-80 stabilized selenium nanoparticles for replenishing selenium deficiency in animals.....	30
Kalashnikov A. E., Bukarov N. G., Gosteva E. R., Akhmetov T. M. Application of biochemical markers for early diagnosis and prevention of abomasal displacement in dairy cows.....	36
Krut U. A., Koshchaev I. A., Shaydorova G. M., Potapova M. S., Oleynikova I. I. Impact of <i>Bacillus subtilis</i> and enrofloxacin application scheme on biochemical profile of broiler chickens.....	44
Kuznetsova Yu. A., Akhunova A. R., Galeeva A. G., Khaertynov K. S., Efimova M. A. Enzyme immunoassay test system for interoperative control of the specificity of recombinant capsid protein of porcine circovirus type 2.....	50
Kuchеров A. A., Pudovkin N. A., Smutnev P. V. Effect of dehydration and salt diet on dynamics of osmoregulatory hormones of ducks.....	57
Novik Ya. V., Dolgoruk E. E. Effect of probiotic preparations on mineral metabolism indicators of geese....	65
Plotnikova E. M., Ishmukhametov K. T., Shakurov M. M., Mukhametshin I. R., Gaynutdinov T. R. Selection of highly immunogenic porcine rotavirus strains isolated from tissues of affected animals.....	71
Terenteva N. Yu., Kavadina E. V., Ermolaev V. A., Ivanova S. N. Comparative effectiveness of two treatment schemes for postcoital endometritis in American Trotter mares.....	77
Trofimova E. N., Garaev A. R., Nikitin I. N. Role of testing center of the Republican Veterinary Laboratory in ensuring biological safety in livestock.....	84

ZOOTECHNICS

Zakirova A. V., Tkachev A. V., Notina E. A., Bykova I. A., Tkacheva O. L. Physiological characteristics of growth and development of piglets of different genotypes for FUT1 and MUC4 genes.....	90
Zarubezhnova D. V., Shaydullin R. R., Tyulkin S. V., Zinnatov F. F., Vlasov A. V. Milk composition of Jersey cows with different genotypes of somatotropin cascade gene loci.....	96
Fetkullova G. I. Genetic structure of Tatar and Yakut horse breeds based on blood polymorphic proteins.....	102
Chevtayeva N. D. Study of associations of <i>KCNB1</i> gene polymorphism with milk productivity and milk quality with the including “KLYUVER PRO” yeast additive in the diet.....	108

**МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
БИОПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САФРАНИНА****И. В. Антонецкий, В. И. Плешакова, Н. А. Лещёва**

Реферат. Биопленки представляют собой организованные сообщества микроорганизмов. Существование в такой форме опосредует их повышенную устойчивость к антибиотикам, дезинфектантам, иммунной системе. Стандартный метод количественной оценки способности бактерий продуцировать биопленку, включающий определение оптической плотности биомассы в микротитровальном планшете, основан на окрашивании биопленки кристаллическим фиолетовым. Использование данного красителя имеет ряд ограничений, среди которых вариабельность экстракции и требования к технике безопасности. Цель исследования – модифицировать методику оценки биопленкообразующей способности микроорганизмов путем применения сафранина в качестве альтернативного индикаторного красителя и провести сравнительный анализ результатов с классическим методом. Исследование выполнено на клинических изолятах *Escherichia coli* (n=5) и *Staphylococcus aureus* (n=5), а также эталонных контрольных штаммах. Определение способности культур к биопленкообразованию проводили количественным методом определения этого показателя в микротитровальных планшетах. В рамках методики осуществляли параллельное сравнение получаемых показателей с использованием сафранина и классическим методом окрашивания кристаллическим фиолетовым, для этого каждый эксперимент выполняли в парных независимых планшетах. Окрашивание сафранином обеспечивало систематически более высокие значения оптической плотности (средний прирост составил 0,09; 10,2%), что было статистически значимо ($t=5,16$; $p=0,00059$). Между методами выявлена высокая положительная корреляция ($r=0,96$; $p<0,001$). В 90% случаев классификация степени адгезии оставалась согласованной, при этом сафранин продемонстрировал лучшую воспроизводимость для большинства штаммов. Полученные результаты подтверждают перспективность сафранина как альтернативного красителя для количественной оценки биопленок. Модифицированный метод может быть внедрен в рутинные лабораторные исследования после валидации и стандартизации, а также использоваться в скрининге антимикробных и антибиопленочных препаратов.

Ключевые слова: биопленки, бактерии, микропланшетные анализы, красители, сафранин, кристаллический фиолетовый, спектрофотометрия.

Для цитирования: Антонецкий И.В., Плешакова В.И., Лещёва Н.А. Модификация метода количественной оценки биопленкообразующей способности микроорганизмов с использованием сафранина // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 6-13. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_6.

Введение. Биопленки представляют собой сложные сообщества микроорганизмов, погруженных в внеклеточный матрикс, состоящий из полисахаридов, белков, липидов и внеклеточной ДНК [1]. Такая форма организации обеспечивает микроорганизмам не только физическую адгезию к поверхностям, но и существенное функциональное преимущество, обуславливая повышенную устойчивость к антимикробным агентам, иммунному ответу организма-хозяина и неблагоприятным физико-химическим условиям окружающей среды [2, 3, 4]. В ветеринарной медицине роль биопленок особенно значима, поскольку они формируются как на слизистых покровах и эпителии пищеварительного и дыхательного трактов животных, так и на поверхностях ветеринарных инструментов и технологических устройств (катетеров, имплантатов, доильного оборудования), в поильных и кормовых системах, а также на коже и шерсти животных [5, 6, 7]. С точки зрения эпизоотологии и клинической ветеринарной практики, способность микроорганизмов образовывать биопленки усложняет лечение больных животных и профилактику бактериальных инфекций, снижает эффективность санитарно-профилактических мероприятий и усложняет контроль качества

продукции животного происхождения [8, 9].

Учитывая клиническую и прикладную значимость биопленок микроорганизмов, критически важно иметь валидные, чувствительные и воспроизводимые лабораторные методы их количественной оценки. Метод моделирования образования биопленок в микротитровальных планшетах с окрашиванием биопленки кристаллическим фиолетовым, предложенный Christensen et al. (1985), остается широко используемым стандартом благодаря простоте и относительной низкой стоимости, однако на практике он демонстрирует ряд ограничений, которые снижают информативность и воспроизводимость метода [10]. Например, это связано с вариабельностью процесса экстракции красителя и связанные с этим колебания оптических показателей, трудности интерпретации результатов при наличии слабопродуцирующих штаммов, а также повышенные требования к технике безопасности при работе с реагентом. В таких условиях поиск альтернативных индикаторных красителей имеет как теоретическое, так и практическое оправдание, поскольку изменение химии взаимодействия красителя с компонентами внеклеточного матрикса может привести к повышению контрастности, устойчивости окрашивания и

уменьшению вариабельности измерений.

Сафранин как катионный краситель демонстрирует основания для такой замены: его способность связываться с полисахаридами и белками матрикса потенциально обеспечивает более однородное и устойчивое окрашивание биопленок, что может повысить чувствительность метода при выявлении тонких и слабоокрашенных слоев биопленки [11, 12]. Практическая значимость выражается в возможности внедрения модифицированного протокола в рутинные лабораторные и научные исследования: более воспроизводимый и чувствительный метод позволит точнее оценивать эффект антимикробных препаратов, тестировать биопленкоразрушающие соединения и улучшить скрининг штаммов по биопленкообразующей способности.

Цель исследования - совершенствование метода количественного анализа биопленкообразующей способности микроорганизмов путем замены кристаллического фиолетового на сафранин в качестве красителя.

Условия, материалы и методы. Исследования выполняли на базах кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ Омского ГАУ, бактериологического отдела БУ «Омская областная ветеринарная лаборатория» с использованием клинических изолятов микроорганизмов, выделенных от животных. В качестве эталонных контролей применяли культуры *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* с заведомо известной биопленкообразующей способностью.

Для культивирования использовали стерильные полистироловые микротитровальные 96-луночные планшеты с плоским дном. В качестве питательной среды применяли мясопептонный бульон (МПБ). Для стафилококков в среду добавляли 1% глюкозы для стимулирования образования внеклеточного полисахаридного матрикса. Суточные культуры микроорганизмов готовили инокуляцией единичной петли культуры в 5 мл соответствующей среды с последующей инкубацией при 37 °С в течение 24 ч. Перед постановкой опыта плотность суспензии стандартизовали до 0,5 по шкале МакФарланда ($1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл) с последующим разведением 1:32 в свежей питательной среде. В рамках методики было предусмотрено не только применение

сафранина в качестве альтернативного индикаторного красителя, но и параллельное сравнение получаемых показателей с классическим методом окрашивания кристаллическим фиолетовым для валидации предлагаемой модификации. Для этого каждый эксперимент выполняли в парных независимых планшетах. Из одной и той же культуры микроорганизмов готовили единый стандартный рабочий инокулят (после разведения 1:32), который равномерно распределяли по двум идентичным микропланшетам. Во всех параллельных сериях соблюдали идентичные условия инкубации, промывок и сушки.

В лунки микропланшета вносили 200 мкл подготовленной рабочей суспензии. Для каждого штамма использовали по три технических повторов в одном планшете, каждый эксперимент повторяли трижды в разные дни для получения независимых релевантных результатов. В качестве отрицательных контролей использовали лунки с чистой питательной средой (без бактериального инокулята), а в качестве внутреннего положительного контроля дополнительно инокулировали культуру с заведомо известной выраженной степенью биопленкообразования. Инкубацию планшетов проводили статически при 37 °С в течение 24 ч. По окончании инкубации содержимое лунок аккуратно удаляли, лунки промывали трижды по 200 мкл стерильным фосфатно-буферным раствором (рН 7,2), после чего планшеты высушивали при комнатной температуре в течение 40-60 мин. Для окрашивания использовали рабочий раствор красителя (сафранина/кристаллического фиолетового в концентрации 0,1%) и в каждую лунку вносили по 200 мкл раствора, выдерживали 15 мин при комнатной температуре. Затем краситель удаляли, лунки промывали трижды фосфатно-солевым буфером и снова высушивали при комнатной температуре до полного высыхания. Для количественного считывания окрашенную биомассу экстрагировали растворителем: в каждую лунку вносили 200 мкл 95% этилового спирта и выдерживали 15 мин с периодическим встряхиванием для полного растворения связанного красителя. Затем 200 мкл экстракта переносили в чистый 96-луночный планшет для измерения оптической плотности (ОП) окрашенной биомассы (рис. 1).

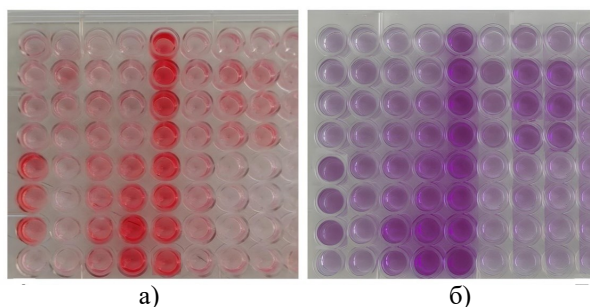


Рисунок 1 – Определение биопленкообразующей способности микроорганизмов в парных планшетах: а) окраска сафранином; б) окраска кристаллическим фиолетовым

Оптическую плотность измеряли на планшетном фотометре ELx 808 («BioTek Instruments Inc.», США) при длине волны 490 нм. Дополнительно оценивали критические диагностические характеристики модифицированного метода: чувствительность и специфичность по отношению к эталонной классификации биопленкообразования (на основе положительных контрольных штаммов), а также согласованность категориальной классификации исследуемых штаммов по степеням адгезии,

предложенным S. Stepanović et al. (2000) [13]. Степень биопленкообразования определяли путем сравнения среднего значения оптической плотности тестовых лунок с контрольными значениями (отрицательный контроль и фон) и последующей классификации на категории. Пороговые значения были установлены отдельно для каждого красителя из-за систематического различия в абсолютных значениях ОП (табл. 1).

Таблица 1 – Критерии классификации степени адгезии исследуемых культур

Степень адгезии	Кристаллический фиолетовый (ОП)	Сафранин (ОП)
Отсутствует	$\leq 0,07$	$\leq 0,09$
Слабая	$0,07 < ОП \leq 0,25$	$0,09 < ОП \leq 0,30$
Средняя	$0,25 < ОП \leq 0,50$	$0,30 < ОП \leq 0,60$
Выраженная	$> 0,50$	$> 0,60$

Примечание: «ОП» – оптическая плотность

Сравнение величин оптической плотности, полученных при окрашивании сафранином и кристаллическим фиолетовым, выполняли с использованием парного t-критерия Стьюдента, так как обе серии измерений относились к одним и тем же штаммам, исследованным в одинаковых условиях. Для каждой пары значений рассчитывали разницу $\Delta ОП$, после чего определяли среднее значение разницы и стандартное отклонение.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнялась в Microsoft Office Excel и STATISTICA v.12.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования была проведена сравнительная оценка биопленкообразующей способности 10 клинических изолятов (5 культур *Escherichia coli* и 5 культур *Staphylococcus aureus*) и контрольных штаммов с использованием двух красителей: кристаллического фиолетового и сафранина (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнительная оценка оптической плотности и степени адгезии культур *E. coli* и *S. aureus* при окрашивании кристаллическим фиолетовым и сафранином

№	Культура	Краситель, ОП±SD			
		Кристаллический фиолетовый	Степень адгезии	Сафранин	Степень адгезии
1	<i>E. coli</i>	0,55±0,06	Выраженная	0,62±0,07	Выраженная
2	<i>E. coli</i>	0,32±0,10	Средняя	0,37±0,09	Средняя
3	<i>E. coli</i>	0,95±0,12	Выраженная	1,05±0,10	Выраженная
4	<i>E. coli</i>	0,48±0,05	Средняя	0,55±0,04	Средняя
5	<i>E. coli</i>	0,30±0,04	Средняя	0,41±0,04	Средняя
6	<i>S. aureus</i>	0,18±0,03	Слабая	0,26±0,02	Слабая
7	<i>S. aureus</i>	0,42±0,06	Средняя	0,50±0,05	Средняя
8	<i>S. aureus</i>	0,12±0,02	Слабая	0,18±0,02	Слабая
9	<i>S. aureus</i>	0,45±0,07	Средняя	0,70±0,04	Выраженная
10	<i>S. aureus</i>	0,08±0,02	Слабая	0,15±0,02	Слабая
11	Контроль + (<i>S. aureus</i>)	1,35±0,11	Выраженная	1,40±0,09	Выраженная
12	Контроль – (<i>S. aureus</i>)	0,04±0,06	—	0,06±0,03	—
13	Контроль + (<i>E. coli</i>)	0,78±0,11	Выраженная	0,81±0,07	Выраженная
14	Контроль – (<i>E. coli</i>)	0,03±0,02	—	0,04±0,01	—
15	Фон	0,02±0,01	—	0,02±0,01	—

Примечание: «ОП» – оптическая плотность; «SD» – стандартное отклонение; «Контроль +» – биопленкообразующий штамм; «Контроль –» – небактериообразующий штамм; «—» – не наблюдали.

В ходе проведенных измерений ОП выявили систематическое превышение значений при использовании сафранина по сравнению с

кристаллическим фиолетовым, которое наблюдали для всех тестовых штаммов. Средняя разница $\Delta ОП$ составила $0,08 \pm 0,03$,

с диапазоном от 0,02 до 0,25. Наибольшее различие зафиксировано для изолята *S. aureus* №9 ($\Delta\text{ОП}=0,25$).

Применение специфичных пороговых значений для каждого красителя обеспечило согласованную классификацию степени адгезии для 90% изолятов. Единственное расхождение отмечено для штамма *S. aureus* №9, который классифицировали по этому показателю как «средний» при окрашивании кристаллическим фиолетовым ($\text{ОП}=0,45$) и отметили степень биопленкообразования как «выраженную» при использовании сафранина ($\text{ОП}=0,70$).

Анализ воспроизводимости метода показал, что для 7 из 10 тестовых штаммов (70%)

стандартное отклонение (SD) при окрашивании сафранином было ниже или равно SD, полученному с кристаллическим фиолетовым.

Контрольные образцы продемонстрировали корректную работу метода. Положительные контроли (заведомо известные биопленкообразующие штаммы) показали высокие значения ОП и их степень адгезии была классифицирована как «выраженная», а отрицательные контроли (заведомо известные небактериальные штаммы) показали значения ОП близкие к фоновым. Фоновые значения ОП для обоих красителей оставались стабильно низкими и составили $0,02\pm 0,01$ (рис. 2).

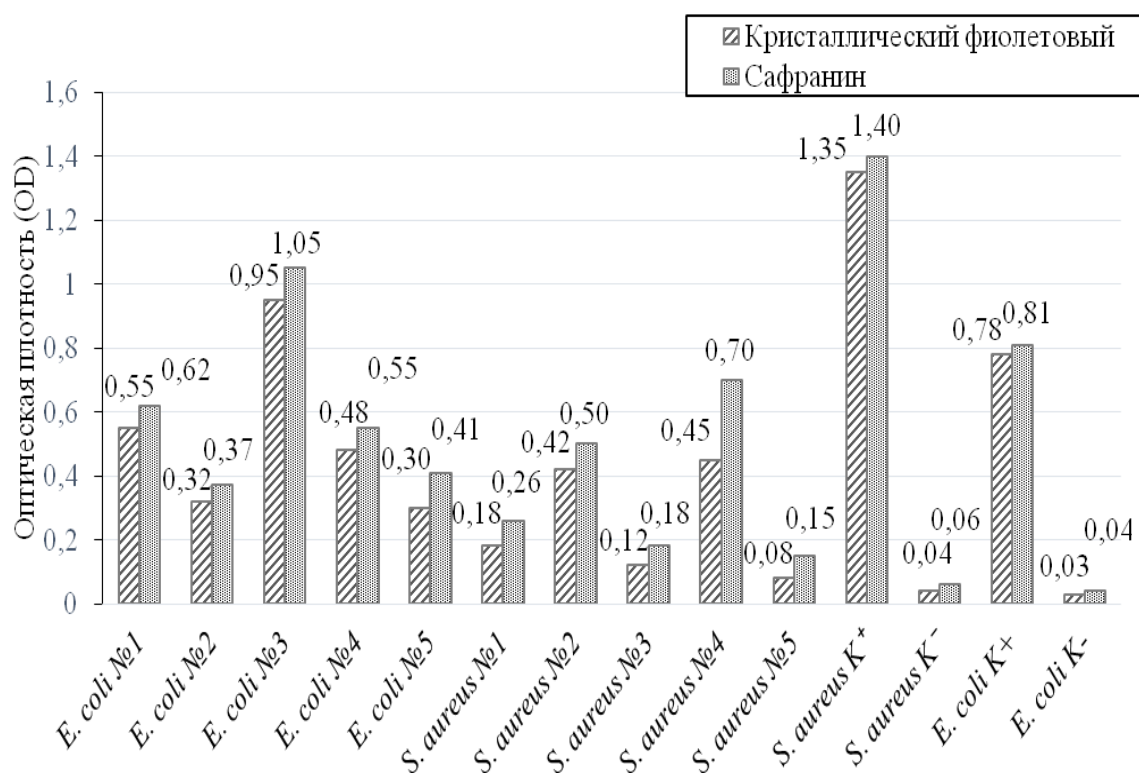


Рисунок 2 – Сравнительная оценка средней ОП культур *E. coli* и *S. aureus*, полученная с использованием кристаллического фиолетового и сафранина

Сравнительный парный анализ средних значений оптической плотности для тестовых культур показал статистически значимое превышение сигналов при использовании сафранина по сравнению с кристаллическим фиолетовым ($t=5,16$; $p=0,00059$). Средний прирост ОП составил $0,094\pm 0,058$ (10,2%). Этот эффект наблюдался для всех исследованных штаммов, причем наибольшая разница между методами отмечена для *Staphylococcus aureus* №9 ($\Delta\text{ОП}=0,25$). Полученные данные подтверждают, что модифицированный метод не только воспроизводит результаты классической вариации, но и в ряде случаев обеспечивает более высокий уровень детекции биопленкообразования.

Для оценки согласованности количественных данных, полученных с использованием сафранина и кристаллического фиолетового в

качестве индикаторных красителей, была определена их корреляция. Анализ основывался на средних значениях ОП, рассчитанных для каждого исследуемого штамма по результатам трех независимых экспериментов.

На рисунке 3 представлена корреляция между значениями оптической плотности, полученными при использовании кристаллического фиолетового и сафранина. Статистический анализ выявил сильную положительную корреляцию между методами (коэффициент корреляции Пирсона $r=0,96$; $p<0,001$). Систематическое смещение точек выше линии тождества демонстрирует повышенную чувствительность метода с сафранином, особенно выраженную для образцов со слабой и средней биопленкообразующей способностью (значения $\text{ОП}<0,5$).

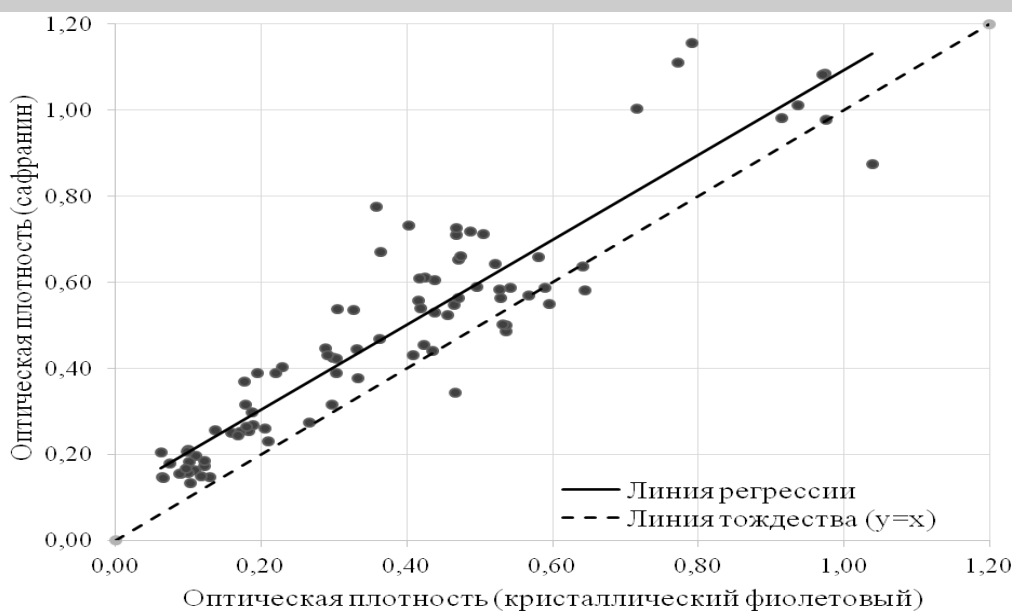


Рисунок 3 – Корреляция значений оптической плотности при окрашивании биопленок кристаллическим фиолетовым и сафранином

Важно отметить, что распределение точек демонстрирует большую вариабельность измерений для штаммов со средней биопленкообразующей способностью (значения ОП 0,2-0,5), что может быть связано с гетерогенностью структуры биопленки. При этом для штаммов с выраженной биопленкообразующей способностью (ОП>0,5) наблюдается более тесная группировка точек, что свидетельствует о лучшей воспроизводимости метода при оценке плотных биопленок.

В эксперименте продемонстрировано, что использование сафранина в модифицированном методе количественной оценки биопленкообразующей способности в микротитровальных планшетах дает систематически более высокие значения оптической плотности (ОП) по сравнению с классическим окрашиванием кристаллическим фиолетовым при длине волны 490 нм. Средний прирост ОП при переходе на сафранин составил 0,09 (10,2%) и был статистически значим ($t=5,16$; $p=0,00059$). При этом между значениями, полученными двумя методами, выявлена очень высокая положительная корреляция (коэффициент Пирсона $r=0,96$; $p<0,001$).

Полученные результаты позволяют выделить несколько ключевых наблюдений. Во-первых, повышение уровня сигнала при окрашивании сафранином носит систематический характер и отмечалось для всех изученных штаммов (диапазон ΔОП составил от 0,02 до 0,25), что указывает на отличия в физико-химическом взаимодействии красителя с компонентами внеклеточного матрикса биопленки. В качестве возможного объяснения можно предположить более выраженное сродство сафранина к полисахаридам и белковым компонентам матрикса, его лучшую проницаемость в тонкие слои биопленки. Во-вторых, применение отдельных пороговых значений

для каждого красителя позволило достичь согласованной классификации степени адгезии для 90% изолятов; единственным расхождением стала культура *S. aureus* №9, уровень адгезии которой классифицирован как «средний» при окрашивании кристаллическим фиолетовым и как «выраженный» при использовании сафранина. Этот пример иллюстрирует, что сафранин может повысить чувствительность метода и способен выявлять слабые или близкие к пограничным биопленкообразующие штаммы, не входящие в пределы обнаружения при классическом методе окрашивания.

Анализ воспроизводимости показал преимущество сафранина у большинства штаммов, поскольку для 70% тестовых штаммов стандартное отклонение при окрашивании сафранином было ниже или равно таковому при сравнении двух красителей. Это указывает на потенциально лучшую стабильность сигнала при использовании сафранина, что важно при проведении сравнительных серийных измерений.

Полученные результаты сопоставимы с рядом работ, в которых сафранин рассматривается в качестве альтернативы кристаллическому фиолетовому в контексте изучения биопленок микроорганизмов. В работе P. Ommen et al. (2017) авторы показывают, что сафранин дает сопоставимые с кристаллическим фиолетовым результаты, при этом отмечается более высокая воспроизводимость измерений при его использовании [14].

Наше наблюдение о том, что сафранин дает более высокие значения ОП (определяя повышающую чувствительность для слабых продуцентов биопленки), также подтверждается в экспериментальных исследованиях других авторов. Например, в исследовании X. Wu et al., (2014) авторы также отмечают, что

окрашивание сафранином в ряде условий оказывалось более чувствительным, чем использование кристаллического фиолетового [15].

Ряд обзорных публикаций подчеркивает, что использование кристаллического фиолетового остается «золотым стандартом» для количественного определения биопленки, но одновременно указывает на ограничения этого метода (токсичность, вариабельность экстракции, чувствительность к протоколу промывки и экстракции), что делает оправданным поиск альтернатив и сравнение методов [15, 16].

Систематическое получение более высоких показателей ОП при окрашивании биопленок сафранином может быть обусловлено несколькими причинами: более выраженным родством сафранина к компонентам внеклеточного матрикса, отличиями в проницаемости красителей в тонкие слои биопленки или различиями в эффективности экстракции красителя 95% этанолом. Эти факторы обсуждаются в литературе как возможные источники различий изучаемых методик [16, 17].

Выводы. Модифицированный микротитровальный тест с использованием сафранина показал воспроизводимые результаты классического метода с кристаллическим фиолетовым и при этом стабильно более высокие значения оптической плотности (средний прирост составил 0,09; 10,2%), что явилось статистически значимо ($t=5,16$; $p=0,00059$). Между

показателями двух методов выявлена высокая положительная корреляция (коэффициент Пирсона $r=0,96$; $p<0,001$), а для 90% исследованных изолятов категорическая оценка степени адгезии оставалась согласованной. Для 70% штаммов при окрашивании сафранином наблюдалась равная или меньшая вариабельность полученных значений, что указывает на потенциально лучшую воспроизводимость метода.

Для широкого практического внедрения предлагаемой модификации необходима дальнейшая валидация, включающая расширение исследуемых видов микроорганизмов, оптимизацию параметров протокола (концентрации сафранина, времени окрашивания, выбора растворителя для экстракции) и установление стандартизированных пороговых значений.

Использование сафранина показало себя как перспективная и практично применимая альтернатива для количественной оценки биопленкообразования. Его использование обеспечивает сопоставимую с кристаллическим фиолетовым классификацию штаммов, повышенную чувствительность в отдельных случаях и хорошую воспроизводимость, что делает его инструментом для скрининга биопленкообразующих штаммов и оценки эффективности антибиопленочных средств.

Литература

1. Хрянин А. А. Биоплёнки микроорганизмов: современные представления // Антибиотики и химиотерапия. 2020. Т. 65. № 5–6. С. 70–77. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2020-65-5-6-70-77>.
2. Ильина Т. С., Романова Ю. М. Бактериальные биопленки: роль в хронических инфекционных процессах и поиск средств борьбы с ними // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2021. Т. 39. № 2. С. 14–24. <https://doi.org/10.17116/molgen20213902114>.
3. Иммуитет и бактериальные биопленки: современное состояние вопроса (обзор литературы) / Ф. В. Плотников, С. В. Гурьянов, А. К. Гулевский [и др.] // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2021. Т. 20. № 3. С. 7–15. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.3.7>.
4. Zhao A., Sun J., Liu Y. Understanding bacterial biofilms: From definition to treatment strategies // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2023. Vol. 13. P. 1137947. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1137947>.
5. Антоновский И. В., Плешакова В. И., Лещёва Н. А. Биопленкообразующая микрофлора в структуре микроорганизмов, выделенных от сельскохозяйственных и домашних животных // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2025. Т. 261. № 1. С. 16–24. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_261_16.
6. Nesse L. L., Osland A. M., Vestby L. K. The role of biofilms in the pathogenesis of animal bacterial infections // Microorganisms. 2023. Vol. 11. No. 3. P. 608. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030608>.
7. Индикация биопленок микроорганизмов при болезнях органов пищеварения ягнят / Е. М. Ленченко, В. И. Кузнецов, Е. А. Кондрашова [и др.] // Ветеринария сегодня. 2021. Т. 1. № 1. С. 59–67. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2021-1-36-59-67>.
8. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial biofilms / E. Butucel, A. Criste, M. Dumitru [et al.] // Agriculture. 2022. Vol. 12. No. 8. P. 1251. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>.
9. Хапцев З. Ю., Спирихина Т. В., Анисимова М. С. Перспективы использования природных метаболитов для повышения эффективности противомикробных лекарственных препаратов // Зыкинские чтения. 2021. С. 264–268. EDN WCIWSO.
10. Adherence of coagulase-negative staphylococci to plastic tissue culture plates: a quantitative model for the adherence of staphylococci to medical devices / G. D. Christensen, W. A. Simpson, J. J. Younger [et al.] // Journal of Clinical Microbiology. 1985. Vol. 22. No. 6. P. 996–1006. <https://doi.org/10.1128/jcm.22.6.996-1006.1985>.
11. Upadhyay A., Pal D., Kumar A. Development of the dynamic approach for detection of Salmonella Typhi biofilm via optimizations of interaction with safranin dye // Biologia. 2024. Vol. 79. No. 7. P. 2299–2309. <https://doi.org/10.1007/s11756-024-01716-3>.
12. Combined staining techniques for demonstration of Staphylococcus aureus biofilm in routine histopathology / L. K. Jensen, A. S. Johansen, T. Bjarnsholt [et al.] // Journal of Bone and Joint Infection. 2018. Vol. 3. No. 1. P. 27–36. <https://doi.org/10.7150/jbji.22799>.
13. A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation / S. Stepanović, D. Vuković, V. Hola [et al.] // Journal of Microbiological Methods. 2000. Vol. 40. No. 2. P. 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6).

14. Ommen P., Zobek N., Meyer R. L. Quantification of biofilm biomass by staining: Non-toxic safranin can replace the popular crystal violet // *Journal of Microbiological Methods*. 2017. Vol. 141. P. 87–89. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2017.08.003>.

15. Wu X., Santos R. R., Fink-Gremmels J. Staphylococcus epidermidis biofilm quantification: Effect of different solvents and dyes // *Journal of Microbiological Methods*. 2014. Vol. 101. P. 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2014.03.016>.

16. Critical assessment of methods to quantify biofilm growth and evaluate antibiofilm activity of host defence peptides / E. F. Haney, M. J. Trimble, J. T. Cheng [et al.] // *Biomolecules*. 2018. Vol. 8. No. 2. P. 29. <https://doi.org/10.3390/biom8020029>.

17. Kim H., Aquino M., Izadjoo M. Development and assessment of a high-throughput biofilm and biomass testing platform // *Journal of Wound Care*. 2021. Vol. 30. Suppl. 7. P. S36–S46. <https://doi.org/10.12968/jowc.2021.30.Sup7.S36>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-20048 от 17.04.2025 г.

Сведения об авторах:

Антоневский Игорь Викторович – ассистент кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ, e-mail: iv.antonevskiy@omgau.org, <https://orcid.org/0009-0003-9337-2056>

Плешакова Валентина Ивановна* – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ, e-mail: vi.pleshakova@omgau.org, <https://orcid.org/0000-0001-7896-2339>

Лещёва Надежда Алексеевна – кандидат ветеринарных наук, заведующий кафедрой ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ, e-mail: na.lesheva@omgau.org, <https://orcid.org/0000-0001-6334-0422>

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия

MODIFICATION OF A METHOD FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF BIOFILM-FORMING CAPACITY OF MICROORGANISMS USING SAFRANIN

I. V. Antonevskiy, V. I. Pleshakova, N. A. Leshcheva

Abstract. Biofilms are organized communities of microorganisms. Their existence in this form mediates their increased resistance to antibiotics, disinfectants and immune system. The standard method for quantitatively assessing the ability of bacteria to produce biofilm, which involves determining optical density of biomass in a microtiter plate, is based on staining the biofilm with crystal violet. The use of this dye has several limitations, including extraction variability and safety requirements. The aim of the study was to modify the method for assessing the biofilm-forming capacity of microorganisms by using safranin as an alternative indicator dye and to conduct a comparative analysis of results with the classical method. The study was performed on clinical isolates of *Escherichia coli* (n=5) and *Staphylococcus aureus* (n=5), as well as reference control strains. The ability of cultures to form biofilms was determined quantitatively in microtiter plates. The method included a parallel comparison of the parameters obtained using safranin and the classical crystal violet staining method, with each experiment performed in paired independent plates. Staining with safranin provided systematically higher optical density values (the average increase was 0.09; 10.2%), which was statistically significant (t=5.16; p=0.00059). A high positive correlation was found between the methods (r=0.96; p<0.001). In 90% of cases, the adhesion classification remained consistent, with safranin demonstrating better reproducibility for most strains. These results confirm the potential of safranin as an alternative dye for biofilm quantification. The modified method can be implemented into routine laboratory testing after validation and standardization and can also be used in the screening of antimicrobial and antibiofilm drugs.

Key words: biofilms, bacteria, microplate assays, dyes, safranin, crystal violet, spectrophotometry.

For citation: Antonevskiy I.V., Pleshakova V.I., Leshcheva N.A. Modification of a method for quantitative assessment of biofilm-forming capacity of microorganisms using safranin. *Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine*. 2025; 264(4). 6-13 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_6.

References

1. Khryanin AA. [Microbial biofilms: modern concepts]. *Antibiotiki i khimioterapiya*. 2020; Vol.65. 5-6. 70-77 p. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2020-65-5-6-70-77>.

2. Ilina TS, Romanova YuM. [Bacterial biofilms: their role in chronic infectious processes and search for means to combat them]. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya*. 2021; Vol.39. 2. 14-24 p. <https://doi.org/10.17116/molgen20213902114>.

3. Plotnikov FV, Guryanov SV, Gulevskiy AK. [Immunity and bacterial biofilms: current state of the issue (literature review)]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2021; Vol.20. 3. 7-15 p. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.3.7>.

4. Zhao A, Sun J, Liu Y. Understanding bacterial biofilms: from definition to treatment strategies. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2023; Vol.13. 1137947 p. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1137947>.

5. Antonevskiy IV, Pleshakova VI, Leshcheva NA. [Biofilm-forming microflora in the structure of microorganisms isolated from farm and domestic animals]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman*. 2025; Vol.261. 1. 16-24 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_261_16.

6. Nesse LL, Osland AM, Vestby LK. The role of biofilms in the pathogenesis of animal bacterial infections. *Microorganisms*. 2023; Vol.11. No.3. 608 p. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030608>.

7. Lenchenko EM, Kuznetsov VI, Kondrashova EA. [Indication of microbial biofilms in diseases of the digestive organs of lambs]. *Veterinariya segodnya*. 2021; Vol.1. 1. 59-67 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2021-1-36-59-67>.

8. Butucel E, Criste A, Dumitru M. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial

- biofilms. *Agriculture*. 2022; Vol.12. No.8. 1251 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>.
9. Khaptsev ZYu, Spiryakhina TV, Anisimova MS. [Prospects for using natural metabolites to increase the effectiveness of anti-mastitis drugs]. *Zykinskie chteniya*. 2021; 264-268 p. EDN WCIWSO.
10. Christensen GD, Simpson WA, Younger JJ. Adherence of coagulase-negative staphylococci to plastic tissue culture plates: a quantitative model for the adherence of staphylococci to medical devices. *Journal of Clinical Microbiology*. 1985; Vol.22. No.6. 996-1006 p. <https://doi.org/10.1128/jcm.22.6.996-1006.1985>.
11. Upadhyay A, Pal D, Kumar A. Development of the dynamic approach for detection of *Salmonella* Typhi biofilm via optimizations of interaction with safranin dye. *Biologia*. 2024; Vol.79. No.7. 2299-2309 p. <https://doi.org/10.1007/s11756-024-01716-3>.
12. Jensen LK, Johansen AS, Bjarnsholt T. Combined staining techniques for demonstration of *Staphylococcus aureus* biofilm in routine histopathology. *Journal of Bone and Joint Infection*. 2018; Vol.3. No.1. 27-36 p. <https://doi.org/10.7150/jbji.22799>.
13. Stepanovic S, Vukovic D, Hola V. A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of Microbiological Methods*. 2000; Vol.40. No.2. 175-179 p. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6).
14. Ommen P, Zobek N, Meyer RL. Quantification of biofilm biomass by staining: Non-toxic safranin can replace the popular crystal violet. *Journal of Microbiological Methods*. 2017; Vol.141. 87-89 p. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2017.08.003>.
15. Wu X, Santos RR, Fink-Gremmels J. *Staphylococcus epidermidis* biofilm quantification: Effect of different solvents and dyes. *Journal of Microbiological Methods*. 2014; Vol.101. 63-66 p. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2014.03.016>.
16. Haney EF, Trimble MJ, Cheng JT. Critical assessment of methods to quantify biofilm growth and evaluate antibiofilm activity of host defence peptides. *Biomolecules*. 2018; Vol.8. No.2. 29 p. <https://doi.org/10.3390/biom8020029>.
17. Kim H, Aquino M, Izadjoo M. Development and assessment of a high-throughput biofilm and biomass testing platform. *Journal of Wound Care*. 2021; Vol.30. Suppl. 7. S36-S46 p. <https://doi.org/10.12968/jowc.2021.30.Sup7.S36>.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This study was supported by grant No. 25-26-20048 from Russian Science Foundation dated April 17, 2025.

Authors:

Antonevskiy Igor Viktorovich – Assistant of Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases of Veterinary Medicine Faculty of Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology, e-mail: iv.antonevskiy@omgau.org, <https://orcid.org/0009-0003-9337-2056>

Pleshakova Valentina Ivanovna* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases of Veterinary Medicine Faculty of Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology, e-mail: vi.pleshakova@omgau.org, <https://orcid.org/0000-0001-7896-2339>

Leshcheva Nadezhda Alekseevna – Ph.D. of Veterinary Sciences, Head of Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases of Veterinary Medicine Faculty of Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology, e-mail: na.lescheva@omgau.org, <https://orcid.org/0000-0001-6334-0422>
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЛКОВОГО ОБМЕНА
СВИНОМАТОК КАК ПРОЯВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ
ВВОДНОГО СКРЕЩИВАНИЯ****Н. А. Гарская, А. В. Ткачёв, С. Н. Тресницкий**

Реферат. Цель работы - изучение изменчивости показателей белкового обмена в крови основных свиноматок полтавской мясной породы при оценке различных вариантов вводного скрещивания. Исследования были проведены на трёх группах основных свиноматок, различных по генотипу: I группа - чистопородные свиноматки полтавской мясной породы (n=17), II группа - свиноматки, полученные методом вводного скрещивания с использованием 12,5% доли крови финского ландраса (n=8), III группа - свиноматки, полученные методом вводного скрещивания с использованием 12,5% доли крови скороспелой мясной породы (n=8). Показатели белкового обмена у обследуемых свиноматок всех групп, за исключением коэффициента де Ритиса, находились в границах референтных интервалов. Наименьшие значения коэффициента вариации установлены у показателей общего белка, альбумина и глобулина (от 2,34% до 9,74%), наибольшие – у показателей активности АсАТ и АлАТ (от 37,75% до 56,82%). Использование различных вариантов вводного скрещивания у основных свиноматок полтавской мясной породы не приводило к достоверным изменениям в средних значениях показателей белкового обмена. Прилитие крови финского ландраса приводило к увеличению изменчивости показателей белкового обмена (за исключением коэффициента де Ритиса) от 0,44% до 18,63% в сравнении с чистопородными свиноматками. Прилитие крови скороспелой мясной породы приводило к снижению изменчивости показателей общего белка (на 1,71%), глобулина (на 6,83%), мочевины (на 10,96%), А/Г (на 3,33%), соотношения альбумин/мочевина (на 20,88%), соотношения глобулин/мочевина (на 11,43%), коэффициента де Ритиса (на 5,83%) соответственно. Использование породы финский ландрас для улучшения продуктивности приводит к более отличным сдвигам в метаболических потоках обмена белков и требует большего внимания к условиям разведения животных т.к. желаемое улучшение приводит к напряжению защитно-приспособительных и адаптивных качеств свиноматок. Повышение адаптивности свиноматок за счёт резервов скороспелой мясной породы приводит к менее значимым изменениям в белковом обмене и меньшему его напряжению, в сравнении с чистым генотипом.

Ключевые слова: обмен белков, кровь, свиноматки, вводное скрещивание, изменчивость, корреляция.

Для цитирования: Гарская Н.А., Ткачёв А.В., Тресницкий С.Н. Некоторые особенности показателей белкового обмена свиноматок как проявление различных вариантов вводного скрещивания // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 14-23. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_14.

Введение. Основным методом разведения в свиноводстве, при котором спаривают хряков и свиноматок, принадлежащих к разным породам, является скрещивание [1]. Это один из самых быстрых методов для улучшения различных характеристик сельскохозяйственных животных [2]. Скрещивание является неотъемлемым компонентом программы улучшения пород свиней [3], при этом, как правило, различные системы скрещивания на практике используют либо для снижения уровня инбридинга потомства, либо для проявления эффекта гетерозиса, также известного как гибридная энергия [1, 4].

Вводное скрещивание, как метод разведения, широко используют в свиноводстве. Это краткосрочное отступление от чистопородного разведения с сохранением привнесения недостающих качеств другой породы [5]. При этом особое внимание уделяется созданию популяций свиней с высокими продуктивными качествами, как правило, при использовании генофонда зарубежных пород [1].

В тоже время, согласно мнению К.В. Жучаева с соавт. (2024) [6], многолетняя селекция сельскохозяйственных животных по продуктивности привела не только к достижению

выдающихся показателей продуктивности (удоев, приростов живой массы, яйценоскости и т.д.), но и к снижению адаптационных способностей и приспособленности к местным локальным условиям, сужению биологических лимитов селекции, повышению заболеваемости животных, нарушений воспроизводства, снижению долголетия и т.д.

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что все селекционно-генетические признаки животных, представляют собой различное проявление их биологических особенностей. При этом проявление продуктивных и хозяйственных свойств свиней в различных условиях среды могут иметь значительные отличия [7].

Исследования морфо-биохимических показателей крови, позволяют лучше познать биологические особенности свиней и использовать их в селекции. Исходя из данных литературы, для правильной интерпретации биохимических показателей крови в организме сельскохозяйственных животных, в частности свиней, следует учитывать, что уровень обменных процессов, прежде всего белковых, закреплен направленной селекцией породы [8], генотипическими особенностями

(чистопородные или помесные свиньи) [9, 10], возрастом [8, 10, 11], полом [8], а также различными негенетическими факторами [12]. В тоже время в справочной литературе эти данные не всегда учитываются, что не позволяет использовать их полноценно в практике свиноводства, ввиду достаточно заметных различий в представленных литературных референтных интервалах.

Поэтому прогнозирование селекционных мероприятий должно также основываться на изучении механизмов важнейших биохимических процессов, протекающих в организме животных, их взаимосвязи и взаимодействии.

В связи с этим, целью нашей работы явилось изучение изменчивости показателей белкового обмена в крови основных свиноматок полтавской мясной породы при оценке различных вариантов вводного скрещивания.

Условия, материалы и методы. Исследования были проведены на базе ООО «Племзавод «Беловодский»» ЛНР, РФ.

Объектом исследований являлись основные свиноматки племенного стада полтавской мясной породы, холостой фазы содержания. Все животные относились к классам элита и первый. Группы формировались по принципу пар-аналогов из клинически здоровых особей с учетом возраста, физиологического состояния и происхождения.

Условия кормления и содержания всех групп соответствовали нормам кормления Института свиноводства и агропромышленного производства Национальной академии аграрных наук (г. Полтава, Украина), с учетом возраста, живой массы и физиологического состояния. Тип кормления - концентратный с использованием кормов собственного производства. Содержание животных групповое, свободно-выгульное.

Наряду с традиционными методами селекционно-племенной работы с целью получения в потомстве генетического разнообразия, в хозяйстве применяется вводное скрещивание с породой финский ландрас и скороспелая мясная. Порода свиней финский ландрас была выбрана в качестве улучшающей с целью совершенствования мясных качеств. Причиной выбора степного типа скороспелой мясной породы стала необходимость повышения адаптационных возможностей животных полтавской мясной породы к природно-климатическим условиям Донбасса (природно-климатическая зона - степь) и улучшения крепости конституции.

В качестве контрольной группы (I группа) (n=17) использовались чистопородные свиноматки полтавской мясной породы (ПМ). Для опытных групп отбирали свиноматок, полученных методом вводного скрещивания с использованием 12,5% доли крови финского ландраса (ПМ×ФЛ) (II группа) (n=8) и 12,5% доли крови скороспелой мясной породы (ПМ×СМ) (III группа) (n=8).

Забор крови проводили в вакуумные

пробирки путём пункции ушной вены, в утренние часы, перед кормлением животных. У свиноматок в сыворотке крови определяли количество общего белка, количество альбуминов, глобулинов, содержание мочевины, активность аминотрансфераз (АлАТ и АсАТ). Проводили также индексную оценку путём расчёта белкового коэффициента (альбумины/глобулины (А/Г)), коэффициента де Ритиса (АсАТ/АлАТ) и соотношений общего белка, альбуминов, глобулинов и мочевины (общий белок/мочевина (Об/моч), альбумин/мочевина (А/моч), глобулин/мочевина (Г/моч)). Биохимические показатели определяли с использованием наборов ЧНПП «Филисит Диагностика» (Украина): общий белок - по биуретовой реакции (г/л), альбумин - по реакции с бромкрезоловым зелёным (г/л), мочевину - по цветной реакции с диацетилмонооксидом (ммоль/л), активность АлАТ и АсАТ- динитрофенилгидразиновым методом по Райтман-Френкелем (ммоль/(ч×л)).

Полученные результаты исследования обрабатывали биометрически с использованием пакета прикладных компьютерных программ «Statistika-10».

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования показали, что полученные средние значения показателей белкового обмена крови свиноматок полтавской мясной породы при использовании различных вариантов вводного скрещивания не вызывают достоверных изменений в показателях белкового обмена крови (табл. 1), также, как и у основных хряков данной породы при этом же варианте усовершенствования [13].

У свиноматок всех обследованных групп средние значения содержания общего белка в сыворотке крови находились в границах референтного интервала для данного показателя. Животных с гипопроотеинемией среди обследованных особей выявлено не было. В тоже время анализ границ изменчивости данного показателя показал, что у контрольной группы (ПМ) имелись особи, значительно превышающие верхнюю границу референтного интервала, указанный в литературе, на 5,2 г/л или 5,46%, соответственно. У свиноматок этой группы нами отмечен наибольший размах изменчивости по данному показателю (16,6). Прилитие крови у опытных групп (ПМ×ФЛ и ПМ×СМ) приводило лишь к незначительному превышению значений показателя у некоторых животных, практически на уровне верхней границы нормы (0,5 г/л или 0,56%), с наименьшим размахом изменчивости у группы с генотипом ПМ×СМ. На наш взгляд, установленная достаточно высокая гиперпротеинемия у свиноматок «чистого» генотипа, связана с присутствием в хозяйственной популяции особей с менее интенсивным уровнем белкового обмена, в сравнении с животными, полученными в результате применения метода вводного скрещивания.

Таблица 1 – Показатели белкового обмена основных свиноматок полтавской мясной породы в зависимости от используемого варианта вводного скрещивания

Показатели	Генотип			Референтные интервалы
	ПМ	Вариант вводного скрещивания		
		ПМ×ФЛ	ПМ×СМ	
		I группа (n=17)	II группа (n=8)	
Общий белок, г/л	88,64±1,05	85,96±2,39	87,30±1,60	63-90
Lim (R)	78,6-95,2 (16,6)	77,4-90,5 (13,1)	85,7-90,5 (4,8)	
M-tm÷M+tm	86,42÷90,87	79,31÷88,65	80,96÷88,26	
Cv, %	4,88	6,22	3,17	
Альбумин, г/л	41,1±0,44	41,56±1,39	39,27±1,60	28-46
Lim (R)	37,8-43,3 (5,5)	38,9-46,7 (7,8)	36,7-42,2 (5,5)	
M-tm÷M+tm	40,17÷42,03	37,69÷45,43	32,39÷46,14	
Cv, %	4,42	7,49	7,05	
Глобулин, г/л	47,54±1,06	44,40±1,93	48,03±0,65	26-56
Lim (R)	39,7-56,3 (16,6)	38,5-50,5 (12,0)	46,8-49,0 (2,2)	
M-tm÷M+tm	45,3÷49,28	39,03÷49,77	45,24÷50,83	
Cv, %	9,17	9,74	2,34	
Мочевина, ммоль/л	4,53±0,36	4,70±1,14	4,03±0,55	2,6-7,6
Lim (R)	2,2-8,2 (6,0)	2,4-8,3 (5,9)	3,1-5,3 (2,2)	
M-tm÷M+tm	3,77÷5,28	1,53÷7,87	2,26÷5,78	
Cv, %	38,44	54,38	27,48	
АсАТ, ммоль/(ч×л)	0,5±0,04	0,41±0,10	0,44±0,12	0,1-0,55
Lim (R)	0,21-0,84 (0,63)	0,14-0,77 (0,63)	0,21-0,63 (0,42)	
M-tm÷M+tm	0,42÷0,58	0,12÷0,69	0,1÷0,97	
Cv, %	37,75	56,38	48,23	
АлАТ, ммоль/(ч×л)	0,40±0,04	0,37±0,07	0,40±0,13	0,1-0,48
Lim (R)	0,07-0,77 (0,7)	0,17-0,63 (0,46)	0,14-0,56 (0,42)	
M-tm÷M+tm	0,32÷0,48	0,16÷0,58	0,1÷0,96	
Cv, %	44,7	45,14	56,82	

Найденный доверительный интервал, показал, что с 95% вероятностью у свиноматок новых генотипов количеством общего белка будет находится в пределах референтного значения. При этом среди животных «чистых» генотипов будут присутствовать животные с повышенным количеством белка в сыворотке крови.

Показатель изменчивости количества общего белка соответствовал достаточно узкому промежутку (от 3,17% до 6,22%), что свидетельствует о его незначительной вариативности и, вероятно, является следствием проводимых селекционных мероприятий с данной породой, закреплённых в генотипе, а не влиянием факторов внешней среды. При этом приливание крови вызывало некоторые разнонаправленные изменения коэффициента вариации в

зависимости от поставленной цели вводного скрещивания. Так использование породы финских ландрас (ПМ×ФЛ) (улучшение мясных качеств) привело к увеличению коэффициента вариации на 1,34%, а скороспелой мясной (ПМ×СМ) (повышение адаптивности к условиям среды) – к снижению на 1,71% соответственно, что, вероятно является следствием увеличения активности метаболизма.

Проведённый сравнительный анализ абсолютных величин среднего количества белковой фракции альбумина и глобулина в сыворотке крови выявил у свиноматок всех групп соответствие значениям референтных интервалов, при установленной незначительной вариативности (от 2,34% до 9,74%).

Имеющийся уровень глобулинов при этом преобладал над альбуминами сыворотки

крови во всех группах. Среди обследованных животных не было выявлено особей с показателями альбумина и глобулина ниже референтных значений, указанных в литературе.

Границы изменчивости показателя альбуминов у группы с кровью финского ландраса (ПМ×ФЛ) отличались более высокими значениями при установленном наивысшем размахе изменчивости (7,8). В данной группе были отмечены свиноматки с показателями количества альбуминов, превышающих верхнюю границу референтного интервала на 0,7 г/л или 1,52%. В других группах таких животных отмечено не было. Установленные особенности могут свидетельствовать о повышении биологической возможности свиней данного генотипа к увеличению мясной продуктивности и повышению результата проводимого селекционного процесса, учитывая многочисленные данные литературы о наличии корреляционных взаимосвязей количества альбумина в сыворотке крови с мясными качествами свиней, скоростью их роста, оплатой корма [14]. В тоже время, повышенное содержание альбуминов в сыворотке крови может свидетельствовать о тенденции напряжения адаптивных процессов и развития срочной адаптации организма к местным природно-климатическим условиям, вызванное более высокими требованиями к условиям содержания и кормления, учитывая участие альбуминов в транспортной, антиоксидантной функции [15].

При этом, установленный доверительный интервал показателя альбуминов при использовании вводного скрещивания в опытных группах свиноматок с вероятностью 95%, даёт основание предположить, что количество альбумина в сыворотке крови может иметь значения, уступающие установленным границам изменчивости (особенно генотипа ПМ×СМ), но соответствующие значениям референтного интервала показателя, указанного в литературе. В тоже время у животных с кровью скороспелой мясной породы с вероятностью 95%, количество альбумина может находиться в диапазоне несколько выше верхней границы референтного интервала данного показателя (на 0,3% соответственно).

Изменчивость альбумина увеличивалась при использовании вводного скрещивания (ПМ×ФЛ, ПМ×СМ) (от 4,42% до 7,49%), достигая наибольших значений в группе с кровью финского ландраса, однако при этом уровень коэффициента вариации не изменялся и также соответствовал незначительному.

На наш взгляд, перечисленные процессы, могут являться косвенным подтверждением более высоких требований опытных групп к условиям разведения т.е. технологии содержания и кормления с целью соответствия существующих биологических особенностей животных.

Значения границ разнообразия показателя содержания глобулина в сыворотке крови

свиноматок групп с использованием вводного скрещивания (ПМ×ФЛ и ПМ×СМ) не выходили за верхние пределы литературных референтных интервалов данного показателя, в то время как у особей «чистого» генотипа (ПМ) наблюдалось некоторое их смещение выше верхней границы нормы (на 0,3 г/л или 0,54%). Особей с гипоглобулинемией среди всех обследованных групп установлено не было.

Свиноматки «чистого» генотипа (ПМ) и с кровью финского ландраса (ПМ×ФЛ) отличались некоторым смещением показателей в сторону более низких значений глобулина, в сравнении с генотипом ПМ×СМ. У данного генотипа также был установлен размах изменчивости, значительно меньше других групп (в 7,55 с группой ПМ и 5,45 раза с группой ПМ×ФЛ). При этом, рассчитанные доверительные интервалы с 95% вероятностью показали, что все исследованные генотипы могут иметь значения концентрации глобулинов, находящиеся в пределах референтных интервалов.

Следует отметить, что наиболее стабильными по содержанию глобулинов оказались особи с кровью скороспелой мясной породы (ПМ×СМ), у которых был установлен весьма низкий коэффициент вариации (2,34%), при более высоких у других групп. Свиноматки в группе с кровью скороспелой мясной породы уступали «чистым генотипам» 6,83% (3,92 раза), а животным с кровью финского ландраса 7,4% (4,16 раза) соответственно, что возможно является показателем повышенной мобилизации их внутренних резервов с целью повышения защитных свойств и формирования более высокой адаптивности данной группы к природно-технологическим условиям хозяйства, закреплённой в генотипе.

Исследование уровня содержания мочевины в сыворотке крови свиноматок полтавской мясной породы установило соответствие полученных средних показателей всех групп литературным референтным интервалам. Однако, анализ границ изменчивости данного показателя показал, что только в группе с кровью скороспелой мясной породы (ПМ×СМ) все животные имели значения в диапазоне референтного интервала при наименьшем размахе изменчивости (2,2) и уровне варьирования признака (27,48%). В двух других исследуемых группах (ПМ и ПМ×ФЛ) имелись особи как с повышенным, так и с пониженным уровнем содержания мочевины в сыворотке крови, при неоднородности показателей в группах и установленном среднем и высоком уровне варьирования. Наибольший уровень изменчивости отмечен у группы с кровью финского ландраса.

Учитывая, что мочевина является конечным продуктом распада белка в организме и может являться критерием его усвоения [14], необходимо отметить, что, вероятно, животные с кровью скороспелой мясной породы

используют белки, поступающие в организм более полноценно т.е. адаптированность их к условиям и рациону кормления выше, чем у других групп.

При этом установленный доверительный интервал с вероятностью 95% показывает, что прилитие крови требует ужесточение требований к качеству и режиму кормления животных т.к. истинные значения оцениваемого показателя у опытных групп могут не поддерживаться в пределах принятых интервалов. У животных с кровью скороспелой мясной породы (ПМ×СМ), в 95% случаев могут встречаться животные с немного пониженным количеством мочевины в сыворотке крови, у животных с кровью финского ландраса (ПМ×ФЛ) — как с повышенным, так и с пониженным количеством мочевины соответственно.

В обследованной хозяйственной популяции свиноматок активность фермента переаминирования АсАТ превосходила значения АлАТ, что является для свиней физиологической нормой.

Согласно полученным данным, средний показатель активности АсАТ у обследованных свиноматок полтавской мясной породы всех групп был в пределах референтных значений. Во всех группах, согласно границам изменчивости показателя, имелись особи с повышенной активностью фермента. Свиноматок с пониженной активностью АсАТ выявлено не было. Наименьший размах изменчивости (0,42) и наименьший показатель верхней границы изменчивости данного фермента установлен у группы с генотипом ПМ×СМ, что может свидетельствовать об адаптивном сдвиге метаболического характера у данной группы, при меньшем влиянии различных факторов на процессы метаболизма в условиях использования вводного скрещивания. Доверительный интервал, с вероятностью 95%, подтверждает, что фактически во всех группах будут находиться животные с повышенным уровнем активности данного фермента, особенно в группе с кровью скороспелой мясной породы.

Полученные нами результаты также свидетельствуют, что прилитие крови вызывает увеличение уровня изменчивости (Cv) показателя активности АсАТ во всех опытных группах, особенно у свиноматок с кровью финского ландраса (ПМ×ФЛ). В данной группе увеличение изменчивости происходит до значительного уровня (от 37,75% до 56,38% в сравнении с ПМ), что может являться показателем усиления напряжения процессов метаболизма в организме.

Средние показатели активности фермента переаминирования АлАТ в сыворотке крови всех генотипических групп свиноматок полтавской мясной породы наблюдались в пределах референтного интервала, указанного в литературе. Анализ границ изменчивости данного фермента показал, что в только в группе «чистого» генотипа имелись животные с

пониженным уровнем активности (на 0,03 ммоль/(ч×л) или 30% от нижней границы физиологической нормы). В то время как особи с повышенным уровнем активности АлАТ были отмечены во всех группах (особенно ПМ). Прилитие крови вызывало уменьшения размаха изменчивости активности данного фермента у обеих опытных групп, особенно у генотипа ПМ×СМ (0,42). В тоже время, установленный доверительный интервал с 95% вероятностью показал, что опытные группы, в отличие от контрольной могут включать свиноматок с повышенным уровнем активности АлАТ (особенно ПМ×СМ).

В опытных группах также нами отмечены и более высокие значения варьирования показателей, отличающиеся неоднородностью и соответствующие значительному уровню. Селекция на улучшение мясных качеств привела к наибольшему увеличению показателя варьирования АлАТ у группы генотипа ПМ×ФЛ.

Следует отметить, что в настоящее время установленные значения повышения активности ферментов переаминирования (АсАТ и АлАТ), согласно данным литературы, для генотипов специализированных пород свиней можно рассматривать как общебиологическое явление или «физиологическую» адаптацию к условиям современных промышленных комплексов и при отсутствии клинических признаков не являющееся патологией [14].

Для более полной оценки соотношения анаболических и катаболических путей метаболизма белка в организме свиноматок нами была проведена индексная оценка, результаты которой приведены в таблице 2.

Анализ средних значений соотношений показателей белкового обмена показал, что генотип основных свиноматок полтавской мясной породы достоверно не влиял на рассчитанные параметры.

При этом, при сравнении полученных средних значений результатов соотношения альбуминов и глобулинов с литературными референтными интервалами не выявлено отклонений. Значения границ изменчивости признака и доверительных интервалов всех групп также не выходят за пределы диапазона нормальных значений, т.е. изменений соотношений белковых фракций в сыворотке крови при использовании вводного скрещивания не происходит.

Анализ коэффициента вариации соотношения А/Г выявил, что наименьшая изменчивость данного показателя была установлена у группы с генотипом ПМ×СМ (7,47%) и соответствовала незначительному уровню. Установленное наименьшее значение вариации показателя, в сравнении с другими группами говорит о большей стабильности соотношения альбуминов и глобулинов в крови в данных условиях.

В результате проведенного исследования нами установлено, что использование различных вариантов вводного скрещивания влияло

ВЕТЕРИНАРИЯ

на направления метаболических показателей изменчивости соотношений токов в организме свиноматок, общего белка, альбуминов, глобулинов и что подтверждается вариабельностью мочевины.

Таблица 2 – Индексные показатели белкового обмена основных свиноматок полтавской мясной породы в зависимости от используемого варианта вводного скрещивания

Показатели	Генотип			Референтные интервалы
	ПМ	Вариант вводного скрещивания		
		ПМ×ФЛ	ПМ×СМ	
	I группа (n=17)	II группа (n=8)	III группа (n=8)	
A/Г, усл. ед.	0,87±0,02	0,94±0,04	0,82±0,04	0,5-1,7
Lim (R)	0,69-1,03 (0,34)	0,79-1,07 (0,28)	0,75-0,87 (0,22)	
M-tm÷M+tm	0,82÷0,92	0,81÷1,08	0,66÷0,97	
Cv, %	10,8	11,65	7,47	
Общий белок/мочевина, усл. ед.	20,8±2,14	23,32±5,51	21,12±3,3	
Lim (R)	10,16-42,18 (32,02)	10,9-37,7 (26,8)	17,08-27,65 (10,57)	
M-tm÷M+tm	16,26÷25,34	8,03÷38,61	6,94÷35,29	
Cv, %	10,29	23,61	15,58	
Альбумин/мочевина, усл. ед.	9,67±1,02	11,0±2,34	9,42±1,22	
Lim (R)	5,15-19,68 (14,53)	5,63-16,67 (11,04)	7,96-11,84 (3,84)	
M-tm÷M+tm	7,52÷11,82	4,51÷17,5	4,18÷14,66	
Cv, %	43,28	47,55	22,4	
Глобулин/мочевина, усл. ед.	11,12±1,14	12,32±3,18	11,7±2,08	
Lim (R)	5,01-22,5 (17,49)	5,28-21,04 (15,76)	9,11-15,81 (6,7)	
M-tm÷M+tm	8,71÷13,54	3,5÷21,14	2,76÷20,63	
Cv, %	42,18	57,63	30,75	
АсАТ/АлАТ (коэффициент де Ритиса), усл. ед.	0,83±0,04	0,68±0,1	0,86±0,12	0,91-1,75
Lim (R)	0,33-2,03 (1,7)	0,49-0,88 (0,39)	0,67-1,14 (0,47)	
M-tm÷M+tm	0,68÷0,98	0,35÷1,01	0,25÷1,47	
Cv, %	34,3	30,43	28,47	

Нами установлено, что использование вводного скрещивания у животных опытных групп, создавало предпосылки к более активному использованию белков сыворотки крови в метаболических процессах, но с некоторыми особенностями (общими и различными) в зависимости от используемой породы и поставленной цели селекционных мероприятий.

Несмотря на отсутствие существенных различий в средних значениях данных соотношений, нами установлено, что прилитие крови в обеих опытных группах приводило к уменьшению размаха изменчивости соотношений Об/Моч, Альб/Моч, Глоб/Моч (особенно в группе с генотипом ПМ×СМ). Уменьшение размаха изменчивости, на наш взгляд, связано с развитием гетерогенного (однородного) отношения к среде обитания животных опытных групп.

Установленные доверительные интервалы опытных групп, с достоверностью 95% представляя диапазон вероятных значений параметра совокупности, показывают, что в

данных группах нижнее значение интервала указывает на значительное возможное снижение показателей соотношений Об/Моч, Альб/Моч, Глоб/Моч, а верхнее значение – может быть выше, чем у доверительного интервала животных «чистого генотипа» (ПМ) или у границ изменчивости свиноматок данной группы. Данное явление, вероятно, относится к системе адаптивных изменений организма, направленном на компенсацию неблагоприятных природно-хозяйственных условий.

Использование породы финский ландрас (ПМ×ФЛ) у свиноматок при вводном скрещивании приводило к развитию особенностей, характерных только для данной группы. Анализ границ изменчивости соотношений Об/Моч, Альб/Моч, Глоб/Моч показал их схожесть с показателями животных «чистого» генотипа и значительное отличие от другой опытной группы (с генотипом ПМ×СМ). Уровень изменчивости в группе ПМ×ФЛ был довольно высок (от 23,61% до 57,63%) и значительно выше коэффициента вариации других

групп, что выявляет высокую степень зависимости от влияния факторов окружающей среды и градиент их несоответствия потребностям организма.

Для свиноматок с кровью скороспелой мясной породы (ПМ×СМ) характерен средний уровень изменчивости: значение коэффициентов вариации находится в более низком диапазоне, от 15,58% до 30,75%. При этом, по показателю Альб/Моч, Глоб/Моч в данной группе коэффициент вариации имел наименьшие значения из всех групп. Следовательно, в данной группе метаболические потоки обмена белка имели меньшее напряжение (особенно альбумина и глобулина) и отличались относительной устойчивостью к внешним воздействиям. Такая тенденция, возможно, связана с увеличением адаптированности к местным условиям.

Установленные средние значения коэффициента де Ритиса во всех группах свидетельствуют о преобладании у свиноматок анаболической направленности биохимических процессов, уступая значениям референтного интервала, представленного в литературе [14]. Кроме того, полученное среднее значение данного показателя у группы с генотипом финского ландраса (ПМ×ФЛ) (0,68) показывает на наличие состояния дезадаптации у свиноматок данной группы и снижения функциональных возможностей.

Проведенный анализ коэффициента де Ритиса показал, что генотип животных влиял на значения границ изменчивости. Так, в группе «чистого» генотипа были отмечены показатели коэффициента как значимо ниже, так и значимо выше референтных значений. Размах изменчивости показателя, при этом, был наибольший (1,7), что в 4,36 раза превышало наименьшее установленное значение.

В группе с генотипом ПМ×ФЛ у всех свиноматок были выявлены значения коэффициента де Ритиса уступающие нижним пределам референтных величин. Кроме того, нами в данной группе был установлен наименьший размах изменчивости показателя (0,39), что в совокупности, возможно, связано со снижением пластичности адаптационной биоэнергетики в данных условиях разведения.

В группе свиноматок с кровью скороспелой мясной породы коэффициент де Ритиса представлен значениями референтных интервалов и более низкими показателями. Значения нижней границы изменчивости данной группы превышали уровень группы «чистого» генотипа на 0,34 ед. (50,74%), а генотипа ПМ×ФЛ на 0,18 ед. (26,87%) т.е. показывали лучшее состояние метаболических потоков.

Установленные доверительные интервалы коэффициента де Ритиса опытных групп показывают, что в 95% случаев значения показателя могут быть ниже нормы, но при этом не превышать её верхнюю границу.

Показатели уровня изменчивости коэффициента де Ритиса во всех группах свиноматок имели средний уровень варьирования. Однако в опытных группах установленные коэффициенты вариации свидетельствовали об однородности, что не наблюдалось в группе «чистого» генотипа. Анализ межгрупповой изменчивости свиноматок выявил наиболее низкие значения у группы с кровью скороспелой мясной породы, что может указывать на стабилизацию метаболических потоков в организме животных.

С целью сравнения и определения подобности протекания белкового обмена на основании комплекса признаков у свиноматок различного генотипа нами был проведен кластерный анализ (рис.).

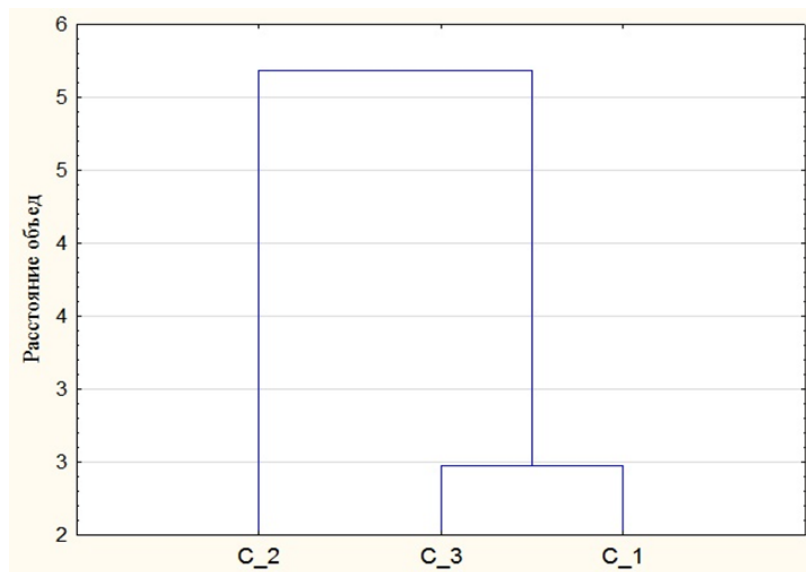


Рисунок - Дендрограмма результатов кластерного анализа для трёх наблюдений (Метод одиночной связи. Евклидово расстояние): С_1 - чистопородные свиноматки полтавской мясной породы (ПМ); С_2 - свиноматки, полученных методом вводного скрещивания с использованием 12,5% доли крови финского ландраса (ПМ×ФЛ); С_3 - свиноматки, полученных методом вводного скрещивания с использованием 12,5% доли крови скороспелой мясной породы

Обращает на себя внимание, что согласно, проведённого кластерного анализа, по комплексу изученных показателей белкового обмена наиболее схожими являются свиноматки «чистого» генотипа и генотипа ПМ×СМ. Наиболее отличными по протеканию белкового обмена являются животные генотипа ПМ×ФЛ.

Выводы. Несмотря на установленную рядом исследователей зависимость у свиней ряда биохимических показателей от генотипа [16], нами такой зависимости отмечено не было, что отмечают и некоторые другие авторы [17]. Нами установлено, что использование вводного скрещивания с целью улучшения продуктивных и адаптивных качеств свиней полтавской мясной породы при использовании 12,5% крови улучшающей породы не приводит к существенным различиям у свиней различных генотипов по средним показателям обмена белка, однако при этом изменяется вариабельность показателей, характеризующих осуществление метаболизма белков в организме животных. Вероятно, согласно нашему мнению, использование вводного скрещивания не «добавляет» в генотип породы новых особенностей, но способствует изменениям в биологических свойствах, возможно не всегда и положительных с точки зрения проведения селекционных мероприятий. Нами установлена, также, как и другими авторами [14], у обследованных свиней тенденция к стабилизации основных показателей белкового обмена (общий белок, альбумины, глобулины), что вероятно можно считать видовой особенностью данных сельскохозяйственных животных. При этом ферментные системы белкового обмена не отличаются однородностью, что позволяет предположить наличие зависимости ряда показателей от генотипа, условий кормления и содержания снижением однородности, о чём свидетельствуют высокие коэффициенты вариации.

Использование породы финский ландрас, с целью повышения мясных качеств свиней, создаёт в организме некоторые метаболические предпосылки для этого (наиболее оптимально среди всех групп А/Г). Однако, односторонняя селекция в данных природно-хозяйственных условиях при этом вызывает проявление нежелательных качеств, в частности снижение защитно-приспособительных и адаптивных механизмов, проявляющихся в развитии явления дезадаптации,

проявляющееся в напряжении биохимических реакций метаболических потоков обмена белка. Результаты исследований изменчивости показали, что повышенная вариабельность большинства изученных показателей, вероятно является следствием несоответствия условий внешней среды потребностям данной группы и использование породы финский ландрас с целью повышения мясности требует повышения «комфортности» содержания животных. Селекция на мясность у свиней полтавской мясной породы вызывает изменения в обмене белков наиболее отличные от животных «чистого» генотипа.

Повышение адаптивных качеств свиноматок, путём использования породы скороспелая мясная вызывает в свою очередь снижение чувствительности гомеостаза животных к условиям внешней среды, стабильности и благополучию метаболических потоков обмена белков в организме, создавая таким образом, дальнейшие условия для селекционных мероприятий для улучшения продуктивных и племенных качеств. Изменение белкового процесса характеризует метаболические процессы, связанные с адаптацией. В тоже время нарушение условий содержания и разведения могут привести к нарушениям в обмене белков.

Следует отметить также, что уровень внутривидовой изменчивости признаков показал, что свиноматок наиболее вариабельными являются признаки, определяющие катаболический поток, в то время как анаболические признаки отличаются большей устойчивостью к внешним воздействиям.

Таким образом, в одних и тех же природно-хозяйственных условиях разные генотипы свиней ведут себя по-разному. С целью отработки селекционных приемов по формированию финальных родительских групп для выявления групп риска и прогнозирования результатов необходимо обращать внимание на биологические резервы организма, прежде всего крови, поскольку она является наиболее динамично изменяющейся системой организма и быстро отражает результаты того или иного воздействия. При изучении показателей этой системы наиболее важной является белковая фракция крови, поскольку именно дефицит белоксодержащих компонентов может стать лимитирующим фактором в проявлении различных функций и качеств организма продуктивных животных.

Литература

1. Чистопородное разведение и двухпородное скрещивание свиней разного экогенеза в условиях промышленной технологии Западной Сибири / В. Н. Деметьев, А. А. Фриджер, А. И. Желтиков [и др.] // Главный зоотехник. 2024. № 3 (248). С. 19-26. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2403-02>. EDN: VHWEB.
2. Efficiency of crossing paternal line males and maternal line females of rabbits on growth performance / G.M. Abd El-Latif, A.M. Abd El-Hady, A. Eldlebs hany, A. EL-Raffa // Egyptian Poultry Science Journal. 2021. 41/4. P. 709-722. <https://doi.org/10.21608/epsj.2021.213293>.
3. Chapter 3 - Breeding management in commercial pig farms / S. Vaishnav, T. Saini, Sh. F. Ahmad [et al.] // Commercial Pig Farming. A Guide for Swine Production and Management. 2025. P. 29-46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23769-0.00003-8>.
4. Persistence of autozygosity in crossbreds between autochthonous and cosmopolitan breeds of swine: a simulation study / M.Ch. Fabbria, E. Lozada-Sotob, F. Tiezzia [et al.] // Animal. 2024. Vol. 18, Issue 2, 10170. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.10170>.

doi.org/10.1016/j.animal.2023.101070.

5. Гарская Н. А., Перетятко Л. Г. Анализ селекционно-генетических показателей воспроизводительной способности свиноматок полтавской мясной породы с различными вариантами доли кровности скороспелой мясной породы // Генетика и разведение животных. 2020. № 2. С. 10-15. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2020-2-10-15> EDN: YCYOHU.

6. Жучаев К. В., Кочнева М. Л., Борисенко Е. А. Благополучие продуктивных животных (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 6. С. 1025-1038. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.6.1025rus>. EDN: SLRYTR.

7. Байtimiрова Е. А., Янкина О. Л., Ким Н. А. Адаптационные особенности свиней породы ландрас датской селекции // Свиноводство. 2020. № 5. С. 13-15. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2020-5-13-15>. EDN: FSHXUV.

8. Онтогенетические особенности гормонального статуса и метаболического профиля свиней в условиях промышленной технологии / К. В. Жучаев, М. Л. Кочнева, Л. В. Осадчук [и др.] // Онтогенетические особенности гормонального статуса и метаболического профиля свиней в условиях промышленной технологии // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 4 (73). С. 177-187. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-177-187> EDN: RZYUXM.

9. Морфологический и биохимический статус крови свиней разного генотипа ирландской селекции в условиях Алтайского края / С. В. Бурцева, А. И. Афанасьева, В. А. Сарычев [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 5 (223). С. 65-69. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-223-5-65-69>. EDN: JJZIAG.

10. Влияние сроков откорма на метаболиты крови свиней породы ландрас и их двухпородных гибридов / Н. С. Колесник, О. Н. Сивкина, О. А. Воронина [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26. № 4. С. 872-884. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.872-884>. EDN: YLRLYB.

11. Владимиров Г. И. Референсные интервалы общего белка и его фракций в сыворотке крови гибридных ремонтных свинок: возрастные особенности // Ветеринария и кормление. 2023. № 7. С. 20-24. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-5>. EDN: ZVDVCG.

12. Зеленченкова А. А., Сивкина О. Н., Зайцев С. Ю. Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 3. С. 422-433. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433>. EDN: PRHRDN.

13. The effect of different variants of pig introductory crossing on the variability of blood protein metabolism / N. Garskaya, S. Tresnitskiy, A. Rudenko [et al.] // BIO Web Conf. 2024. V. 138 / International Scientific and Practical Conference "Development and Modern Problems of Aquaculture" (AQUACULTURE 2024) <https://doi.org/10.1051/BIOCONF/202413801021>.

14. Зайцев С. Ю., Боголюбова Н. В., Молянова Г. В. Биохимический анализ крови ряда пород свиней и их гибридов. Монография. Москва: Издательство «Сельскохозяйственные технологии», 2022. 256 с. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z22-20>. ISBN: 978-5-6048278-9-5. EDN: GVGRJQ.

15. Великодная Е. К., Карпенко Л. Ю. Влияние физических нагрузок на иммунно-биохимический статус спортивных лошадей (Обзор литературы) // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2025. № 2 (66). С. 3-12. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2025-266-3-12> EDN: SQKRQF.

16. Зайцев С. Ю. Сравнительная оценка физиолого-биохимических показателей крови ряда пород свиней и их гибридов. Монография. Москва: Академия Принт, 2024. 230 с. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z24-16>. ISBN: 978-5-605-24753-1. EDN: SXSBMU.

17. Панькова Е. К. Биохимические показатели сыворотки крови свиней разных генотипов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 292-296. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-292-296> EDN: YWUBXE

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Гарская Наталья Александровна* - кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и общей патологии, e-mail: Natalya_G@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5350-8770>

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ткачев Александр Владимирович - доктор сельскохозяйственных наук, профессор департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, e-mail: tkachev_av@bsaa.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-5742>

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

Тресницкий Сергей Николаевич - доктор ветеринарных наук, заведующий кафедрой биологии и общей патологии, e-mail: tresnitskiydonstu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9641-5363>

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

SOME FEATURES OF PROTEIN METABOLISM INDICATORS OF SOWS AS A MANIFESTATION OF VARIOUS CROSSING OPTIONS

N. A. Garskaya, A. V. Tkachev, S. N. Tresnitskiy

Abstract. The aim of the study was to investigate variability of protein metabolism indices in the blood of Poltava meat breed sows during the evaluation of various crossbreeding options. The research was conducted on three groups of sows with different genotypes: Group I - purebred Poltava meat breed sows (n=17); Group II - sows obtained by crossbreeding with 12.5% Finnish Landrace blood (n=8); Group III - sows obtained by crossbreeding with 12.5% early maturing meat breed blood (n=8). Protein metabolism parameters in the examined sows of all groups, with the exception of the de Ritis coefficient, were within the reference intervals. The lowest coefficients of variation were found for total protein, albumin and globulin (from 2.34% to 9.74%), while the highest were for AST and ALT activity (from 37.75% to 56.82%). The use of various inbreeding options in the main sows of Poltava meat breed did not lead to reliable changes in the average values of protein metabolism parameters. The infusion of Finnish Landrace blood led to an increase in the variability of protein metabolism parameters (with the exception of the de Ritis coefficient) from 0.44% to 18.63% compared to

purebred sows. The infusion of early-maturing meat breed blood resulted in decreased variability in total protein (by 1.71%), globulin (by 6.83%), urea (by 10.96%), A/G (by 3.33%), albumin/urea ratio (by 20.88%), globulin/urea ratio (by 11.43%) and the de Ritis coefficient (by 5.83%), respectively. Using Finnish Landrace to improve productivity leads to more pronounced shifts in protein metabolism fluxes and requires greater attention to animal breeding conditions, as the desired improvement strains the protective, adaptive and adaptive qualities of sows. Improving the adaptability of sows through the reserves of early-maturing beef breed blood leads to less significant changes in protein metabolism and lower strain, compared to a pure genotype.

Key words: protein metabolism, blood, sows, inbreeding, variability, correlation.

For citation: Garskaya N.A., Tkachev A.V., Tresnitskiy S.N. Some features of protein metabolism indicators of sows as a manifestation of various crossing options. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264 (4). 14-23 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_14.

References

1. Dementev VN, Fridcher AA, Zheltikov AI. [Purebred breeding and two-breed crossing of pigs of different ecogenesis under industrial technology conditions of Western Siberia]. *Glavnyy zootekhnik*. 2024; 3 (248). 19-26 p. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2403-02>. EDN: VHWERB.
2. Abd El-Latif GM, Abd El-Hady AM, Eldlebsany A, EL-Raffa A. Efficiency of crossing paternal line males and maternal line females of rabbits on growth performance. *Egyptian Poultry Science Journal*. 2021; 41/4. 709-722 p. <https://doi.org/10.21608/epsj.2021.213293>.
3. Vaishnav S, Saini T, Ahmad ShF. Chapter 3 - Breeding management in commercial pig farms. *Commercial Pig Farming. A Guide for Swine Production and Management*. 2025; 29-46 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23769-0.00003-8>.
4. Fabbria MCh, Lozada-Sotob E, Tiezzia F. Persistence of autozygosity in crossbreds between autochthonous and cosmopolitan breeds of swine: a simulation study. *Animal*. 2024; Vol. 18. Issue 2. 10170. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101070>.
5. Garskaya NA, Peretyatko LG. [Analysis of selection and genetic indicators of reproductive capacity of Poltava meat breed sows with different variants of the bloodline share of the early maturing meat breed]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2020; 2. 10-15 p. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2020-2-10-15> EDN: YCYOHU.
6. Zhuchayev KV, Kochneva ML, Borisenko EA. [Welfare of productive animals (review)]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2024; Vol.59. 6. 1025-1038 p. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.6.1025rus>. EDN: SLRYTR.
7. Baytimirova EA, Yankina OL, Kim NA. [Adaptation features of Danish Landrace pigs]. *Svinovodstvo*. 2020; 5. 13-15 p. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2020-5-13-15>. EDN: FSHXUV.
8. Zhuchayev KV, Kochneva ML, Osadchuk LV. [Ontogenetic features of the hormonal status and metabolic profile of pigs under industrial technology conditions]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*. 2024; 4 (73). 177-187 p. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-177-187> EDN: RZYUXM.
9. Burtseva SV, Afanaseva AI, Sarychev VA. [Morphological and biochemical status of blood of different genotypes pigs of Irish selection in the conditions of Altai Krai]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 5 (223). 65-69 p. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-223-5-65-69>. EDN: JJZLAG.
10. Kolesnik NS, Sivkina ON, Voronina OA. [Impact of fattening periods on blood metabolites in Landrace pigs and their two-breed hybrids]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2025; Vol.26. 4. 872-884 p. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.872-884>. EDN: YLRLYB.
11. Vladimirov GI. [Reference intervals of total protein and its fractions in the blood serum of hybrid replacement gilts: age-related features]. *Veterinariya i kormlenie*. 2023; 7. 20-24 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-5>. EDN: ZVDVCG.
12. Zelenchenkova AA, Sivkina ON, Zaytsev SYu. [Blood as a method for assessing the well-being of fattening pigs]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2025; Vol.25. 3. 422-433 p. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433>. EDN: PRHRDN.
13. Garskaya N, Tresnitskiy S, Rudenko A. The effect of different variants of pig introductory crossing on the variability of blood protein metabolism. *BIO Web Conf*. 2024; Vol.138. International Scientific and Practical Conference "Development and Modern Problems of Aquaculture" (AQUACULTURE 2024) <https://doi.org/10.1051/BIOCONF/202413801021>.
14. Zaytsev SYu, Bogolyubova NV, Molyanova GV. *Biokhimicheskiy analiz krovi ryada porod sviney i ikh gibridov. Monografiya*. [Biochemical analysis of blood of some pig breeds and their hybrids. Monograph]. Moscow: Izdatelstvo Selskokhozyaystvennyy tekhnologii. 2022; 256 p. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z22-20>. ISBN: 978-5-6048278-9-5. EDN: GVGRJQ.
15. Velikodnaya EK, Karpenko LYu. [The influence of physical activity on the immune-biochemical status of sport horses (Literature review)]. *Aktualnye voprosy veterinarnoy biologii*. 2025; 2 (66). 3-12 p. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2025-266-3-12> EDN: SQKRQF.
16. Zaytsev SYu. *Sravnitel'naya otsenka fiziologo-biokhimicheskikh pokazateley krovi ryada porod sviney i ikh gibridov. Monografiya*. [Comparative assessment of physiological and biochemical parameters of blood of some pig breeds and their hybrids. Monograph]. Moscow: Akademiya Print. 2024; 230 p. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/z24-16>. ISBN: 978-5-605-24753-1. EDN: SXSBMY.
17. Pankova EK. [Biochemical parameters of blood serum of pigs of different genotypes]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; 3 (89). 292-296 p. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-292-296> EDN: YWUBXE.

Conflict of interest

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

Authors:

Garskaya Natalya Aleksandrovna* - Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Biology and General Pathology Department, e-mail: Natalya_G@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5350-8770>
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
Tkachev Aleksandr Vladimirovich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Veterinary Medicine Department of Agrarian-Technological Institute, e-mail: tkachev_av@bsaa.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-5742>
Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
Tresnitskiy Sergey Nikolaevich - Doctor of Veterinary Sciences, Head of Biology and General Pathology Department, e-mail: tresnitskiydonstu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9641-5363>
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНЯТИЯ ОТРАВЛЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ
МЕТАЛЛАМИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕЛЕНА

С. В. Горшунова, Е. С. Козлов

Реферат. Современный технологический прогресс требует новых решений для стабилизации здоровья человека и животных, в связи с все большим техногенным воздействием на окружающую среду. Каждый год нарастает производство металлов в мире, что приводит к непрерывному загрязнению окружающей среды. Особо стоит отметить негативное влияние тяжелых металлов, которые оказывают пролонгированное и негативное воздействие на живые организмы. Одним из возможных направлений использования наночастиц селена является возможность их использования для снятия отравления тяжелыми металлами, а учитывая, что в литературе есть данные о возможности применения селеноорганических соединений в данных целях, причем в малых дозах, что свидетельствует не о прямом комплекс образовании с тяжелыми металлами, а о активизации иммунной и антиоксидантной системы организма и, как следствие, предотвращении негативного воздействия токсикантов. Нами разработан новый метод синтеза наночастиц селена. Разработанная методика синтеза позволяет синтезировать наночастицы близкого друг другу размера, что положительно должно сказаться на их биологической активности. Синтез наночастиц селена осуществлялся из дихлордиацетофенонилселенида под воздействием аммиака при стабилизации наночастиц ТВИН-80. Было установлено, что наночастицы селена способны снижать степень тяжести отравления солями тяжелых металлов на примере хлорида меди, нитрата ртути и сульфата кадмия при пероральном применении на белых мышах линии BALB/c в дозе 1 мг/кг при $LD_{50}=200$ мг/кг, что представляет возможность использования данных наночастиц для предотвращения токсических воздействий на организм тяжелых металлов.

Ключевые слова: селен, наночастица, отравления тяжелыми металлами, ветеринарный препарат, сульфат кадмия, хлорид кобальта, нитрат ртути, кормовая добавка.

Для цитирования: Горшунова С.В., Козлов Е.С. Исследование возможности снятия отравлений тяжелыми металлами наночастицами селена // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 24-29. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_24.

Введение. Известно, что наночастицы селена обладают широким спектром биологической активности, однако особый интерес представляет возможность использования наночастиц селена при купировании техногенного воздействия на организм животных и человека, в частности воздействия тяжелых металлов, так как наночастицы обычно обладают более высокой биодоступностью в сравнении с принятыми в повседневной практике неорганическими солями (селенита и селенита натрия), так и органическими формами чаще всего представленных в виде обогащенных селеном дрожжей или селенметионина.

Известно, что наночастицы селена могут использоваться для активации антиоксидантной системы [1, 2, 3] и регенерации тканей [4, 5, 6], так же они находят применение при онкологических заболеваниях [7, 8], и патологии щитовидной железы [9].

Тяжелые металлы, которые попадают в организм животных и человека, влияют на различные физиологические функции, повышая количество свободно радикальных реакций, что в дальнейшем приводит к увеличению окислительного стресса в клетках, разрушая клеточные мембраны. Доказано влияние тяжелых металлов и на ферменты, белки, РНК и ДНК, что приводит к широкому спектру нарушений в организме [10].

Кобальт, является незаменимым микроэлементом, однако завышенное потребление кобальта приводит к ряду заболеваний, в частности анемии, неврологическим,

сердечно-сосудистым и эндокринным дисфункциям, а также нарушению слуховых и зрительных анализаторов [11].

Соли кадмия обладают токсическим эффектом с накопительными последствиями и представляют особую опасность для мочевыделительной системы, в частности к почечной недостаточности [12].

Ртуть и ее соли представляют особую опасность, связанную с накопительным эффектом и широким распространением данного металла при производстве в качестве побочного продукта, негативное воздействие ртути на организм животных и человека широк и может приводить к самым негативным воздействиям во всем спектре жизнедеятельности [13, 14, 15].

Цель работы: разработать метод синтеза наночастиц селена из селеноорганических соединений, стабилизированных разрешенных в фармацевтической практике поверхностно активным веществом ТВИН-80 и исследовать возможность их применения для снятия отравления тяжелыми металлами на примере сульфата кадмия, нитрата ртути и хлорида кобальта.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились на базе ЦКП «Молекулярная биология» и кафедры «Микробиология и биотехнология» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова». Для синтеза наночастиц селена (nSe) использовался

дихлордиацетофенонилселенид, который получали в одну стадию из ацетофенона, селенистой кислоты в условиях кислотного катализа. Для синтеза 1 моля дихлордиацетофенонилселенида при постоянном перемешивании в плоскодонную колбу, снабженную мешалкой и температуре 20°C к 2,4 моль ацетофенона растворенного в этиловом эфире уксусной кислоты, добавляли 1,1 моль селенистой кислоты, растворенной в воде и 3 моля хлороводорода в виде концентрированной соляной кислоты, через 120 минут полученный осадок отфильтровывали, далее промывали водой и ацетоном. Затем полученный дихлордиацетофенонилселенид растворяли в изопропиловом спирте и добавляли при постоянном перемешивании ТВИН-80, растворенный в воде при соотношении 9:1. В полученный раствор добавляли избыток аммиака и перемешивали на протяжении 5 часов, полученный раствор упаривали на ротационном испарителе и получали наночастицы селена с содержанием селена 10%.

Размер частиц определяли методом динамического рассеяния света на приборе Zetasizer Nano ZS.

Для проведения токсичности были использованы белые мыши линии BALB/c, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 32644-2014.

В модельных исследованиях на снятие отравления тяжёлыми металлами было создано 8 групп животных по 10 мышей в каждой.

Животным первой группы перорально вводили 0,89% раствор натрия хлорида в количестве 100 мкл в день на протяжении 7 дней, на 7 сутки через 2 часа после введения производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием внутренних органов (табл. 1, 2). Животным второй группы перорально вводили раствор наночастиц селена стабилизированных ТВИН-80 из расчета 1 мг/кг наночастиц селена в объеме 100 мкл в день на протяжении 7 дней, на 7 сутки через 2 часа после введения производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов (табл. 1, 2). Животным третьей группы перорально вводили раствор хлорида кобальта (CoCl_2) в объеме 100 мкл, с дозой 200 мг/кг в течение 7 суток, на 7 сутки через 2 часа после введения токсиканта производили

транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов (табл. 1, 2). Животным четвертой группы перорально вводили нитрат ртути ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) в количестве 100 мкл, с дозой 140 мг/кг. Вещества вводили в течение 7 суток, на 7 сутки через 2 часа после введения токсиканта производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов (табл. 1, 2). Животным пятой группы перорально вводили сульфат кадмия (CdSO_4) в количестве 100 мкл, с дозой 200 мг/кг, в течение 7 суток, на 7 сутки через 2 часа после введения токсиканта производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов (табл. 1, 2). Животным шестой группы вводили наночастицы селена стабилизированные ТВИН-80 из расчета 1 мг/кг наночастиц селена в количестве 100 мкл, а через 1 час вводили CoCl_2 (200 мг/кг), в течение 7 суток, на 7 сутки через 2 часа после введения токсиканта производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов (табл. 1, 2). Животным седьмой группы вводили наночастицы селена стабилизированные ТВИН-80 из расчета 1 мг/кг наночастиц селена в количестве 100 мкл, а через 1 час вводили $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ (140 мг/кг), в течение 7 суток, на 7 сутки через 2 часа после введения токсиканта производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов (табл. 1, 2). Животным восьмой группы вводили наночастицы селена стабилизированные ТВИН-80 из расчета 1 мг/кг наночастиц селена в количестве 100 мкл, а через 1 час вводили сульфат кадмия (CdSO_4) в количестве 100 мкл, с дозой 200 мг/кг, в течение 7 суток, на 7 сутки через 2 часа после введения токсиканта производили транслокацию шейных позвонков с дальнейшим отбором крови и исследованием органов.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного синтеза наночастиц были получены частицы размером 15-32 нм стабилизированные ТВИН-80, что было установлено методом динамического рассеяния света (табл. 1, рис. 1), при исследовании на острую токсичность в соответствии с ГОСТ 32644-2014 было установлено $\text{LD}_{50}=200$ мг/кг, что позволяет отнести наночастицы селена к 3 классу опасности.

Таблица 1 – Данные динамического рассеяния света наночастиц селена

Size d. nm	Mean Volume %	Size d. nm	Mean Volume %	Size d. nm	Mean Volume %	Size d. nm	Mean Volume %
3,122	3,6	5,615	14,1	10,10	3,9	58,77	0,1
3,615	12,6	6,503	10,3	11,70	2,4	68,06	0,1
4,187	19,0	7,531	7,7	13,54	1,2	78,82	0,1
4,849	18,1	8,721	5,7	15,69	0,5	91,28	0,1
				18,17	0,1		

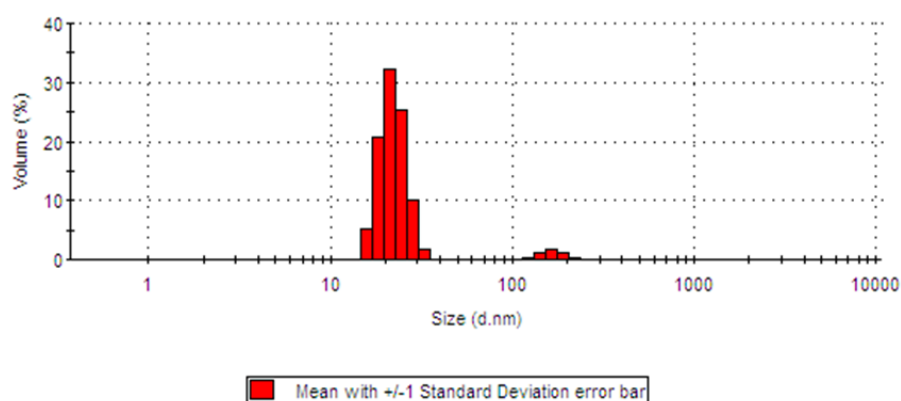


Рисунок 1 – Данные динамического рассеяния света наночастиц селена

В рамках испытания на модельных животных и по результатам вскрытия было установлено, что у животных 1, 2, 6, 7, 8 групп, отсутствие визуальных отклонений органов от нормы.

При этом установлено достоверное повышение трансаминаз в сыворотке крови мышей второй опытной группы АЛТ на 98% и АСТ на 38%, относительно интактных животных, которым в течение 7 дней вводили раствор наночастиц селена (табл. 2). При этом нарушений функциональной активности гепатобилиарной и мочевыделительной систем выявлено

не было. Это подтверждается результатами вскрытия животных, а также массовыми коэффициентами внутренних органов, где отклонений от физиологических значений не установлено (рис. 2, 3). Кроме того, отличий второй контрольной группы от интактных мышей первой группы не наблюдалось. Изменения аминотрансфераз в данной группе животных предположительно свидетельствует о повышении активности данных ферментов в результате воздействия селена на их активные центры.

Таблица 2 – Биохимические показатели сыворотки крови мышей экспериментальных групп

Показатель	Ед. изм.	№ группы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		0,89 % NaCl	nSe	CoCl ₂	Hg(NO ₃) ₂	CdSO ₄	nSe + CoCl ₂	nSe + Hg (NO ₃) ₂	nSe + CdSO ₄
АЛТ	Е/л	46 ±2,9	91 ±6*	124 ±7*	161 ±12*	106 ±9*	59 ±9	52 ±6	51 ±8
АСТ	Е/л	118 ±12	163 ±16*	216 ±29*	155 ±15*	206 ±23*	107 ±11	116 ±8	115 ±13
Щелочная фосфатаза	Е/л	113 ±5	123 ±11	296 ±23*	299 ±22*	204 ±21*	119 ±7	123 ±14	125 ±9
Мочевина	ммоль/л	6,4 ±0,6	6,5 ±0,6	12,7 ±1,8*	13,2 ±1,2*	9,9 ±1,9*	7,2 ±0,9	6,2 ±0,9	6,3 ±0,9
Креатинин	ммоль/л	25,1 ±1,3	26,1 ±1,7	81,2 ±4,4*	95,8 ±8,5*	82,5 ±4,4*	24,5 ±2,1	26,1 ±2,2	24,9 ±1,4
Глюкоза	ммоль/л	4,1 ±0,5	4,1 ±0,5	3,2 ±0,4	5,4 ±0,4	2,1 ±0,5*	4,6 ±0,2	4,3 ±0,7	4,8 ±0,6
Белок общий	г/л	52 ±2,8	55 ±6	66 ±7*	45,8 ±3,1*	71 ±6*	55 ±4	57 ±3	59 ±4
Альбумин	г/л	21,4 ±2,5	22,9 ±2,1	19,1 ±1,6	16,1 ±1,6*	15,2 ±1,1*	23,4 ±1,6	21,2 ±2,1	21,4 ±1,4
Глобулин	г/л	35,4 ±3,9	33,4 ±4,8	44,7 ±4,3*	31,2 ±2,4	56,6 ±4,3*	32,8 ±3,8	33,2 ±5,1	32,7 ±6,1

Примечание: * - Различие по данному показателю статистически достоверно между относительно первой интактной группы мышей ($p \leq 0,05$ при $t_{(p,n)} = 2,26$)

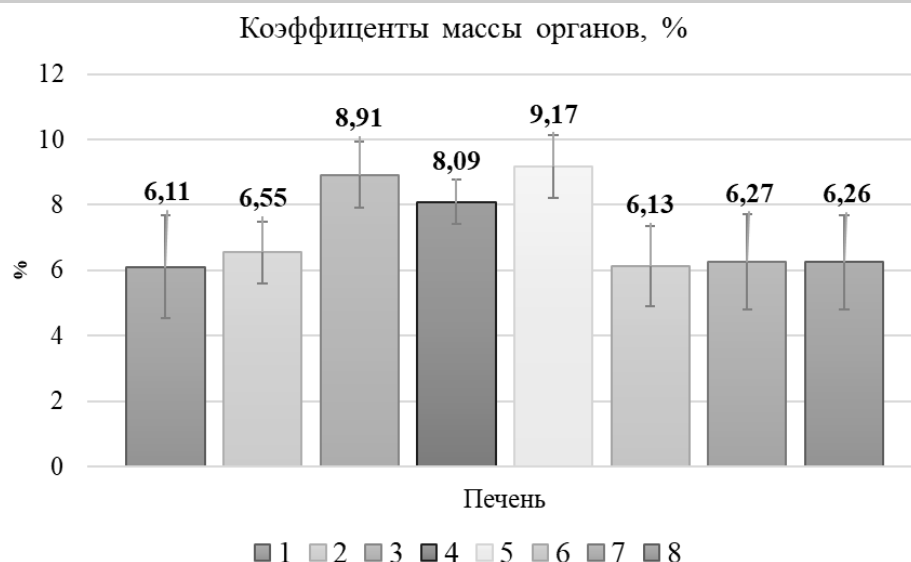


Рисунок 2 – Массовые коэффициенты печени мышей экспериментальных групп

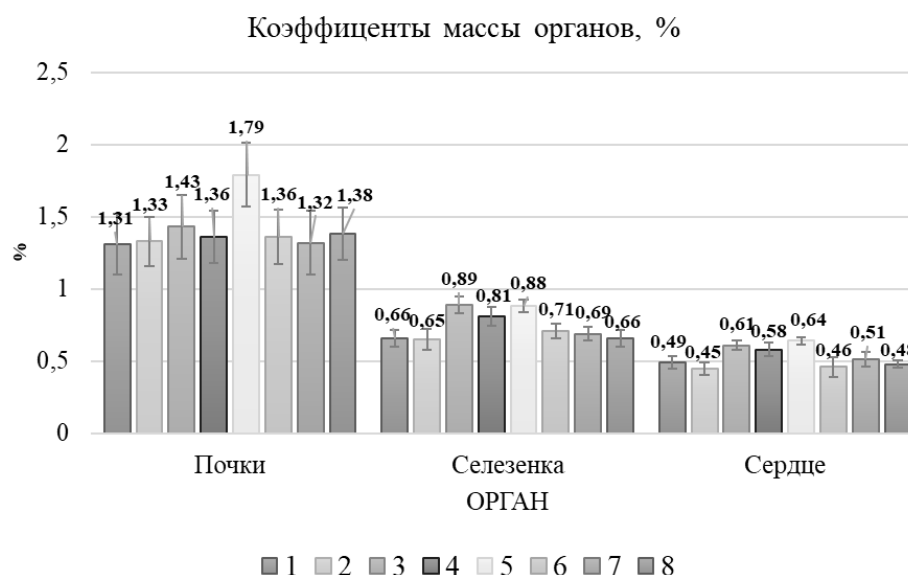


Рисунок 3 – Массовые коэффициенты внутренних органов мышей экспериментальных групп

В третьей, контрольной группе животных наблюдалось достоверное повышение индикаторных ферментов печени, АЛТ в 2,7 раза и АСТ на 83%, а также мембранного фермента щелочной фосфатазы в 2,6 раза, что указывает на повреждение клеточных мембран гепатоцитов, что подтверждается нарушением белкового метаболизма на 27%, увеличение глобулиновой фракции белка на 28%, а также достоверным снижением концентрации сывороточной глюкозы на 22%. Наряду с этим в третьей группе мышей отмечали нарушение функциональной активности почек, о чем свидетельствуют повышенные показатели мочевины на 98% и креатинина в 3,2 раза относительно интактных животных (табл. 2). Также на вскрытии наблюдали гиперемию печени, кровоизлияния в сердечной сорочке. Увеличение массовых коэффициентов печени на 46%, сердца на 24% и селезенки на 35% (рис. 2, 3).

В четвертой контрольной группе мышей,

которым вводили в течение 7 суток токсикант $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ отмечали достоверное увеличение активности аланин-и аспаратаминотрансфераз в 3,5 раза и 31% соответственно, щелочной фосфатазы в 2,6 раза, что указывает на повреждение печени, а также достоверное снижение общего белка на 12% за счет снижения альбуминовой фракции на 25%, что свидетельствует о нарушении функциональной активности органа. Поражение мочевыделительной системы, вызванное введением токсиканта характеризует достоверное увеличение мочевины в 2 раза и креатинина в 3,8 раза в сыворотке крови мышей (табл. 2). Также установлено достоверное увеличение массовых коэффициентов печени на 32%, селезенки на 23% и сердца на 18% (рис. 2, 3).

В пятой контрольной группе мышей, которым на протяжении семи дней орально вводили сульфат кадмия, отмечается достоверное увеличение трансаминаз (АЛТ в 2,3 раза и

АСТ на 75%) и щелочной фосфатазы на 81%, наряду со снижением альбуминовой фракции белка на 29% и достоверным повышением глобулинов на 60%. Данный факт указывает на нарушение функциональной активности печени на фоне повреждения гепатоцитов (табл. 1). Кроме того, отмечается достоверное увеличение коэффициентов печени на 50%, почек на 37%, селезенки на 33% и сердца на 31% при снижении массы тела животных (рис. 2, 3).

В опытных группах мышей, которым на протяжении семи дней наряду с токсикантами вводили раствор наночастиц селена стабилизированных ТВИН-80 показатели сыворотки крови не выходили за пределы референсных значений, отличий показателей опытных групп от интактного контроля выявлено не было (табл. 1). Массы мышей и

коэффициенты внутренних органов не отличались от контрольных значений первой группы животных, которым вводили 0,89% раствор NaCl (рис. 2, 3).

Выводы. Таким образом, установлено, что сконструированные наночастицы селена имеют размер 15-32 нм, относятся согласно ГОСТ 32644-2014 к 3 классу опасности. Пероральное применение раствора наночастиц селена стабилизированных ТВИН-80 мышам, в дозе 1 мг/кг по действующему веществу, в объеме 100 мкл, за 2 часа до введения токсиканта, препятствует токсическому действию хлорида кобальта, нитрата ртути и сульфата кадмия на организм животных.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что наночастицы могут использоваться как средства для снятия отравлениями тяжелых металлов.

Литература

1. Biopolymers Decorated Selenium Nanoparticle Scaffolds for Cardiac Tissue Engineering in C2C12 Cells / S. Naveenkumar, S. Chandramohan, J. R.S.S. Christyraj [et al.] // *BioNanoSci.* 2025. 15 (1). P. 32. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01707-3>.
2. Targets and Potential Mechanism of Chondroitin Sulfate A-selenium Nanoparticle on Kashin-Beck Disease Chondrocytes / H. Deng, F. Deng, X. Wen [et al.] // *Biol Trace Elem Res.* 2025. 203. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04584-3>.
3. Abbas H. S., Abou Baker D. H., Ahmed E. A. Cytotoxicity and antimicrobial efficiency of selenium nanoparticles biosynthesized by *Spirulina platensis* // *Arch Microbiol.* 2021. 203. P. 523–532. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-02042-3>.
4. Synthesis, characterization and antioxidant activity of selenium nanoparticle decorated with polysaccharide from hawthorn / J. Sun, J. Li, L. Yao [et al.] // *Food Measure.* 2023. 17. P. 6125–6134. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02124-y>.
5. Effects of Dietary Selenium Nanoparticle Supplementation on Antioxidant Status in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) / Seyede Somayeh Khavari, H. Manouchehri, S. Vatandoust [et al.] // *Biol Bull Russ Acad Sci.* 2025. 52(4). P. 1–11. <https://doi.org/10.1134/S1062359024612886>.
6. Enhanced Anticancer Efficacy of Selenium Nanoparticles Encapsulated in Niosomes: A Novel Therapeutic Strategy / F. Amiri, F. Alishahi, G. Mohammadifar [et al.] // *Ind J Clin Biochem.* 2025. <https://doi.org/10.1007/s12291-025-01321-4>.
7. Selenium Nanoparticles in Prostate Cancer: A Dual-Edged Sword of Therapeutic Potential and Toxicity / K.K. Karunakar, B.V. Cheriyan, H. Shakti, [et al.] // *Biomedical Materials & Devices.* 2025. <https://doi.org/10.1007/s44174-025-00445-8>.
8. Combination cancer treatment through photothermally controlled release of selenous acid from gold nanocages. *Biomaterials* / H. Cheng, D. Huo, C. Zhu [et al.] // 2018. 1(178). P. 517–526. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2018.03.058>.
9. Bano I., Hassan M.F. Kieliszek M. A Comprehensive Review of Selenium as a Key Regulator in Thyroid Health // *Biol Trace Elem Res.* 2025. 13. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04653-7>.
10. Heavy metals: toxicity and human health effects / K. Jomova, S.Y. Alomar, E. Nepovimova [et al.] // *Arch Toxicol.* 2025. 99. P. 153–209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>.
11. Occupational exposure to heavy metals: DNA damage induction and DNA repair inhibition prove co-exposures to cadmium, cobalt and lead as more dangerous than hitherto expected / J. G. Hengstler, U. Bolm-Audorff, A. Faldum [et al.] // *Carcinogenesis.* 2003. 24(1). P. 63–73. <https://doi.org/10.1093/carcin/24.1.63>.
12. Environmental mercury and its toxic effects / K. M. Rice, E. M. Jr Walker, M. Wu [et al.] // *J Prev Med Public Health.* 2014. 47(2). P. 74–83. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>.
13. Yan L. J., Allen D. C. Cadmium-Induced Kidney Injury: Oxidative Damage as a Unifying Mechanism // *Biomolecules.* 2021. 23. 11(11). P. 1575. <https://doi.org/10.3390/biom11111575>.
14. Kumar S., Sharma A., Sedha S. Occupational and environmental mercury exposure and human reproductive health - a review // *Journal of the Turkish German Gynecology Association.* 2022. 23 (3). P. 199–210. <https://doi.org/10.4274/jtgga.galenos.2022.2022-2-6>.
15. Janicki K., Dobrowolski J., Krasnicki K. Correlation between contamination of the rural environment with mercury and occurrence of leukaemia in men and cattle // *Chemosphere.* 1987. 16. P. 253–257. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(87\)90129-9](https://doi.org/10.1016/0045-6535(87)90129-9).
16. Virtanen J. K., Voutilainen S., Rissanen T. H. Mercury, fish oils, and risk of acute coronary events and cardiovascular disease, coronary heart disease, and all-cause mortality in men in eastern Finland // *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2005. 25(1). P. 228–33. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000150040.20950.61>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена в ходе проведения поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (№1024120300002-7-4.4.1).

Сведения об авторах:

Горшунова Софья Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры

«Микробиология и биотехнология», e-mail: Gorshunova.s.v@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9199-6071>
 Козлов Евгений Сергеевич – ассистент кафедры «Болезни животных и ветеринарно-санитарная экспертиза»,
 e-mail: j.kozlov69@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8009-4411>
 Вавиловский университет, г. Саратов, Россия

INVESTIGATION OF POSSIBILITY OF REMOVING HEAVY METAL POISONING USING SELENIUM NANOPARTICLES

S. V. Gorshunova, E. S. Kozlov

Abstract. Modern technological progress requires new solutions to stabilize human and animal health due to the increasing man-made impact on the environment. Global metal production is increasing annually, leading to continuous environmental pollution. It is particularly worth noting the negative effects of heavy metals, which have a prolonged and negative effect on living organisms. One potential application of selenium nanoparticles is their use in the treatment of heavy metal poisoning and given the literature on the potential use of organoselenium compounds for this purpose, and in small doses at that, this suggests not direct complexation with heavy metals, but rather the activation of the body's immune and antioxidant systems, thereby preventing the negative effects of toxicants. We have developed a new method for synthesizing selenium nanoparticles. This synthesis technique allows for the production of nanoparticles of similar sizes, which should positively impact their biological activity. Selenium nanoparticles were synthesized from dichlorodiacetophenonyl selenide using ammonia and stabilization of TVIN-80 nanoparticles. Selenium nanoparticles were found to reduce the severity of heavy metal poisoning, using copper chloride, mercuric nitrate and cadmium sulfate as examples, when administered orally to BALB/c mice at a dose of 1 mg/kg with an LD50 of 200 mg/kg. This suggests the potential for using these nanoparticles to prevent the toxic effects of heavy metals on the body.

Key words: selenium, nanoparticle, heavy metal poisoning, veterinary drug, cadmium sulfate, cobalt chloride, mercuric nitrate, feed additive.

For citation: Gorshunova S.V., Kozlov E.S. Investigation of possibility of removing heavy metal poisoning using selenium nanoparticles. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 24-29 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_24.

References

1. Naveenkumar S, Chandramohan S, Christyraj J.R.S.S. Biopolymers decorated selenium nanoparticle scaffolds for cardiac tissue engineering in C2C12 Cells. *BioNanoSci.* 2025; 15 (1). 32 p. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01707-3>.
2. Deng H, Deng F, Wen X. Targets and potential mechanism of chondroitin sulfate A-selenium nanoparticle on kashin-beck disease chondrocytes. *Biol Trace Elem Res.* 2025; 203. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04584-3>.
3. Abbas HS, Abou Baker DH, Ahmed EA. Cytotoxicity and antimicrobial efficiency of selenium nanoparticles biosynthesized by *Spirulina platensis*. *Arch Microbiol.* 2021; 203. 523-532 p. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-02042-3>.
4. Sun J, Li J, Yao L. Synthesis, characterization and antioxidant activity of selenium nanoparticle decorated with polysaccharide from hawthorn. *Food Measure.* 2023; 17. 6125-6134 p. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02124-y>.
5. Seyedeh Somayeh Khavari, Manouchehri H, Vatandoust S. Effects of dietary selenium nanoparticle supplementation on antioxidant status in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biol Bull Russ Acad Sci.* 2025; 52(4). 1-11 p. <https://doi.org/10.1134/S1062359024612886>.
6. Amiri F, Alishahi F, Mohammadifar G. Enhanced anticancer efficacy of selenium nanoparticles encapsulated in Niosomes: a novel therapeutic strategy. *Ind J Clin Biochem.* 2025; <https://doi.org/10.1007/s12291-025-01321-4>.
7. Karunakar KK, Cheriyan BV, Shakti H. Selenium nanoparticles in prostate cancer: a dual-edged sword of therapeutic potential and toxicity. *Biomedical Materials & Devices.* 2025; <https://doi.org/10.1007/s44174-025-00445-8>.
8. Cheng H, Huo D, Zhu C. Combination cancer treatment through photothermally controlled release of selenous acid from gold nanocages. *Biomaterials.* 2018; 1(178). 517-526 p. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2018.03.058>.
9. Bano I, Hassan MF, Kieliszek M. A comprehensive review of selenium as a key regulator in thyroid health. *Biol Trace Elem Res.* 2025; 13. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04653-7>.
10. Jomova K, Alomar SY, Nepovimova E. Heavy metals: toxicity and human health effects. *Arch Toxicol.* 2025; 99. 153-209 p. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>.
11. Hengstler JG, Bolm-Audorff U, Faldum A. Occupational exposure to heavy metals: DNA damage induction and DNA repair inhibition prove co-exposures to cadmium, cobalt and lead as more dangerous than hitherto expected. *Carcinogenesis.* 2003; 24(1). 63-73 p. <https://doi.org/10.1093/carcin/24.1.63>.
12. Rice KM, Jr Walker EM, Wu M. Environmental mercury and its toxic effects. *J Prev Med Public Health.* 2014; 47 (2). 74-83 p. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>.
13. Yan LJ, Allen DC. Cadmium-induced kidney injury: oxidative damage as a unifying mechanism. *Biomolecules.* 2021; 23. 11(11). 1575 p. <https://doi.org/10.3390/biom11111575>.
14. Kumar S, Sharma A, Sedha S. Occupational and environmental mercury exposure and human reproductive health - a review. *Journal of the Turkish German Gynecology Association.* 2022; 23 (3). 199-210 p. <https://doi.org/10.4274/jtgga.galenos.2022.2022-2-6>.
15. Janicki K, Dobrowolski J, Krasnicki K. Correlation between contamination of the rural environment with mercury and occurrence of leukaemia in men and cattle. *Chemosphere.* 1987; 16. 253-257 p. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(87\)90129-9](https://doi.org/10.1016/0045-6535(87)90129-9).
16. Virtanen JK, Voutilainen S, Rissanen TH. Mercury, fish oils, and risk of acute coronary events and cardiovascular disease, coronary heart disease, and all-cause mortality in men in eastern Finland. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2005; 25(1). 228-33 p. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000150040.20950.61>.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This work was conducted as part of exploratory research within the framework of a state assignment from Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 1024120300002 -7-4.4.1).

Authors:

Gorshunova Sofia Vladimirovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Assistant of Microbiology and Biotechnology Department, e-mail: Gorshunova.s.v@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9199-6071>
 Kozlov Evgeny Sergeevich – Assistant of Animal Diseases and Veterinary-Sanitary Expertise Department, e-mail: jkrus19@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8009-4411>
 Vavilov University, Saratov, Russia.

**НАНОЧАСТИЦЫ СЕЛЕНА СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ТВИН-80
ДЛЯ ВОСПОЛНЕНИЯ ДЕФИЦИТА СЕЛЕНА В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ****Я. Б. Древо, О. С. Ларионова, А. А. Шелковая, С. В. Ларионов**

Реферат. Наночастицы находят все большее применение в качестве, как компонентов, так и основных действующих веществ лекарственных средств и кормовых добавок, а особое место занимают наночастицы элементов, которые необходимы для жизнедеятельности живых организмов. Селен — это незаменимый микроэлемент, который участвует в различных процессах живых организмов, что подтверждается, как широким спектром гормонов и ферментов в состав которых он входит, так и научных статей, подтверждающих широкий спектр биологической активности и возможностей применения в повседневной ветеринарной практике. Однако в мире в большинстве используют соли селенистой и селеновой кислоты, в частности селенит натрия, который обладает высокой токсичностью, осложняет его использование и не позволяет часто в полной мере быстро восполнить дефицит данного микроэлемента, что в условиях высокой интенсификации промышленного животноводства повышает издержки и, как следствие, себестоимость. В данной работе рассмотрен новый метод синтеза наночастиц с использованием в качестве поставщика селена дихлордиацетофенилселенида и в качестве стабилизирующего компонента ТВИН-80, который позволил получать наночастицы селена с низкой себестоимостью размером 3-16 нм, что позволяет предполагать высокую усвояемость данных частиц, а растворимость в воде и высокие показатели дзета потенциала позволяют создавать стабильные коллоидные растворы, которые наиболее удобно применять, как перорально при выпаивании, так и инъекционно. Для впервые синтезированных наночастиц были проведены исследования по определению острой токсичности и местно-раздражающего действия, что позволяет вместе с анализом литературных данных говорить о высокой актуальности дальнейших исследований в области применения их в качестве одного или единственного действующего вещества в ветеринарных препаратах и/или кормовых добавках для животных и птиц.

Ключевые слова: селен, наночастица, острая токсичность, ветеринарный препарат, кормовая добавка.

Для цитирования: Древо Я.Б., Ларионова О.С., Шелковая А.А., Ларионов С.В. Наночастицы селена стабилизированные ТВИН-80 для восполнения дефицита селена в организме животных // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 30-35. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_30.

Введение. Селен незаменимый микроэлемент, который включен во многие жизненно важные процессы живых организмов, в частности: антиоксидантную систему [1, 2], особо стоит отметить высокие показатели наночастиц селена размером 15 нм [3], при метаболических заболеваниях, в частности, гипергликемии [4], антимикробную активность [5], фунгицидное действие [6], противоопухолевую активность [7, 8], нейрорегуляторных функций [9] и других заболеваний.

В последнее время в мире ведется активный поиск новых методов синтеза наночастиц селена, как с использованием классических химических методов синтеза, так и биотехнологических методов с использованием микроорганизмов [10, 11, 12], основным недостатком данных методов является отсутствие сочетания двух основных факторов: однородность размера частиц и низкая себестоимость [13, 14, 15]. Так многие биотехнологические методы синтеза показывая низкую себестоимость не позволяют получать наночастицы селена одинакового размера, а химические обладают высокой себестоимостью, при этом стоит отметить, что биологическая активность наночастиц сильно меняется в зависимости от их размера, а высокая цена не позволяет использовать их в повседневной ветеринарной практике. На данный момент времени в мире так и

не найдена относительно дешевая замена селениту натрия, который и используется в основном при восполнении данного микроэлемента у животных, одним из наиболее распространенных соледержащих биотехнологических продуктов являются обогащенные селеном дрожжи «Сел-плекс» выпускаемые компанией «Alltech» США [16], однако учитывая низкую концентрацию селена, данная разработка хоть и нашла широкое применение в мире, имеет недостатки связанные с низкой концентрацией селена.

В данной работе нами представлен новый метод синтеза наночастиц селена, который может быть успешно применен в ветеринарии за счет использования отечественных компонентов, и обладающий низкой себестоимостью, при высокой концентрации селена и токсичности, позволяющей успешно включать данные наночастицы, как в рационы кормления, так и в качестве компонента в ветеринарные препараты.

Цель работы - разработать новый метод синтеза наночастиц селена заданного размера стабилизированных фармакопейным поверхностно активным веществом, для дальнейшего применения в ветеринарной практике, как для восполнения дефицита селена в организмах животных и человека, так и для таргетной доставки.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились на базе ЦКП «Молекулярная биология» и кафедры «Микробиология и биотехнология» ФГБОУ ВО Вавиловского университета.

Для синтеза наночастиц селена использовался дихлордиацетофенонилселенид, который получали в одну стадию из ацетофенона, селенистой кислоты в условиях кислотного катализа.

Для синтеза 1 моля дихлордиацетофенонилселенида при постоянном перемешивании в плоскодонную колбу, снабженную мешалкой при температуре 20°C к 2,4 моль ацетофенона растворенного в этиловом эфире уксусной кислоты, добавляли 1,1 моль селенистой кислоты, растворенной в воде и 3 моля хлороводорода в виде концентрированной соляной кислоты, через 120 минут полученный осадок отфильтровывали и промывали водой и ацетоном.

Далее полученный дихлордиацетофенонилселенид растворяли в изопропиловом спирте и добавляли при постоянном перемешивании ТВИН-80 в отношении 10:1 растворенный в воде. В полученный раствор добавляли избыток аммиака и перемешивали на протяжении 5 часов, полученный раствор упаривали на ротаторном испарителе и получали наночастицы селена с содержанием селена 10%.

Размер частиц определяли методом динамического рассеяния света на приборе Zetasizer Nano ZS.

Для проведения токсичности были использованы белые мыши линии BALB/c, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 32644-2014.

Исследования местно-раздражающего действия проводили на 3 кроликах - самцах возвратом 1 год, породы Советская шиншилла. Для этого за 24 ч до начала проведения исследования выстригали шерсть на участках площадью примерно 10 см по обеим сторонам спины для аппликации и наблюдения. Раствором наночастиц смачивали кусочек марли размером 2×2 см, в объеме 0,5 мл. Прикладывали к переднему краю выстриженного участка спины справа и к заднему – слева. Также смачивали растворителем аналогичные кусочки марли в объеме 0,5 мл, в качестве растворителя использовали дистиллированную воду. Далее покрывали места аппликаций окклюзионной повязкой на 4 ч. Через 4 часа повязку снимали и проводили оценку кожи в месте аппликаций через 1, 24, 48 и 72 ч после удаления образцов.

Изучение гиперчувствительности замедленного типа проводили методом максимального сенсибилизирующего воздействия (ГРМТ), с использованием 8 голов кроликов породы Советская шиншилла, 5 опытных и 3 контрольных.

Опытной группе кроликов (n=5) в выстриженные участки кожи проводили парные

внутрикожные инъекции в объеме 0,1 мл. И вносили следующие растворы: 50% раствор адьюванта Фрейнда, наночастицы селена и наночастицы селена с 50% раствором адьюванта Фрейнда, каждая дозировка составляла 100 мкл.

Контрольной группе животных (n=3) в выстриженные участки кожи проводили парные внутрикожные инъекции в объеме 0,1 мл. И вносили следующие растворы: 50% раствор адьюванта Фрейнда, растворитель наночастиц (дистиллированная вода) и дистиллированная вода с 50% раствором адьюванта Фрейнда, каждая дозировка составляла 100 мкл.

Через 7 суток внутрикожной индукционной фазы начинали делать аппликации раствором наночастиц селена.

Для аппликаций пропитывали раствором наночастиц селена фильтровальную бумагу, которые прикладывали на выстриженные участки кожи и фиксировали окклюзионной повязкой вокруг тела животного.

Через 24 ч бумага с раствором удалялась и оценивалось состояние исследуемых участков на наличие эритемы и отека.

При отсутствии реакции на максимальную концентрацию область аппликации 10%-ным раствором натрия додецилсульфата, массируя в кожу за сутки до аппликации. Через 2 недели после завершения местной индукционной фазы, накладывали на свежесбранные интактные участки кожи кролика, пропитанные исследуемым раствором ватно-марлевые диски, фиксировали окклюзионной повязкой. Удаляли повязку через 24 часа. Все растворы готовили непосредственно перед применением.

После удаления повязки проводили оценку выстриженных участков кожи по Magnusson и Klignan.

Изучение раздражающего и сенсибилизирующего действия выполняли согласно протоколу описанному в ГОСТ Р ИСО 10993-10-2009, в нашей модификации.

Результаты и обсуждение. Для синтеза однородных по размеру наночастиц необходимо сочетание нескольких факторов, в частности сочетания скорости образования элемента и концентрации поверхностно активного вещества стабилизирующих наночастицы, при этом основная стоимость обычно состоит в стадии очистки полученных частиц от примесей и микрочастиц. В описываемом синтезе нами был подобран оптимальный поставщик селена дихлордиацетофенонилселенид, который при приведенных концентрациях ТВИН-80 позволял получать однородные наночастицы, которые в дальнейшем не требовали дорогостоящих методов очистки. Выход наночастиц селена составлял более 90% от теоретического. Анализ методом динамического рассеяния света при 25°C позволил установить, что полученные наночастицы селена имели размер 3-16 нм (табл. 1, рис. 1), а дзета потенциал составил - 11,3 мВ.

Таблица 1 – Данные динамического рассеяния света наночастиц селена

Size d. nm	Mean Volume %	Std Dev Volume %	Size d. nm	Mean Volume %	Std Dev Volume %	Size d. nm	Mean Volume %	Std Dev Volume %	Size d. nm	Mean Volume %	Std Dev Volume %
0,4000	0,0		5,615	14,1		78,82	0,1		1106	0,0	
0,4632	0,0		6,503	10,3		91,28	0,1		1281	0,0	
0,5365	0,0		7,531	7,7		105,7	0,0		1484	0,0	
0,6213	0,0		8,721	5,7		122,4	0,0		1718	0,0	
0,7195	0,0		10,10	3,9		141,8	0,0		1990	0,0	
0,8332	0,0		11,70	2,4		164,2	0,0		2305	0,0	
0,9649	0,0		13,54	1,2		190,1	0,0		2669	0,0	
1,117	0,0		15,69	0,5		220,2	0,0		3091	0,0	
1,294	0,0		18,17	0,1		255,0	0,0		3580	0,0	
1,499	0,0		21,04	0,0		295,3	0,0		4145	0,0	
1,736	0,0		24,36	0,0		342,0	0,0		4801	0,0	
2,010	0,0		28,21	0,0		396,1	0,0		5560	0,0	
2,328	0,0		32,67	0,0		458,7	0,0		6439	0,0	
2,696	0,0		37,84	0,0		531,2	0,0		7456	0,0	
3,122	3,6		43,82	0,0		615,1	0,0		8635	0,0	
3,615	12,6		50,75	0,0		712,4	0,0		1,000e ⁴	0,0	
4,187	19,0		58,77	0,1		825,0	0,0				
4,849	18,1		68,06	0,1		955,4	0,0				

Statistics Graph (1 measurements)

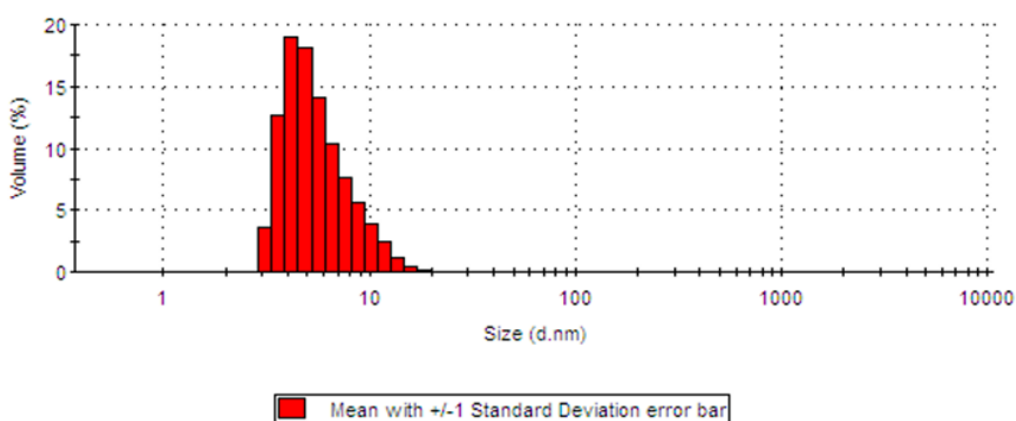


Рисунок 1 – Данные динамического рассеяния света наночастиц селена

Для определения перспективности полученных наночастиц в качестве кормовой добавки и/или ветеринарного препарата одним из необходимых критериев является проведение доклинических исследований и, в частности, установления острой токсичности и местного-раздражающего действия.

В соответствии с ГОСТ 32644-2014 нами использовались мыши линии BALB/c массой 18-20 г каждой из которой вводили внутривенно 100 мкл раствора наночастиц селена с дозировкой 5 мг/кг, 50 мг/кг, 300 мг/кг, 2000 мг/кг. В каждой группе животных было по три головы, что позволяло минимизировать

в соответствии с требованиями о гуманном обращении с животными, количество задействованного биоматериала, с сохранением необходимой точности. На первом этапе было введено трем животным 100 мкл раствора наночастиц селена в дозировке 5 мг/кг и при наблюдении в течение 14 суток установлено отсутствие смертности, на втором этапе нами трем животным вводились наночастицы селена с дозировкой 50 мг/кг, при этом наблюдение в течение 14 суток выявило смерть одного животного на 11 сутки. Далее еще трем животным были введены наночастицы селена в дозировке 300 мг/кг, на протяжении 14 суток падежа отмечено не было, на следующем этапе трем животным вводили наночастицы селена в дозировке 2000 мг/кг, наблюдение в течение 14 суток показало падеж трех животных на 5, 9 часы и через 2-е суток после введения. Исходя из представленных данных наночастицы селена относятся к 4 классу опасности с $LD_{50} = 500$ мг/кг.

В результате проведенного эксперимента по оценке местно-раздражающего действия раствора наночастиц селена на кожу кролика при однократном нанесении установлено, что раствор не оказывал раздражающего действия на кожу кроликов. В месте аппликаций кожа имела бледно-розовый цвет, умеренно влажная, эластичная. Патологических изменений кожного покрова в месте нанесения, как раствора наночастиц, так и растворителя выявлено не было.

В ходе изучения сенсибилизирующего действия раствора наночастиц селена, после

внутрикожной индукционной фазы отмечали местное покраснение и припухание кожного покрова в местах инъекций. Через 7 дней перед накожной аппликацией исследуемого раствора на места инъекций, осмотром кожного покрова выявлены незначительные остаточные припухлости в месте инъекций растворов с полным альювантом Фрейда, покраснений выявлено не было. В месте введения исследуемого вещества, изменения кожного покрова отсутствовали.

Через 15 дней после удаления окклюзионной повязки с интактных мест аппликации раствора наночастиц селена изменений кожного покрова выявлено не было. Кожа в месте аппликации была бледно-розового цвета, умеренно влажная, эластичная.

Таким образом, можно констатировать, что раствор наночастиц селена не обладает местно-раздражающим действием на кожу и не оказывает сенсибилизирующего действия на кожу кроликов.

Выводы. В результате проведенных исследований был разработан новый метод синтеза наночастиц селена размером 3-16 нм и установлено, $LD_{50} = 500$ мг/кг, что соответствует 4 классу опасности. При проведении исследований на местно-раздражающее действие в рамках определения гиперчувствительности замедленного типа, который осуществлялся методом максимального сенсибилизирующего воздействия, установлено, отсутствие алергизирующего действия препарата на организм опытных животных.

Литература

1. Jain V. K., Priyadarsini I. K. Antioxidant Activity and Cytotoxicity of Selenium Incorporated Biologically Inspired N-Heteroaryl Compounds // *Biol Trace Elem Res.* 2025. 23. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04694-y>.
2. Towards multifunctional antioxidants: synthesis, electrochemistry, in vitro and cell culture evaluation of compounds with ligand/catalytic properties / C. A. Collins, F. H. Fry, A. L. Holme, Yiakouvakis A., Al-Qenaei A., Pourzand C., Jacob C. Org // *Biomol Chem.* 2005. 3(8). 1541-6. <https://doi.org/10.1039/b503282m>.
3. Al-Shimmery S. M., Al-Thwani A. N. Synthesis and Characterization of Selenium-Enterolysin-A Nanohybrid System and Its Promising Biological Activities // *BioNanoSci.* 2024. 14. P. 5203–5216. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01584-w>.
4. Das U., Mali S. N. & Mandal S. Unveiling the Ameliorative Effects of Phyto-selenium Nanoparticles (PSeNPs) on Anti-hyperglycemic Activity and Hyperglycemia Irradiated Complications // *BioNanoSci.* 2025. Vol. 15. № 231. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-01830-9>.
5. Eco-friendly fabrication of selenium oxide nanoparticles by low-temperature plasma technique and evaluation of their antimicrobial activity/ N. K. Abdalameer, N. J. Ghdeeb, K. A. Khalaph [et al.] / *Eur. Phys. J. D.* 2025. Vol. 79. № 7. <https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-025-00952-9>.
6. Gharieb M. M., Omara M. S., Soliman A. M. Antifungal Activity of Mycogenic Selenium Nanoparticles Conjugated with Fungal Nano Chitosan Against Three Important Phytopathogenic Fungi // *BioNanoSci.* 2025. Vol. 15. № 229. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-01836-3>.
7. Enhanced Antitumor and Antimetastatic Activity of pH-Responsive Curcumin-Loaded Chitosan-Selenium Nanocomposites against Breast Cancer / Z. Karami, E. Aghajani, M. Salami [et al.] // *BioNanoSci.* 2024. 14. P. 4679–4691. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01431-y>.
8. Salah M., Elkabbany N. A.S., Partila A. M. Evaluation of the cytotoxicity and antibacterial activity of nano-selenium prepared via gamma irradiation against cancer cell lines and bacterial species // *Sci. Rep.* 2024. 14. P. 20523. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69730-8>.
9. Multi-therapeutic-activity selenium nanodot toward preventing brain injury and restoring neurobehavioral functions following hemorrhagic stroke / Y. Zhang, X. Wang, X. Niu [et al.] / *J. Nanobiotechnol.* 2024. Vol. 22. № 564. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02847-0>.
10. Synthesis and Biomedical Based Applications of Selenium Nanoparticles: A Comprehensive Review / P. Raturi, N. Ahmad, N. Rawat [et al.] / *Indian J. Microbiol.* 2025. 65. P. 204–215. <https://doi.org/10.1007/s12088-024-01302-w>.
11. Panov D. A., Katsev A. M. Omel'chenko A. V. Synthesis and Properties of Selenium Nanoparticles in a Natural Polysaccharide Matrix // *Russ J. Bioorg. Chem.* 2023. 49. P. 1567–1576. <https://doi.org/10.1134/S1068162023070853>.

12. Nucleation and growth of zinc-templated mesoporous selenium nanoparticles and potential non-thermal effects during their microwave-assisted synthesis / M. Borowska, K. Jankowski, M. Trzaskowski [et al.] // *Sci. Rep.* 2024. 14. P. 31444. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83124-w>.
13. Green synthesis and optimization of selenium nanoparticles using chitosan or cationic cellulose nanofibers. / S. Sam, N. Fiol, R. J. Aguado [et al.] // *Cellulose*. 2025. 32. P. 919–940. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-06341-6>.
14. Zvereva M., Zhmurova A., Shendrik R. The Use of Spectral Methods for the “Ensemble” Assessment of Synthesis Dynamics of the Arabinogalactan-Stabilized Selenium Nanoparticles // *J. Clust. Sci.* 2024. 35. P. 809–825. <https://doi.org/10.1007/s10876-023-02525-5>.
15. Eco-friendly synthesis of silver and selenium-doped calcium oxide nanoparticles using *Caccinia macranthera*: investigating cytotoxicity and photocatalytic efficacy / N. Khandan Nasab, Z. Sabouri, L. Gholami [et al.] // *Emergent mater.* 2025. <https://doi.org/10.1007/s42247-025-01151-3>.
16. Стрельцов В. А., Рябичева А. Е., Билецкий И. М. Влияние кормовых добавок "Сел-плекс" и "Йоддар" на продуктивность бычков // *Вестник Брянской ГСХА*. 2023. № 2(96). С. 50-56. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2023-96-2-50-56>. EDN ASNNHA.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена в ходе проведения поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (№1024120300002-7-4.4.1).

Сведения об авторах:

Древко Ярослав Борисович – кандидат химических наук, заведующий кафедрой «Микробиология и биотехнология», e-mail: drevko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4007-2140>

Ларионова Ольга Сергеевна* – доктор биологических наук, директор института ветеринарной медицины и фармации, e-mail: larioanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5457-0306>

Шелковая Анастасия Андреевна – младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных и прикладных исследований, e-mail: shelkovaya_nastena@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7379-6678>

Ларионов Сергей Васильевич – доктор ветеринарных наук, член-корреспондент РАН, профессор, профессор кафедры «Болезни животных и ветеринарно-санитарная экспертиза», e-mail: lars.sgau@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5024-161X>

Вавиловский университет, Саратов, Россия

TVIN-80 STABILIZED SELENIUM NANOPARTICLES FOR REPLENISHING SELENIUM DEFICIENCY IN ANIMALS

Ya. B. Drevko, O. S. Larioanova, A. A. Shelkovaya, S. V. Larioinov

Abstract. Nanoparticles are increasingly used as both components and active ingredients in medications and feed additives, with nanoparticles of elements essential for vital functions of living organisms occupying a special place. Selenium is an essential trace element involved in various processes in living organisms, as evidenced by the wide range of hormones and enzymes it is a component of, as well as scientific articles, confirming its broad range of biological activity and potential applications in everyday veterinary practice. However, worldwide, the majority of selenium salts used are selenous and selenic acids, particularly sodium selenite. Their high toxicity complicates their use and often prevents the rapid and complete replenishment of this micronutrient deficiency. This, in the context of highly intensified industrial livestock farming, increases costs and, consequently, the cost of production. This paper discusses a new method for synthesizing nanoparticles using dichlorodiacetophenonyl selenide as a selenium source and TVIN-80 as a stabilizing component, which made it possible to obtain selenium nanoparticles with a low cost price of 3-16 nm in size, which suggests high digestibility of these particles, and solubility in water and high zeta potential values make it possible to create stable colloidal solutions that are most convenient to use, both orally by drinking and by injection. Acute toxicity and local irritant effects of the newly synthesized nanoparticles were studied. Coupled with literary data analysis it allows us to speak about the high relevance of further research in the field of their use as one or the only active substance in veterinary drugs and/or feed additives for animals and birds.

Key words: selenium, nanoparticle, acute toxicity, veterinary drug, feed additive.

For citation: Drevko Ya.B., Larioanova O.S., Shelkovaya A.A., Larioinov S.V. TVIN-80 stabilized selenium nanoparticles for replenishing selenium deficiency in animals. *Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine*. 2025; 264(4). 30-35 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_30.

References

1. Jain VK, Priyadarsini IK. Antioxidant activity and cytotoxicity of selenium incorporated biologically inspired n-heteroaryl compounds. *Biol Trace Elem Res*. 2025; 23. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04694-y>.
2. Collins CA, Fry FH, Holme AL, Yiakouvakis A, Al-Qenaei A, Pourzand C, Jacob C. Towards multifunctional antioxidants: synthesis, electrochemistry, in vitro and cell culture evaluation of compounds with ligand/catalytic properties. *Org. Biomol Chem*. 2005; 3(8). 1541-6. <https://doi.org/10.1039/b503282m>.
3. Al-Shimmary SM, Al-Thwani AN. Synthesis and characterization of selenium-enterolysin-a nanohybrid system and its promising biological activities. *BioNanoSci*. 2024; 14. 5203-5216 p. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01584-w>.
4. Das U, Mali SN. & Mandal S. Unveiling the ameliorative effects of phyto-selenium nanoparticles (PSeNPs) on anti-hyperglycemic activity and hyperglycemia irradiated complications. *BioNanoSci*. 2025; Vol.15. 231. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-01830-9>.
5. Abdalameer NK, Ghdeeb NJ, Khalaph KA. Eco-friendly fabrication of selenium oxide nanoparticles by low-temperature plasma technique and evaluation of their antimicrobial activity. *Eur. Phys. J. D*. 2025; Vol.79. 7. <https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-025-00952-9>.
6. Gharieb MM, Omara MS, Soliman AM. Antifungal activity of mycogenic selenium nanoparticles conjugated with fungal nano chitosan against three important phytopathogenic fungi. *BioNanoSci*. 2025; Vol.15. 229. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-01830-9>.

doi.org/10.1007/s12668-025-01836-3.

7. Karami Z, Aghajani E, Salami M. Enhanced antitumor and antimetastatic activity of pH-responsive curcumin-loaded chitosan-selenium nanocomposites against breast cancer. *BioNanoSci.* 2024; 14. 4679-4691 p. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01431-y>.

8. Salah M, Elkabbany NAS, Partila AM. Evaluation of the cytotoxicity and antibacterial activity of nano-selenium prepared via gamma irradiation against cancer cell lines and bacterial species. *Sci. Rep.* 2024; 14. 20523 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69730-8>.

9. Zhang Y, Wang X, Niu X. Multi-therapeutic-activity selenium nanodot toward preventing brain injury and restoring neurobehavioral functions following hemorrhagic stroke. *J. Nanobiotechnol.* 2024; Vol.22. 564. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02847-0>.

10. Raturi P, Ahmad N, Rawat N. Synthesis and biomedical based applications of selenium nanoparticles: a comprehensive review. *Indian J. Microbiol.* 2025; 65. 204-215 p. <https://doi.org/10.1007/s12088-024-01302-w>.

11. Panov DA, Katsev AM, Omelchenko AV. Synthesis and properties of selenium nanoparticles in a natural polysaccharide matrix. *Russ J. Bioorg. Chem.* 2023; 49. 1567-1576 p. <https://doi.org/10.1134/S1068162023070853>.

12. Borowska M, Jankowski K, Trzaskowski M. Nucleation and growth of zinc-templated mesoporous selenium nanoparticles and potential non-thermal effects during their microwave-assisted synthesis. *Sci. Rep.* 2024; 14. 31444 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83124-w>.

13. Sam S, Fiol N, Aguado RJ. Green synthesis and optimization of selenium nanoparticles using chitosan or cationic cellulose nanofibers. *Cellulose.* 2025; 32. 919-940 p. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-06341-6>.

14. Zvereva M, Zhmurova A, Shendrik R. The use of spectral methods for the “Ensemble” assessment of synthesis dynamics of the arabinogalactan-stabilized selenium nanoparticles. *J. Clust. Sci.* 2024; 35. 809-825 p. <https://doi.org/10.1007/s10876-023-02525-5>.

15. Khandan Nasab N, Sabouri Z, Gholami L. Eco-friendly synthesis of silver and selenium-doped calcium oxide nanoparticles using *Caccinia macranthera*: investigating cytotoxicity and photocatalytic efficacy. *Emergent mater.* 2025; <https://doi.org/10.1007/s42247-025-01151-3>.

16. Streltsov VA, Ryabicheva AE, Biletskiy IM. [The effect of Sel-pleks and Yoddar feed additives on productivity of young bulls]. *Vestnik Bryanskoy GSKhA.* 2023; 2(96). 50-56 p. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2023-96-2-50-56>. EDN ASNNHA.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This work was conducted as part of exploratory research within the framework of the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 1024120300002-7-4.4.1).

Authors:

Drevko Yaroslav Borisovich – Ph.D. of Chemical Sciences, Head of Microbiology and Biotechnology Department, e-mail: drevko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4007-2140>

Larionova Olga Sergeevna* – Doctor of Biological Sciences, Director of Veterinary Medicine and Pharmacy Institute, e-mail: larionova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5457-0306>

Shelkovaya Anastasiya Andreevna – junior researcher of Fundamental and Applied Research Laboratory, e-mail: shelkovaya_nastena@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7379-6678>

Larionov Sergey Vasilevich – Doctor of Veterinary Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Professor of Animal Diseases and Veterinary-Sanitary Expertise Department, e-mail: lars.sgau@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5024-161X>

Vavilov University, Saratov, Russia.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ СЫЧУГА У МОЛОЧНЫХ КОРОВ**А. Е. Калашников, Н. Г. Букаров, Е. Р. Гостева, Т. М. Ахметов**

Реферат. Проведено исследование биохимических показателей крови крупного рогатого скота для определения пороговых значений нормы и патологии при смещении сычуга. Методология включает оценку метаболических процессов и иммунного статуса животных с целью совершенствования системы мониторинга здоровья молочного скота и профилактики нарушений обмена веществ. Цель исследования заключалась в разработке и валидации методики биохимической диагностики дистопии сычуга и метаболических нарушений у лактирующих коров с применением современного аналитического оборудования. Проведено исследование биохимических показателей крови новотельных коров голштинской породы 1–2 лактации. В контрольной группе определены бета-гидроксимасляная кислота $0,25 \pm 0,52$ г/моль, лактат $1,8 \pm 0,71$ ммоль/л, инсулин $7,9 \pm 1,20$ пмоль/л, мочевины $3,15 \pm 1,58$ пмоль/л. При левом смещении сычуга повышенные значения: бета-гидроксимасляная кислота $1,8 \pm 0,36$ г/моль, лактат $2,45 \pm 0,49$ ммоль/л, инсулин $12,15 \pm 0,83$ пмоль/л, мочевины $8,1 \pm 1,09$ пмоль/л. При правом смещении сычуга выявлены критические отклонения: снижение бета-гидроксимасляной кислоты до $0,15 \pm 0,60$ г/моль, максимальный уровень лактата $4,25 \pm 0,82$ ммоль/л, гипергликемия $125,5 \pm 23,12$ мг/дл, повышение гамма-глутамилтрансферазы до $86,4 \pm 16,64$ ед/л, АСТ $163 \pm 29,28$ ед/л. Показано повышение уровня НЭЖК во всех экспериментальных группах, увеличение гамма-глутамилтрансферазы гипергликемии при правом смещении, повышение АСТ во всех группах относительно контроля. При оценке минерального обмена установлены показатели: кальций $10,1$ мг% ($8,45$ – $12,42$ мг%), фосфор $8,1$ мг% ($4,9$ – $11,95$ мг%), креатинин $97,5$ мкмоль/л ($35,4$ – $145,2$ мкмоль/л), холестерин $158,7$ мг% ($95,3$ – $198,3$ мг%). Выявлены ключевые биохимические маркеры крови новотельных коров (гамма-глутамилтрансфераза, аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, бета-гидроксимасляная кислота, лактат, мочевины, инсулин, глюкоза, липопротеины низкой плотности), позволяющие на ранних стадиях диагностировать смещение сычуга и метаболические нарушения. Измеренные пороговые значения показателей как для здоровых, так и для животных со смещением, дают возможность оценивать отклонения от нормы. Дополнительно измерение мочевины в крови и молоке может служить индикатором сопутствующего заболеванию нарушения питания.

Ключевые слова: биомаркеры, смещение сычуга, голштинская порода, кетоз, атония, гиперкетонемия, метаболические нарушения.

Для цитирования: Калашников А.Е., Букаров Н.Г., Гостева Е.Р., Ахметов Т.М. Применение биохимических маркеров для ранней диагностики и предупреждения смещения сычуга у молочных коров // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 36–43. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_36.

Введение. Современные алгоритмы улучшения здоровья и иммунитета дойных коров базируются на глубоком понимании влияния производственных условий на продуктивные характеристики. Важную значимость приобретает внедрение результатов оценки профилактики нарушений обмена веществ при заболеваниях внутренних органов в молочном животноводстве [1]. Биомаркерами смещения сычуга и нарушений метаболизма у коров являются показатели крови, образование метана в желудке [2, 3], гиперкетонемия, а также нарушения, связанные с уровнем белкового рациона [2, 4].

Экономический ущерб смещения сычуга у коров связан со снижением молочной продуктивности, увеличением затрат на ветеринарное обслуживание и лечение сопутствующего кетоза. Своевременное выявление заболевания позволяет снизить риск уменьшения удоев и выбраковки коров из стада, что помогает предотвратить финансовые потери для владельцев скота [5].

Исследования показывают, что смещение сычуга в брюшной полости у коров происходило в начальный период лактации вследствие

влияния плода в матке на расположение сычуга, выдавливая его со дна брюшной полости. При соблюдении нормальных условий кормления и содержания, частота заболевания находится на уровне менее 1%. Однако, при несоблюдении рационов кормления, могла превышать 5%. По этиологии болезнь напоминает атонию сычуга [5], при которой прекращались его сокращения, что приводило к потере аппетита, отказу от корма и вздутию брюшной полости [3, 6, 7]. Биохимические исследования крови показали повышение содержания бетагидроксимасляной кислоты и ацетона на фоне снижения концентрации апополипротеина В100, что в дальнейшем вызывало у коров жировую дистрофию печени.

Позднее выявление смещения сычуга по фенотипу приводит к ухудшению обмена веществ и необходимости оперативного вмешательства. Это, в свою очередь, изменяет сроки хозяйственного использования коров и ухода от содержания за ними. Оперативное вмешательство более эффективно на более ранних сроках. Изменение биохимических показателей крови происходит раньше проявления клинических признаков. Поэтому внедрение и

апробирование методов ранней инструментальной диагностики, в т.ч. биохимическими методами, в настоящее время, является актуальным вопросом и требует разработки и внедрения методологии экспресс-тестирования для раннего выявления смещения сычуга у новотельных коров [3].

Целью работы была апробация методологического подхода биохимической диагностики смещения сычуга и связанных с этих нарушений обмена веществ у молочного скота с использованием современного и высокоточного оборудования для биохимического анализа. Задачами исследования являлось измерение гематологических и биохимических показателей крови животных при смещении сычуга и в норме, и выявление коров с возможностью возникновения сопутствующих нарушений обмена веществ.

Условия, материалы и методы. Работа выполнена в рамках сотрудничества племенной организации «Московское по племенной работе» в Московской государственной ветеринарной академии им. К.И. Скрябина и Отдела генетики сельскохозяйственных животных ФГБНУ Всероссийского государственного научно-исследовательского института племенного дела Минсельхоза России. Биологическими объектами исследования были племенные новотельные коровы голштинской породы (n=46), с следующей продуктивностью: удой 7146-8630 кг/305 дн. 1-2 лактации, с содержанием жира в молоке 4,10-4,15%. В исследовании количество коров, которые находились в нормальном состоянии составило 12 голов, с патологией (с симптомами смещения сычуга) 34 головы.

По ранее предложенным рекомендациям [3] проведены исследования по диагностике смещения сычуга (далее «смещения»), основанные на принципах ветеринарной диспансеризации по состоянию новотельных коров. Отбор здоровых и животных со смещением сычуга проводили в ходе клинического наблюдения за стадом, фиксируя изменения частоты дыхания и пульса, температуры тела, а также результаты перкуссии и аускультации грудной клетки. Для дальнейшего анализа сформировали две группы животных: 1 группа - с левосторонним «Л» (n=25), 2 группа - с правосторонним «П» (n=9) смещением сычуга.

В качестве биоиндикаторов использовали автоматизированный сбор биохимических показателей обмена веществ и кетозных нарушений в сыворотке крови без антикоагулянта. Исследование проводили с помощью автоматизированного биохимического анализатора крови и коммерческих наборов реагентов HemWell 2910 (США) с соблюдением рекомендаций производителя и ГОСТ ИСО/МЭК 17025 (2019).

Концентрацию гамма-глутамилтрансферазы (гамма-глутамилтранспептидаза, GGT, GGTP, ГГТ, ГГТП, КФ 2.3.2.2., CAS

9046-27-9) измеряли в ед. акт./л. Концентрации аспартатаминотрансферазы (глутамат оксалоацетат-трансаминазы, АСТ, АсАт, КФ 2.6.1.1, CAS 9000-97-9) и аланинаминотрансферазы (АлАТ, АЛТ, КФ 2.6.1.2, CAS 9000-86-6) измеряли в ед. акт./л. Количество бета-гидроксимасляной кислоты (β -гидроксипропаной, β -оксимасляной кислоты, БОМК, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{COOH}$, CAS 300-85-6) измеряли в г/моль. Концентрацию лактата (молочной кислоты, 2-гидроксипропановой кислоты, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$, CAS 50-21-5) определяли в ммоль/л. Концентрацию мочевины (диамида угольной кислоты, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, CAS 57-13-16) наблюдали в ммоль/л. Инсулин (MW 5733.49, $\text{C}_{254}\text{H}_{377}\text{N}_{65}\text{O}_{75}\text{S}_6$, CAS 11070-73-8) измерялся в качестве дополнительного маркера состояния поджелудочной железы. Для оценки деградации жирных кислот в печени оценивали количество незатерифицированных жирных кислот в мкМ и связывали с измерением холестерина и липопротеинов. Концентрацию глюкозы (D-глюкозы, моносахарида, декстрозы, гексозы, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, CAS 50-99-7) измеряли в ммоль/л. Щелочную фосфатазу (ЩФ, ALP, ALKP, КФ 3.1.3.1, CAS 9001-78-9) измеряли в ед. акт./л. Креатинин (1-метилгликоциамидин, $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$, CAS 60-27-5) измеряли в мкмоль/л. Общий белок измеряли в г/л.

Статистический анализ полученных данных проводился в программном обеспечении R (пакет OfficialStatistics на R_CRAN). Уровень значимости был установлен на $p < 0,05$, при вычислении средних значений и стандартных ошибок. Величины нормы и патологии существенно отличались на значимую величину, в том случае, если различие было больше статистической ошибки измерения.

Результаты и обсуждение. Для выявления изменений сычуга проведен анализ биохимических параметров крови животных, где было показано, что концентрация метаболитов у коров достоверно различна (табл. 1, 2).

Из таблицы 1 видно, что величина коэффициента вариации была высокой при измерении мочевины, глюкозы, кальция, фосфора и щелочной фосфатазы, что свидетельствовало о низкой информативности данных параметров при поиске пограничных состояний новотельных коров. Для определения нормы и патологии биохимических показателей в результате исследований выделили параметры, которые значимо отличались в состоянии смещения сычуга от нормы, а также имели небольшой коэффициент вариации, достаточный, чтобы различать типы смещения - «Л» и «П» смещения (табл. 1).

Анализ биохимических показателей выявил статистически значимые различия между группами. В контрольной группе следующие значения: бета-гидроксимасляная кислота — $0,25 \pm 0,52$ г/моль, лактат — $1,8 \pm 0,71$ ммоль/л, инсулин — $7,9 \pm 1,20$ пмоль/л, мочевина — $3,15 \pm 1,58$ пмоль/л.

Таблица 1 – Биохимические индикаторы зависимости от смещения сычуга у высокопродуктивных коров в ранний послеродовой период

Измеряемые значения	Норма «Н» (n=12)	«Л» (n=25)	«П» (n=9)	Разница между группами (t, Δ/ достоверность)		
				Н-Л	Н-П	Л-П
Бета-гидроксимасляная кислота, г/моль	0,25±0,52	1,8±0,36	0,15±0,60	2,45, +1,55/ 0,05*	0,19,00,1/ -	2,36, -1,65/ 0,02*
Лактат, ммоль/л	1,8±0,71	2,45±0,49	4,25±0,82	0,75, +0,65/ -	2,26, +2,45/ 0,04*	1,88, +1,8/ -
Инсулин, пмоль/л	7,9±1,20	12,15±0,83	10,2±1,38	2,91, +4,25/ 0,006*	1,26, +2,3/ -	1,26, -1,95/ -
Мочевина, пмоль/л	3,15±1,58	8,1±1,09	7,9±1,83	2,58, +4,95/ 0,01*	1,96, +4,75/ -	0,09, -0,2/ -
Гамма глутамил-трансфераза, ед/л	36,1±14,41	54,2±9,98	86,4±16,64	1,03/ +18,1/ -	2,29, +50,3/ 0,03*	1,66, +32,2/ -
Глюкоза, мг/дл	55,9±20,02	79,5±13,87	125,5±23,12	0,97, +23,6/-	2,28, +69,6/ 0,03*	1,70, +46,0/ -
Аспартат-аминотрансфераза, ед/л	80,5±25,35	152,1±17,56	163±29,28	2,32, +71,6/ 0,03*	2,13, +82,5/ +0,05*	0,32, +10,9/ -
Неэтерфицированные жирные кислоты, мкМ	79,7±13,28	123,5±9,20	116,3±15,34	2,71, 43,8/ 0,01*	1,8, +36,6/ 0,09*	0,40, -7,2/ -

Примечание: * - $p < 0,05$

В «Л» (n=25) отмечено существенное повышение показателей: бета-гидроксимасляная кислота — $1,8 \pm 0,36$ г/моль, лактат — $2,45 \pm 0,49$ ммоль/л, инсулин — $12,15 \pm 0,83$ пмоль/л, мочевина — $8,1 \pm 1,09$ пмоль/л. Для «П» (n=9) следующие отклонения: снижение бета-гидроксимасляной кислоты до $0,15 \pm 0,60$ г/моль, максимальный уровень лактата — $4,25 \pm 0,82$ ммоль/л, гипергликемия — $125,5 \pm 23,12$ мг/дл, повышение гамма-глутамилтрансферазы до $86,4 \pm 16,64$ ед/л, повышение АСТ — $163 \pm 29,28$ ед/л (табл. 1).

Выявлены статистически значимые повышение уровня НЭЖК в обеих экспериментальных группах животных, увеличение гамма-глутамилтрансферазы в группе «П», гипергликемия «П», повышение АСТ во всех группах относительно контроля. Представленные в табл. 1 результаты свидетельствуют о нарушении метаболического статуса в «Л» и «П», особенно выраженном в группе «П».

Определение пороговых значений размещения сычуга у коров после отела является необходимым условием стандартизации диагностики и лечения данного патологического состояния,

а статистическая значимость результатов помогает подтвердить достоверность установленных показателей (табл. 2).

При исследовании биохимических показателей крови у новотельных коров выявлены существенные различия в метаболических процессах при разных типах смещения сычуга. В ходе исследования инструментально были определены биохимические показатели крови: общий белок, активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) и гамма-глутамилтрансферазы (ГГТ), содержание кальция, фосфора, глюкозы, альбумина и других метаболитов [3, 8], с внедрением экспресс-диагностических алгоритмов для ускорения и автоматизации тестирования [3].

В ходе биохимического исследования крови выявлен уровень мочевины составил $3,9$ пмоль/л при диапазоне колебаний от $1,75$ до $5,4$ пмоль/л. Концентрация глюкозы находилась в пределах $4,15$ ммоль/л ($2,45 - 5,95$ ммоль/л). При оценке минерального обмена выявлены содержание кальция — $10,1$ мг% ($8,45 - 12,42$ мг%), концентрация фосфора — $8,1$ мг% ($4,9 - 11,95$ мг%).

Таблица 2 - Определение пороговых значений по состоянию размещения сычуга у коров после отела ($p < 0,05$)

Измеряемые значения	Среднее	Мин	Макс	CV
1	2	3	4	5
Мочевина, ммоль/л	3,9	1,75	5,4	14,95
Глюкоза, ммоль/л	4,15	2,45	5,95	15,98
Кальций, мг%	10,1	8,45	12,42	18,1
Фосфор, мг%	8,1	4,9	11,95	16,32
Креатинин, мкмоль/л	97,5	35,4	145,2	182,4
Холестерин, мг%	158,7	95,3	198,3	20,2
АСТ, ед/мл	155,4	120,1	242,1	19,5
АЛТ, ед/мл	140,1	20,4	195	30,4
Общий белок, г/л	33,2	35,3	42,8	11,2
ЩФ, ед/л	720,5	390,1	1045	32,5

Значительные отклонения зафиксированы по показателям креатинина — 97,5 мкмоль/л (35,4–145,2 мкмоль/л) и холестерина — 158,7 мг% (95,3–198,3 мг%). Анализ ферментативной активности показал активность АСТ составила 155,4 ед/мл (120,1–242,1 ед/мл), активность АЛТ — 140,1 ед/мл (20,4 – 195 ед/мл). Выявленная высокая гетерогенность выборки, особенно по показателям креатинина и АЛТ, свидетельствует о неоднородности исследуемой группы. Повышенные значения АСТ и АЛТ указывают на вероятные нарушения функциональной активности печени (табл. 2).

Установлено, что концентрация бета-гидроксимасляной кислоты демонстрирует противоположную динамику при левостороннем «Л» и правостороннем «П» смещении, что указывает на различный риск развития кетозного состояния. При этом уровень лактата в обоих случаях превышает нормативные показатели, не демонстрируя значимых различий между группами.

Выявлено значимое повышение концентрации мочевины и инсулина относительно нормы при обоих типах смещения. Примечательно, что уровни инсулина различаются между группами, тогда как показатели мочевины остаются сопоставимыми. Концентрация глюкозы в крови при патологическом состоянии превышает норму, причём выраженность отклонений зависит от типа смещения сычуга. Аналогичная картина наблюдается с незатерифицированными жирными кислотами, уровень которых повышен при обоих типах патологии без значимых межгрупповых различий.

При левостороннем смещении «Л» регистрируются значимые отклонения от нормы по ряду показателей: бета-гидроксимасляной кислоте, инсулину, мочеvine, аспаратамино-трансферазе и незатерифицированным жирным кислотам. При правостороннем смещении «П» достоверные отличия от нормы наблюдаются только по уровню лактата, при этом

отсутствуют значимые изменения по гамма-глутамилтрансферазе и глюкозе в сравнении с левосторонним «Л» типом смещения.

Между группами с различным типом смещения достоверные различия выявлены исключительно по уровню бета-гидроксимасляной кислоты, в то время как остальные исследуемые параметры не демонстрируют статистически значимых межгрупповых отличий (табл. 1).

У других исследователей при анализе установлено, что концентрация ГГТ существенно возрастала при правостороннем «П» смещении сычуга, что может свидетельствовать о нарушениях функции печени [9]. Активность АСТ повышалась при обоих типах смещения, указывая на повреждение тканей [3].

Исследование уровня бета-гидроксимасляной кислоты (БОМК) ранее также показало разнонаправленную динамику при различных типах смещения, что отражает риск развития кетоза. Концентрация лактата превышала нормативные значения при обоих типах патологии, нарушая кислотно-основное состояние [10].

Показатели мочевины и инсулина, как правило, значительно превышали референсные значения, свидетельствуя о нарушениях белкового обмена [11]. Уровень мочевины отражал эффективность конверсии протеина в кормах [12]. При высокобелковом кормлении и внесении большого количества азотных удобрений в почву пастбищ может наблюдаться увеличение содержания мочевины и снижение продуктивности животных, поскольку мочевина способствует понижению кислотности молока и подавляет кислотообразующую способность желудочно-кишечного тракта [12, 13].

В ходе исследования также анализировали показатели липидного обмена, включая уровень апополипротеина В, являющегося маркером деградации липопротеинов низкой плотности в печени [13]. Апополипротеин В

(apoB, ген apoB, Genbank NM_000384, UniProt P04114) представляет собой пример маркера липопротеинов низкой плотности (ЛПНП)). Молекула ApoB является ключевым маркером деградации ЛПНП в печени и является одним из лучших индикаторов атеросклероза, нарушений работы печени и сердечно-сосудистой системы коров. Изоформы ApoB (48, 2152 а.о., 241 кДа и 100, 4536 а.о., 512 кДа) гидрофобны и практически полностью погружены в слой липидов клетки [14, 15].

Уровень щелочной фосфатазы (ЩФ) при одновременном изменении маркеров кальция и фосфора указывал на возможные повреждения печени, почек и деминерализацию костной ткани. Этот параметр отражал уровень энергетического обмена и полноценность кормового рациона [16, 17, 18].

Креатинин, отражающий энергетический обмен и полноценность кормового рациона, оказался недостаточно информативным показателем, так как его величина в наблюдаемых группах оставалась стабильной [19].

Измерение общего белка позволило оценить состояние почек, эндокринной системы и обмена веществ животных в период начала лактации [20].

Определение границ нормы и отклонений в анализах крови коров очень важно по нескольким причинам. Во-первых, это помогает вовремя заметить проблемы со здоровьем животных, ещё до появления явных признаков болезни. Например, можно заранее обнаружить смещение сычуга. Во-вторых, зная эти границы, а также вариансу, ветеринары могут точнее оценивать состояние каждой коровы и принимать правильные решения по лечению. Это особенно важно в первые недели после отёла, когда животные наиболее уязвимы. В-третьих, контроль показателей крови позволяет следить за обменом веществ у коров. Если какие-то значения выходят за пределы нормы, это может говорить о проблемах с кормлением или развитии скрытых заболеваний.

Клинические проявления патологии сычуга характеризовались комплексом нарушений: снижением общей активности животных, потерей аппетита, падением молочной продуктивности. У больных коров отмечались признаки кетоза, изменение характера фекальных масс и деформация левой части брюшной стенки. Термометрия показала отсутствие гипертермии (температура <39 °C), однако регистрировалось повышение частоты сердечных сокращений (>61 удара в минуту) и дыхательных движений (>22 в минуту). При левостороннем «Л» смещении выявлялись дополнительные патологические состояния: системные реакции организма, маститы, метриты и задержка отделения последа [21].

При обследовании (аускультация и перкуссия) у животных с левосторонним смещением определялись характерные высокочастотные резонирующие звуки в левой дорсальной области. Пальпация прямой кишки

выявляла смещение рубца к срединной линии.

Патогенетические механизмы при кетозе включали переключение метаболизма на утилизацию кетоновых тел вместо глюкозы, что характерно для состояний энергетического дефицита. При смещении сычуга происходило его дислокация: влево - под центральный отдел рубца, вправо - в межорганный пространство между правой брюшной стенкой и кишечником, что приводило к нарушению эвакуации газов и нарушению кровоснабжения органа [3].

Полученные клинические данные в сочетании с биохимическим профилем крови позволили сформировать комплексную картину патологических изменений при различных типах смещения сычуга.

Применение методов сетевой биологии в обработке больших данных позволяет автоматизировать интерпретацию результатов, связанных с патологическими состояниями, что способствует более раннему выявлению аномальных процессов у новотельных коров при развитии смещения сычуга. Применение методов сетевой биологии в обработке больших данных позволяет автоматизировать интерпретацию результатов, связанных с патологическими состояниями, что способствует более раннему выявлению аномальных процессов у новотельных коров при развитии смещения сычуга [2, 22].

Для аттестованных лабораторий системы Минсельхоза России рекомендуется включение в протокол исследования биохимических показателей определения концентрации апополипротеина B100 как дополнительного критерия оценки метаболического статуса.

В рамках развития эффективного животноводства и внедрения инновационных технологий целесообразно внедрение методологии автоматизированного биохимического анализа крови.

Развитие высокопродуктивного скотоводства в России требует повышения квалификации специалистов в области современных методических и технологических решений. Систематический сбор метаданных по биохимическим показателям, фенотипическим признакам и клиническим случаям на национальном уровне позволит масштабировать исследования от ограниченного числа объектов к массовому обследованию животных. Это обеспечит возможность ранней диагностики патологических состояний и своевременного принятия организационных и ветеринарных мер по сохранению здоровья поголовья.

Выводы. В ходе исследования установлены ключевые биохимические показатели крови новотельных коров, значимые для ранней диагностики смещения сычуга и метаболических нарушений. К ним отнесены - ферменты: гамма-глутамилтрансфераза, аспартатамино-трансфераза, аланинаминотрансфераза; метаболические маркеры: бета-гидроксимасляная кислота, лактат, мочевины, инсулин, глюкоза;

липидный профиль: липопротеины низкой плотности.

На основании проведенного анализа определены пороговые значения данных показателей как в физиологической норме, так и при патологических состояниях. Установлены референсные интервалы, включающие максимальные, минимальные и средние значения параметров крови, что позволило количественно оценить предельные отклонения при различных состояниях животных.

Выявлено, что определение концентрации мочевины в крови и молоке может служить дополнительным критерием для оценки

сбалансированности рационов кормления.

Эффективность диагностики подтверждена применением инновационных аналитических методов, что обосновывает необходимость модернизации лабораторного оборудования в соответствии с международными стандартами качества (ГОСТ ИСО 17025).

Результаты исследования создают научную основу для совершенствования системы ранней диагностики смещения сычуга и сопутствующих метаболических нарушений у новотельных коров, что имеет существенное значение для развития современного молочного животноводства.

Литература

1. Ларионов С. В., Калужный И. И. Внутренние незаразные болезни животных - одна из основных дисциплин в подготовке ветеринарного врача // Аграрный научный журнал. 2018. № 6. С. 99-100. EDN XRRRIX.
2. Калашников А. Е., Букаров Н. Г., Гостева Е. Р. Оценка пограничных биохимических параметров мастита при контроле состояния вымени высокопродуктивного скота // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. 2(62). С. 102-109. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-2-102-109>.
3. Построение сетей взаимодействий белковых продуктов генов-кандидатов, ассоциированных с левосторонним смещением сычуга у голштинских коров / К. В. Племяшов, Т. Ш. Кузнецова, А. А. Крутикова, Б. С. Семенов, А. О. Беликова, Г. С. Хусаинова // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т.60(2). С. 287-298. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2025.2.287rus>.
4. Владимиров Ф. Е., Базаев С. О., Хакимов А. Р. Разработка цифровой системы для оценки физиологического состояния крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2023. № 10. С. 73-78. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-73-78>. EDN DZZXLI.
5. Данилкина О. П. Причины, лечение и профилактика смещения сычуга у коров голштино-фризской породы // Вестник КрасГАУ. 2021. № 6(171). С. 97-104. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-6-97-104>. EDN ZNPQKE.
6. Цифровые технологии мониторинга здоровья коров / В. Н. Суровцев, И. К. Шульгин, В. Д. Лужняк, О. В. Погодина // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 5. С. 2-6. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.10.13.001>. EDN UBJPPE.
7. Самоловов А. А., Лопатин С. В. Смещение сычуга - болезнь высокопродуктивных молочных коров // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2010. № 5(209). С. 79-84. EDN MNHTNF.
8. Анализ эффективности способов оперативного лечения смещения сычуга у коров / В. Н. Масалов, Н. А. Малахова, А. П. Лишук, О. Г. Пискунова, А. В. Агеева // Вестник аграрной науки. 2024. № 6(111). С. 82-86. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.6.82>. EDN ZVQAPQ.
9. Иль Е. Н., Заболотных М. В., Иль Д. Е. Выявление тенденции изменения биохимических показателей крови при метаболических нарушениях у высокопродуктивных коров // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12(201). С. 154-161. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-154-161>. EDN TNPXYH.
10. Ширяев Г. В., Станиславович Т. И., Политов В. П. Кетоз и его роль в нарушении репродуктивной функции *Bos Taurus* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 403-416. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-4-403-416>. EDN IISJSD.
11. Евлевский А. А. Аспекты развития метаболического ацидоза и кетоацидоза у коров в промышленном животноводстве // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 3. С. 71-75. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2022/3/71-75>. EDN BFJDBB.
12. Худякова Н. А., Тулинова О. В., Кудрина М. А. Мониторинг мочевины как инструмент контроля качества оценки кормового рациона коров // Пермский аграрный вестник. 2023. № 3(43). С. 126-132. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_43_126. EDN LEUEXE.
13. Метанообразование в рубце и методы его снижения с использованием алиментарных факторов (обзор) / Н. В. Боголюбова, А. А. Зеленченкова, Н. С. Колесник, П. Д. Лахонин, Н. В. Боголюбова // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. №. 6. С. 1025-1054. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1025rus>.
14. Шейко И. П., Жерносеков Д. Д., Пирханов Г. Г. Гены-маркеры продуктивного долголетия крупного рогатого скота // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2023. Т. 61. № 2. С. 141-150. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-2-141-150>. EDN LBOHFQ.
15. Мутация HCD у российских голштинизированных черно-пестрых коров не влияет на молочную продуктивность и содержание холестерина и триглицеридов в крови / М. В. Позовникова, Т. Е. Лихачева, А. А. Кудинов, В. Б. Лейбова, Н. В. Дементьева // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, № 6. С. 1142-1151. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1142rus>. EDN YYFQNH.
16. Хоменко Р. М., Семенов Б. С., Кузнецова Т. Ш. Влияние кормовых добавок, используемых для коррекции метаболических процессов в рубце, на биохимические показатели крови у коров после отела // Генетика и разведение животных. 2021. № 2. С. 10-15. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-2-10-15>. EDN QMCCYG.
17. Никитина А. А. Некоторые показатели метаболизма коров в разные периоды стельности и их влияние на клинический статус // Ветеринария. 2023. № 10. С. 41-44. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.10.41-45>. EDN YXPUAT.
18. Кузнецов А. С., Харитонов Е. Л., Остренко К. С. Влияние добавок n-карбомилглутамата в рацион на показатели рубцового пищеварения, утилизацию аммиака, метаболизм азота и молочную продуктивность коров // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 1. С. 29-32. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.56.67.006>.

EDN SOTROY.

19. Динамика гематологических показателей коров на фоне применения в рационе источника биологически активных веществ / Т. В. Слащина, И. Т. Шапошников, А. В. Аристов, О. М. Мармурова, В. Н. Коцарев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 3. С. 406-415. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-406-415>. EDN SWHNUP.

20. Евлевский А. А. Проблемы здоровья коров в молочном животноводстве: известные и неизвестные аспекты // Ветеринария и кормление. 2022. № 6. С. 25-28. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-6-6>. EDN SEPPLY.

21. Профилактика субклинических форм кетоза и гипокальциемии молочных коров / В. Г. Семенов, В. Г. Тюрин, Е. П. Симурзина, Д. А. Никитин, А. В. Лузова, Н. И. Морозова, Ф. А. Мусаев, Р. В. Михайлова, А. С. Тихонов // Аграрная наука. 2022. № 11. С. 29-35. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-29-35>. EDN YLOTZI.

22. Устройство для оценки состояния половых органов коров после родов / И. Т. Джакупов, Ж. З. Жаркимбаева, А. Б. Абулдинова // Ветеринария. 2020. № 3. С. 11-14. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.3.11-14>. EDN UDWUYO.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы обеспечивалось Министерством сельского хозяйства в рамках государственных заданий № 125052106291-0 и 122041900193-2.

Сведения об авторах:

Калашников Александр Евгеньевич - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ДНК-технологий, e-mail: aekalashnikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1600-7357>

ФГБНУ ФИЦ Комплексного изучения Арктики им. Акад. Н.П. Лаврова УРО РАН, Архангельск, Россия
Букаров Нурмагомед Гаджикулиевич - доктор биологических наук, e-mail: nbukarov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6370-6364>

АО «Московское» по племенной работе» Московская область, Ногинск, Россия
Гостева Екатерина Ряшитовна* - доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: ekagosteva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1149-9540>

ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», Саратов, Россия

Ахметов Тахир Мунавирович - доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, генетики, общей и биологической химии, e-mail: ahmetov-tahir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

APPLICATION OF BIOCHEMICAL MARKERS FOR EARLY DIAGNOSIS AND PREVENTION OF ABOMASAL DISPLACEMENT IN DAIRY COWS

A. E. Kalashnikov, N. G. Bukarov, E. R. Gosteva, T. M. Akhmetov

Abstract. The investigation of biochemical blood parameters of cattle was conducted to determine the threshold values for normal and abnormal values of during abomasal displacement. The methodology includes an assessment of metabolic processes and immune status of animals to improve the health monitoring system for dairy cattle and prevention of metabolic disorders. The aim of the study was to develop and validate a method for biochemical diagnosis of dystopia of the abomasum and metabolic disorders in lactating cows using modern analytical equipment. A study of biochemical blood parameters of freshly calved Holstein cows in their first and second lactations was conducted. In the control group, beta-hydroxybutyric acid was 0.25 ± 0.52 g/mol, lactate 1.8 ± 0.71 mmol/l, insulin 7.9 ± 1.20 pmol/l, urea 3.15 ± 1.58 pmol/l. The following values were increased during left abomasal displacement: beta-hydroxybutyric acid 1.8 ± 0.36 g/mol, lactate 2.45 ± 0.49 mmol/l, insulin 12.15 ± 0.83 pmol/l, urea 8.1 ± 1.09 pmol/l. Critical deviations were revealed during the right displacement of abomasum: a decrease in beta-hydroxybutyric acid to 0.15 ± 0.60 g/mol, a maximum lactate level of 4.25 ± 0.82 mmol/l, hyperglycemia 125.5 ± 23.12 mg/dl, an increase in gamma-glutamyl transferase to 86.4 ± 16.64 U/l, AST 163 ± 29.28 U/l. An increase in the level of non-esterified fatty acids in all experimental groups, an increase in gamma-glutamyl transferase hyperglycemia with the right displacement, an increase in AST in all groups relative to the control were shown. The following indicators were established when assessing mineral metabolism: calcium 10.1 mg% (8.45-12.42 mg%), phosphorus 8.1 mg% (4.9-11.95 mg%), creatinine $97.5 \mu\text{mol/l}$ (35.4-145.2 $\mu\text{mol/l}$), cholesterol 158.7 mg% (95.3-198.3 mg%). Key biochemical markers of fresh cows' blood (gamma-glutamyl transferase, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, beta-hydroxybutyric acid, lactate, urea, insulin, glucose, low-density lipoproteins) were identified, allowing for the early diagnosis of abomasal displacement and metabolic disorders. The measured threshold values of the indicators for both healthy animals and those with displacement make it possible to assess deviations from the norm. Additionally, measuring urea in blood and milk can serve as an indicator of associated nutritional deficiencies.

Key words: biomarkers, abomasal displacement, Holstein breed, ketosis, atony, hyperketonemia, metabolic disorders.

For citation: Kalashnikov A.E., Bukarov N.G., Gosteva E.R., Akhmetov T.M. Application of biochemical markers for early diagnosis and prevention of abomasal displacement in dairy cows. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 36-43 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_36.

References

1. Larionov SV, Kalyuzhnyy II. [Internal noncontagious diseases of animals is one of the main disciplines in the training of veterinarians]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2018; 6. 99-100 p. EDN XRRHIX.
2. Kalashnikov AE, Bukarov NG, Gosteva ER. [Assessment of borderline biochemical parameters of mastitis when monitoring the condition of the udder of highly productive cattle]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 2 (62). 102-109 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-2-102-109>.
3. Plemyashov KV, Kuznetsova TSh, Krutikova AA, Semenov BS, Belikova AO, Khusainova GS. [Construction of interaction networks of protein products of candidate genes associated with left-sided displacement of the abomasum in Holstein cows]. Selskokhozyaystvennaya biologiya. 2025; Vol.60(2). 287-298 p. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2025.2.287rus>.
4. Vladimirov FE, Bazaev SO, Khakimov AR. [Development of a digital system for assessing the physiological state of cattle]. Agrarnaya nauka. 2023; 10. 73-78 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-73-78>. EDN DZZXLI.
5. Danilkina OP. [Causes, treatment and prevention of abomasum displacement in Holstein-Friesian cows]. Vestnik

- KrasGAU. 2021; 6(171). 97-104 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-6-97-104>. EDN ZNPQKE.
6. Surovtsev VN, Shulgin IK, Luzhnyak VD, Pogodina OV. [Digital technologies for monitoring cow health]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021; 5. 2-6 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.10.13.001>. EDN UBJPPE.
7. Samolovov AA, Lopatin SV. [Abomasum displacement - a disease of highly productive dairy cows]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2010; 5(209). 79-84 p. EDN MNHTNF.
8. Masalov VN, Malakhova NA, Lishchuk AP, Piskunova OG, Ageeva AV. [Analysis of the effectiveness of surgical treatment methods for displaced abomasum in cows]. *Vestnik agrarnoy nauki*. 2024; 6(111). 82-86 p. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.6.82>. EDN ZVQAPO.
9. Il EN, Zabolotnykh MV, Il DE. [Identifying trends in changes of blood biochemical parameters in metabolic disorders in high-productive cows]. *Vestnik KrasGAU*. 2023; 12(201). 154-161 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-154-161>. EDN TNPXYH.
10. Shiryayev GV, Stanislavovich TI, Politov VP. [Ketosis and its role in reproductive dysfunction of *Bos Taurus*]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2020; Vol.15. 4. 403-416 p. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-4-403-416>. EDN IISJD.
11. Evglevskiy AA. [Aspects of metabolic acidosis and ketoacidosis development in cows in industrial animal husbandry]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2022; 3. 71-75 p. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2022/3/71-75>. EDN BFJDBB.
12. Khudyakova NA, Tulinova OV, Kudrina MA. [Urea monitoring as a quality control tool for assessing the feed ration of cows]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2023; 3(43). 126-132 p. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_43_126. EDN LEUEXE.
13. Bogolyubova NV, Zelenchenkova AA, Kolesnik NS, Lakhonin PD, Bogolyubova NV. [Methane formation in the rumen and methods for its reduction using alimentary factors (review)]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2022; Vol.57. 6. 1025-1054 p. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1025rus>.
14. Sheyko IP, Zhernosekov DD, Pirkhanov GG. [Gene markers of productive longevity in cattle]. *Vesti Natsyonalnai akademii navuk Belarusi. Seriya agrarnykh navuk*. 2023; Vol.61. 2. 141-150 p. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-2-141-150>. EDN LBOHFQ.
15. Pozovnikova MV, Likhacheva TE, Kudinov AA, Leybova VB, Dementeva NV. [HCD mutation in Russian Holsteinized black-and-white cows does not affect milk productivity and blood cholesterol and triglyceride levels]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2018; Vol.53. 6. 1142-1151 p. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1142rus>. EDN YYFQHJ.
16. Khomenko RM, Semenov BS, Kuznetsova TSh. [Effect of feed additives used for correction of metabolic processes in the rumen on biochemical blood parameters in cows after calving]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2021; 2. 10-15 p. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-2-10-15>. EDN QMCCYG.
17. Nikitina AA. [Some metabolic indicators of cows at different periods of pregnancy and their influence on clinical status]. *Veterinariya*. 2023; 10. 41-44 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.10.41-45>. EDN YXPUAT.
18. Kuznetsov AS, Kharitonov EL, Ostrenko KS. [Effect of n-carbamoyl glutamate additives in the diet on rumen digestion parameters, ammonia utilization, nitrogen metabolism, and milk productivity of cows]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021; 1. 29-32 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.56.67.006>. EDN SOTROY.
19. Slashchilina TV, Shaposhnikov IT, Aristov AV, Marmurova OM, Kotsarev VN. [Dynamics of hematological parameters of cows against the background of the use of a source of biologically active substances in the diet]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2022; Vol.17. 3. 406-415 p. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-406-415>. EDN SWHNUP.
20. Evglevskiy AA. [Problems of cow health in dairy farming: known and unknown aspects]. *Veterinariya i kormlenie*. 2022; 6. 25-28 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-6-6>. EDN SEPLY.
21. Semenov VG, Tyurin VG, Simurzina EP, Nikitin DA, Luzova AV, Morozova NI, Musaev FA, Mikhaylova RV, Tikhonov AS. [Prevention of subclinical forms of ketosis and hypocalcemia in dairy cows]. *Agrarnaya nauka*. 2022; 11. 29-35 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-29-35>. EDN YLOTZI.
22. Dzhakupov IT, Zharkimbaeva ZhZ, Abultdinova AB. [Device for assessing the state of reproductive organs of cows after calving]. *Veterinariya*. 2020; 3. 11-14 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.3.11-14>. EDN UD-WUYO.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This work was funded by Ministry of Agriculture under state assignments No. 125052106291-0 and 122041900193-2.

Authors:

Kalashnikov Aleksandr Evgenovich – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of DNA Technologies Laboratory, e-mail: aekalashnikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1600-7357>
Federal Research Center for Integrated Arctic Research named after academician Laverov N.P. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia
Bukarov Nurmagomed Gadzhikulievich - Doctor of Biological Sciences, e-mail: nbukarov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6370-6364>
JSC Moskovskoe for breeding work, Moscow Region, Noginsk, Russia
Gosteva Ekaterina Ryashitovna* - Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, e-mail: ekagosteva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1149-9540>
Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Research Center of the South-East, Saratov, Russia
Akhmetov Takhir Munavirovich - Doctor of Biological Sciences, Professor of Biology, Genetics, General and Biological Chemistry Department, e-mail: ahmetov-tahir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ *BACILLUS SUBTILIS* И ЭНРОФЛОКСАЦИНА НА БИОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ**У. А. Круть, И. А. Кошаев, Г. М. Шайдорова, М. С. Потапова, И. И. Олейникова**

Реферат. Высокая интенсивность метаболизма цыплят-бройлеров в ранний постнатальный период требует значительного внимания со стороны птицеводов. В этот период происходит формирование физиологических функций на фоне значительных нагрузок. Кроме того, высокие риски инфекционной заболеваемости могут привести к значительным экономическим потерям в птицеводстве. В современном бройлерном птицеводстве широкое применение нашел энрофлоксацин, который используется на ранних этапах онтогенеза птицы. Использование пробиотических препаратов на основе бацилл представляет особый интерес благодаря их способности оптимизировать микробиоценоз и стимулировать естественные механизмы защиты. Целью настоящего исследования явилась сравнительная оценка динамики биохимических показателей крови цыплят-бройлеров при применении антибиотика энрофлоксацина, пробиотического штамма *Bacillus subtilis* ВКМ В-3728D (KE) и их комбинации. Эксперимент проводился на 100 цыплятах-бройлерах кросса «Росс-308», разделенных на 4 группы: контроль и опытные, получавшие пробиотик, антибиотик энрофлоксацин и их комбинацию. В динамике исследования оценивались биохимические показатели крови и рост животных с статистической обработкой данных критерием Манна-Уитни. Установлено, что применение пробиотика способствовало оптимизации метаболических процессов, проявлявшейся в достоверном снижении уровня глюкозы на 9-15% и активации белкового обмена. В отличие от этого, антибиотикотерапия вызывала функциональное напряжение печени (снижение билирубина на 32% и АЛТ на 35%) и выраженное нарушение липидного обмена (повышение триглицеридов на 104%). Комбинированное применение препаратов не показало синергического эффекта и сопровождалось признаками метаболического стресса. Полученные результаты подтверждают перспективность использования штамма *Bacillus subtilis* ВКМ В-3728D для оптимизации метаболического статуса бройлеров, однако полная замена антибиотиков пробиотиками требует дополнительных исследований по подбору совместимых штаммов и разработке эффективных схем применения.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, пробиотики, антибиотики, энрофлоксацин, *Bacillus subtilis*, биохимия крови, гематология, продуктивность.

Для цитирования: Круть У.А., Кошаев И.А., Шайдорова Г.М., Потапова М.С., Олейникова И.И. Влияние схемы применения *Bacillus subtilis* и энрофлоксацина на биохимический профиль цыплят-бройлеров // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 44-49. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_44.

Введение. Интенсивные технологии в бройлерном птицеводстве предъявляют высокие требования к сохранности поголовья и скорости роста молодняка. В ранний постнатальный период цыплята-бройлеры особенно уязвимы к воздействию условно-патогенной микрофлоры [1, 2, 3]. С целью профилактики инфекционных осложнений традиционно применяются антибактериальные препараты, среди которых широкое распространение получили фторхинолоны, в частности, энрофлоксацин. Несмотря на несомненную эффективность в контроле бактериальных инфекций, применение антибиотиков имеет ряд негативных последствий, таких как подавление естественной микрофлоры кишечника, потенциальное угнетение иммунного статуса и возникновение резистентных штаммов микроорганизмов [4, 5, 6].

В связи с этим, поиск альтернативных или комплементарных средств, позволяющих снизить антибиотическую нагрузку и поддержать здоровье птицы, является актуальной задачей. Одним из таких направлений является использование пробиотиков. Пробиотические препараты на основе спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, в частности *Bacillus subtilis*, характеризуются высокой стабильностью и способностью позитивно влиять на

микробиоценоз кишечника, процессы пищеварения, усвоение питательных веществ и неспецифическую резистентность организма [7, 8].

Оценка функционального состояния организма птицы в условиях применения различных кормовых добавок наиболее объективно может быть проведена путем исследования биохимических и гематологических показателей крови, которые являются тонкими маркерами метаболического и иммунного статуса.

Целью нашего исследования явилась оценка влияния пробиотика на основе *Bacillus subtilis* и антибиотика энрофлоксацина на динамику биохимических параметров крови цыплят-бройлеров.

Условия, материалы и методы. Для изучения влияния пробиотической кормовой добавки на физиолого-биохимический статус цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» выпаивали 100 голов цыплят на базе Лаборатории птицеводства Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина штаммом бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ В-3728D (KE) в дозировке 1 г/кг массы тела животного (в 1 мл суспензии 10^9 КОЕ).

Исследования, включающие животных, проводились в соответствии с Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского Союза от 22 сентября 2010 года

по охране животных, используемых в научных целях.

Были сформированы четыре группы эксперимента, для каждой определена схема рациона питания – далее описаны не только схема питания, но и препараты:

1 группа – контрольная: стандартный рацион питания (зерно, комбикорм, вода);

2 группа – пробиотический микроорганизм (штамм бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ В-3728D (KE): стандартный рацион питания + выпаивание пробиотика с первых суток;

3 группа – стандартный рацион питания + выпаивание энрофлоксацина в дозе 200 мг/л первые пять суток [9];

4 группа – энрофлоксацин + пробиотический микроорганизм: стандартный рацион питания + выпаивание первые пять суток энрофлоксацином, с 1 по 21 сутки - добавление пробиотика в корм [10].

Забор биоматериала для биохимического исследования был осуществлен на первые, седьмые, четырнадцатые и двадцать первые сутки методом внутрисердечной пункции, в

этот же временной интервал изучали массу тела животных.

Изучаемые биохимические показатели: общий белок (г/л), глюкоза (ммоль/л), триглицериды (ммоль/л), билирубин (мкмоль/л), креатинин (мкмоль/л), АЛТ, АСТ (мкмоль/(ч*мл), мочевая кислота, (мкмоль/л) исследовали с помощью наборов стандартных реагентов (Ольвекс-Диагностикум, Россия).

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы SPSS Statistics 17.0. Проверку распределения на нормальность осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Поскольку данные не имели нормального распределения, для оценки достоверности различий между группами использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Основным показателем роста и развития цыплят-бройлеров является привес. Увеличение массы тела подопытных цыплят оценивали на 7, 14 и 21 день (табл. 1).

Таблица 1 – Изменения привеса цыплят-бройлеров, г

Возраст	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
1 сутки	42,47±5,12			
7 сутки	157,75±9,17	155,36±8,00	151,75±11,09	150,22±13,80
14 сутки	507,72±17,23	508,24±25,22	479,02±40,47	475,05±13,70
21 сутки	968,74±48,06	980,16±39,83	982,68±57,77	882,21±54,31**

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$; **** - $p < 0,0001$, достоверность различий между контрольной и опытных групп по U-критерию Манна-Уитни

Во всех группах привес за первую неделю составил в среднем 110 г. В первой и второй группах привес возрастал до 300 г на 14 сутки и до 450 г на 21 сутки. В группах животных, получавших энрофлоксацин, наблюдалась тенденция к снижению прироста, на 21-е сутки в 4 группе привес достоверно снизился на 8,93%. Это соответствует данным, что схемы применения антибиотиков могут

отрицательно сказываться на привесе цыплят из-за нарушения обменных процессов [11, 12].

В данном исследовании использовались показатели азотистого, углеводного и пигментного обменов, которые отражают изменения метаболизма (табл. 2). Динамика биохимических показателей крови цыплят-бройлеров представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика биохимических показателей крови цыплят-бройлеров

Показатель	Стартовый показатель интактных животных
1	2
1 сутки	
Общий белок, г/л	22,23±4,81
Глюкоза, ммоль/л	9,64±0,22
Креатинин, мкмоль/л	10,64±1,71
Билирубин, мкмоль/л	5,76±0,45
Триглицериды, ммоль/л	0,94±0,15
АЛТ, мкмоль/(ч*мл)	0,562±0,121
АСТ, мкмоль/(ч*мл)	2,134±0,245

1	2			
Мочевая кисло- та, мкмоль/л	854,325±167,362			
7 сутки				
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Общий белок, г/л	20,61±0,73	19,63±4,12	19,31±4,29	17,63±0,92
Глюкоза, ммоль/л	11,66±1,17	12,97±1,68	12,07±3,79	16,03±4,94
Креатинин, мкмоль/л	13,58±3,46	24,14±5,75****	7,29±1,90**	11,98±6,86
Билирубин, мкмоль/л	6,59±2,10	6,31±2,97	4,49±1,14*	3,60±1,20**
Триглицериды, ммоль/л	1,05±0,14	1,30±0,22**	1,06±0,16	0,91±0,06
АЛТ, мкмоль/ (ч*мл)	0,899±0,217	0,68±0,252	0,586±0,284**	0,432±0,133****
АСТ, мкмоль/ (ч*мл)	3,039±1,703	2,256±0,268	2,917±0,219	2,243±0,772
Мочевая кисло- та, мкмоль/л	527,214±59,916	440,562±28,666* **	412,215±43,252* ***	398,278±41,162* ***
14 сутки				
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Общий белок, г/л	29,75±1,46	33,06±1,35***	33,04±2,79***	33,15±1,40***
Глюкоза, ммоль/л	10,25±0,34	9,37±0,60**	9,94±1,00	9,78±0,45
Креатинин, мкмоль/л	23,21±3,33	25,31±2,27	33,02±4,67***	24,60±2,85
Билирубин, мкмоль/л	5,52±0,93	6,64±1,50	6,33±0,73	5,94±0,65
Триглицериды, ммоль/л	0,64±0,33	0,71±0,10	0,64±0,12	0,93±0,12**
АЛТ, мкмоль/ (ч*мл)	2,217±0,630	3,097±0,6810**	2,237±0,841	1,556±0,1970*
АСТ, мкмоль/ (ч*мл)	7,513±0,482	8,13±0,401*	7,966±0,641	7,511±0,482
Мочевая кисло- та, мкмоль/л	632,614±136,468	619,956±17,507	693,568±66,613	623,457±40,103
21 сутки				
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Общий белок, г/л	46,32±2,04	50,75±6,24*	59,44±2,50****	50,81±3,60*
Глюкоза, ммоль/л	11,05±1,67	9,44±1,26*	11,29±2,23	12,99±0,45*
Креатинин, мкмоль/л	23,13±7,94	32,02±3,32	32,44±5,44	26,78±2,28
Билирубин, мкмоль/л	2,37±0,57	2,91±1,32	2,93±0,10	1,73±0,21
Триглицериды, ммоль/л	0,54±0,02	0,63±0,11	1,10±0,09****	0,92±0,21****
АЛТ, мкмоль/ (ч*мл)	0,744±0,22824	0,968±0,364	0,4±0,302	0,552±0,179
АСТ, мкмоль/ (ч*мл)	7,621±0,94782	6,98±0,533*	6,426±0,082***	6,452±0,583***
Мочевая кисло- та, мкмоль/л	737,017±90,712	843,665±192,514	802,999±128,709	621,931±86,869

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$; **** - $p < 0,0001$, достоверность различий между контрольной и опытных групп по U-критерию Манна-Уитни

Во всех опытных группах (2, 3, 4) на 14 сутки наблюдается достоверное увеличение общего белка по сравнению с контролем (группа 1), в среднем на 11%, что может указывать на активацию анаболических процессов. К концу эксперимента (21 сутки) наибольший прирост значения данного показателя в третьей группе – 28% ($p<0,0001$). Однако, в группах 2 и 4 общий белок увеличился на 10%. Такие отличия могут быть не только следствием улучшения усвояемости, но и стрессовой реакцией организма.

Комбинированное применение препаратов вызвало значительный стресс, приведший к гипергликемии, на что указывает тенденция увеличения уровня глюкозы на 38% на 7 сутки в 4 группе. К концу эксперимента в этой группе он достоверно был выше на 18% ($p<0,05$), что может указывать на персистирующий метаболический стресс [13]. В свою очередь показатель углеводного обмена в группе 2 был достоверно ниже контрольной группы на 9% ($p<0,01$) – 14 сутки и 15% ($p<0,05$) – 21 сутки. Это может свидетельствовать о том, что пробиотик способствовал нормализации и более эффективному использованию глюкозы.

На 7 сутки уровень креатинина в группе 2 был достоверно выше на 78%, а в группе 3 ниже на 46% по сравнению с контрольной. Вероятно, пробиотик вызвал временное, но значительное увеличение креатинина, что может свидетельствовать об интенсификации белкового обмена и креатин-фосфатного пути энергообеспечения. Антибиотик, напротив, подавлял эти процессы. К середине эксперимента в группе с антибиотиком произошла компенсаторная активация метаболизма, что отразилось на росте креатинина. На 14 сутки в 3 группе показатель креатинина был выше на 42% в сравнении с контрольной.

Энрофлоксацин (в чистом виде и в комбинации) достоверно подавлял уровень билирубина, что свидетельствует о его угнетающем влиянии на функцию печени и, возможно, на процессы распада гемоглобина. В группе 3 и 4 показатель билирубина был достоверно ниже контрольной на 32% ($p<0,05$) и 45% ($p<0,01$) соответственно на 7 сутки.

Подтверждают негативное влияние антибиотика на печень и показатели АЛТ: в группах 3 и 4 активность фермента была достоверно ниже на 35% ($p<0,01$) и 52% ($p<0,0001$) соответственно. Ко второй фазе эксперимента все схемы применения добавок привели к снижению АСТ: во второй группе -8% ($p<0,05$); в третьей группе -16% ($p<0,001$); в четвертой группе - 15% ($p<0,001$), что может

трактоваться как нормализация метаболического статуса после адаптации [14, 15].

На 7 сутки во второй группе было достоверное увеличение триглицеридов на 24% ($p<0,05$), что может указывать на активную мобилизацию липидов в качестве источника энергии на раннем этапе. В середине эксперимента в 4 группе увеличение было на 45% выше ($p<0,01$), чем в контроле. Такое значение свидетельствует о нарушении липидного обмена. К концу эксперимента применение антибиотика (как отдельно, так и в комбинации) привело к резкому, высоко достоверному повышению триглицеридов в 3 группе на 104% ($p<0,0001$), в 4 группе на 70% ($p<0,0001$), что указывает на значительное нарушение липидного метаболизма и риск развития жировой дистрофии печени.

Исследуя показатели мочевой кислоты на 7 сутки наблюдали их достоверное снижение на 16, 22, 24% в группах 2, 3 и 4 соответственно. Это свидетельствует о том, что применяемые схемы оказывают положительное влияние на пуриновый обмен и функцию почек.

Выводы. Проведенное исследование демонстрирует разнонаправленное влияние изучаемых схем на метаболический статус бройлеров. Применение пробиотика *Bacillus subtilis* (группа 2) способствовало оптимизации обмена веществ: уровень глюкозы был достоверно ниже контроля на 9% (14-е сутки) и 15% (21-е сутки), а временное повышение креатинина на 78% (7-е сутки) указывает на интенсификацию белкового и энергетического обмена. Напротив, энрофлоксацин (группа 3) вызывал признаки метаболического стресса и нарушения функции печени, проявившиеся в резком повышении общего белка на 28% и триглицеридов на 104% к 21-м суткам, а также в снижении билирубина на 32% и АЛТ на 35%.

Комбинированное применение препаратов (группа 4) не показало синергизма, а напротив, привело к негативным эффектам: гипергликемии (+38% на 7-е сутки и +18% на 21-е сутки) и значительному нарушению липидного обмена (триглицериды +70%), что в совокупности с наименьшим приростом живой массы свидетельствует о токсической нагрузке, обусловленной совместным действием продуктов распада бактерий и антибиотика. Полученные данные подтверждают, что пробиотик может нивелировать некоторые негативные эффекты антибиотикотерапии, однако его использование в качестве полной замены антибиотиков требует дальнейших исследований для подбора совместимых штаммов и оптимизации схем применения.

Литература

1. Исследование антимикробных реакций, вызываемых микроорганизмами цыплят-бройлеров / Е. А. Логинов, А. С. Кривоногова, А. Г. Исаева [и др.] // Ветеринарный журнал Кубани. 2024. № 5. С. 19–22. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-5-19-22>
2. Фролова О. А., Донкова Н. В. Биохимические изменения в плазме крови цыплят при сочетанной аттенуированными вакцинами против эймериоза // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 3. С. 39–45. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.3.39>
3. Макарова А. В., Вахрамеев А. Б., Мефтах И. А. Сравнительная характеристика роста и

развития цыплят мясо-яичного и яично-мясного направления продуктивности // Аграрная наука. 2020. № 11-12. С. 29-32. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-29-32>

4. Ан К. В., Кильп А. С., Миронова Г. Е. Изучение иммунологических реакций у *Mus musculus* при пероральном введении *Bacillus halotolerans* и *Bacillus subtilis* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2025. №. 2(244). С. 56-62. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-244-2-56-62>.

5. Исследование пробиотиков *Bacillus subtilis* GM2 и GM5 на жизнеспособность и микробиоту цыплят-бройлеров / Г. Ф. Хадиева, М. Т. Лутфуллин, А.А. Николаева [и др.] // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2019. Т. 161, кн. 3. С. 472-489. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.472-489>

6. Орлова Т. Н. Влияние пробиотика на микробиоценоз кишечника цыплят-бройлеров // Евразийский союз ученых. 2020. № 10-2 (79). С. 68–70. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.79.1039>

7. Эффективность использования пробиотического препарата на основе *Bacillus subtilis* при выращивании цыплят-бройлеров / С. Н. Белик, В. А. Чистяков, В. В. Крючкова [и др.] // Известия Нижегородского Агроуниверситетского комплекса. 2014. № 4(36). С.151-156. EDN: TECUQX

8. Влияние пробиотика *Bacillus subtilis* на продуктивность кур-несушек кросса Браун Ник в летний период времени / Б. В. Агеев, А. А. Кистина, Ю. Н. Прытков [и др.] // Аграрный научный журнал. 2022. № 6. С. 47–50. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp47-50>.

9. Регламент (ЕС) № 1831/2003 Европейского парламента и Совета от 22 сентября 2003 г. о добавках для использования в питании животных // Официальный журнал Европейского Союза. 2003. Правовой акт. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2003/1831/oj/eng>

10. Нефедова В. Н., Семенченко С. В., Моисеенко М. Применение пробиотика «Субтилис» при выращивании цыплят-бройлеров // Приволжский научный вестник. 2014. №11-1 (39). С. 39-42. EDN SZNZLR

11. Комплекс эфирных масел и органических кислот на защите кишечника цыплят-бройлеров от бактерий / О. В. Молоканова, С. Г. Дорофеева, С. А. Седов, Д. Е. Аносов // Ветеринария. 2021. № 12. С. 18–20. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.12.18-20>

12. In Vitro Evaluation of Antimicrobial Effect of Phytobiotics Mixture on *Salmonella* spp. Isolated from Chicken Broiler / H. Iwinski, K. Wódz, K. Chodkowska [et al.] // Antibiotics. 2022. Vol. 11. № 7. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11070868>.

13. Шацких Е. В., Королькова-Субботкина Д. Е. Состояние кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотической добавки // Аграрный вестник Урала. 2022. № 2(29). С.81-91. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-229-14-81-91>.

14. Молоканова О. В., Шацких Е. В. Биохимический состав крови цыплят-бройлеров при включении в рацион протеолитического фермента Сибенза дп 100 // Пермский аграрный вестник. 2019. №3 (27). С. 108-116. EDN PTKRXY

15. Влияние пробиотика *Bacillus subtilis* на продуктивность кур-несушек кросса Браун Ник в летний период времени / Б. В. Агеев, А. А. Кистина, Ю. Н. Прытков [и др.] // Аграрный научный журнал. 2022. № 6. С. 47–50. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp47-50>. EDN RZUOJR

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Круть Ульяна Александровна* - кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и микробиологии, e-mail: krut@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Кошчаев Иван Александрович - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент технологического факультета, e-mail: koshchaev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0377-6088>

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, Белгород, Россия

Шайдорова Галина Михайловна - ассистент кафедры биохимии, e-mail: shaydorova@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>

Потапова Марина Сергеевна - ассистент кафедры биологии, e-mail: potapova_m@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>

Олейникова Ирина Ивановна - кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей химии, e-mail: oleynikova@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5169-9567>

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

IMPACT OF *BACILLUS SUBTILIS* AND ENROFLOXACIN APPLICATION SCHEME ON BIOCHEMICAL PROFILE OF BROILER CHICKENS

U. A. Krut, I. A. Koshchaev, G. M. Shaydorova, M. S. Potapova, I. I. Oleynikova

Abstract. High metabolic rate of broiler chickens during the early postnatal period requires significant attention from poultry farmers. During this period, physiological functions are formed under significant stress. Furthermore, high risks of infectious diseases can lead to significant economic losses in poultry farming. Enrofloxacin, which is used during the early stages of poultry development, has found wide application in modern broiler poultry farming. The use of bacilli-based probiotics is of particular interest due to their ability to optimize the microbiome and stimulate natural defense mechanisms. The aim of this study was to compare the dynamics of blood biochemical parameters in broiler chickens treated with the antibiotic enrofloxacin, the probiotic strain *Bacillus subtilis* BKM B-3728D (KE) and their combination. The

experiment was conducted on 100 Ross-308 broiler chickens divided into four groups: a control group and experimental groups treated with probiotic, antibiotic enrofloxacin and their combination. Blood biochemical parameters and animal growth were assessed over time, with statistical data processing using the Mann-Whitney test. The probiotic was found to optimize metabolic processes, resulting in a significant reduction in glucose levels by 9-15% and activation of protein metabolism. In contrast, antibiotic therapy caused liver dysfunction (a 32% decrease in bilirubin and 35% decrease in ALT) and a significant disruption of lipid metabolism (a 104% increase in triglycerides). Combined use of the drugs did not demonstrate a synergistic effect and was accompanied by signs of metabolic stress. The obtained results confirm the potential of using *Bacillus subtilis* strain BKM B-3728D for optimizing the metabolic status of broilers. However, complete replacement of antibiotics with probiotics requires additional research to select compatible strains and develop effective administration regimens.

Key words: broiler chickens, probiotics, antibiotics, enrofloxacin, *Bacillus subtilis*, blood biochemistry, hematology, productivity.

For citation: Krut U.A., Koshchaev I.A., Shaydorova G.M., Potapova M.S., Oleynikova I.I. Impact of *Bacillus subtilis* and enrofloxacin application scheme on biochemical profile of broiler chickens. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 44-49 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_44.

References

1. Loginov EA, Krivonogova AS, Isaeva AG. [Study of antimicrobial reactions caused by microorganisms in broiler chickens]. Veterinarnyy zhurnal Kubani. 2024; 5. 19-22 p. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-5-19-22>
2. Frolova OA, Donkova NV. [Biochemical changes in the blood plasma of chickens administered with combined attenuated vaccines against eimeriosis]. Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii. 2021; 3. 39-45 p. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.3.39>
3. Makarova AV, Vakhrameev AB, Meftakh IA. [Comparative characteristics of growth and development of meat-and-egg and egg-and-meat chickens]. Agrarnaya nauka. 2020; 11-12. 29-32 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-29-32>
4. An KV, Kilp AS, Mironova GE. [Study of immunological reactions in *Mus musculus* with oral administration of *Bacillus halotolerans* and *Bacillus subtilis*]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025; 2(244). 56-62 p. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-244-2-56-62>
5. Khadieva GF, Lutfullin MT, Nikolaeva AA. [Study of probiotics *Bacillus subtilis* GM2 and GM5 on the viability and microbiota of broiler chickens]. Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki. 2019; Vol.161. book 3. 472-489 p. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.472-489>
6. Orlova TN. [Effect of probiotic on the intestinal microbiocenosis of broiler chickens]. Evraziyskiy soyuz uchenykh. 2020; 10-2. (79). 68-70 p. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.79.1039>
7. Belik SN, Chistyakov VA, Kryuchkova VV. [Efficiency of using a probiotic preparation based on *Bacillus subtilis* in growing broiler chickens]. Izvestiya Nizhnevolskogo Agrouniversitetskogo kompleksa. 2014; 4(36). 151-156 p. EDN: TECUQX
8. Ageev BV, Kistina AA, Prytkov YuN. [Effect of probiotic *Bacillus subtilis* on the productivity of Brown Nick laying hens in summer]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2022; 6. 47-50 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp47-50>
9. [Regulation (EC) No 1831/2003 of European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on additives for use in animal feed]. Ofitsialnyy zhurnal Evropeyskogo Soyuza. 2003; Pravovoy akt. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2003/1831/oj/eng>
10. Nefedova VN, Semenchenko SV, Moiseenko M. [Use of probiotic "Subtilis" in growing broiler chickens]. Privolzhskiy nauchnyy vestnik. 2014; 11-1 (39). 39-42 p. EDN SZNZLR
11. Molokanova OV, Dorofeeva SG, Sedov SA, Anosov DE. [Complex of essential oils and organic acids for the protection of intestines of broiler chickens from bacteria]. Veterinariya. 2021; 12. 18-20 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.12.18-20>
12. Iwinski H, Wodz K, Chodkowska K. In vitro evaluation of antimicrobial effect of phytobioticsmixture on *Salmonella spp.* isolated from chicken broiler. Antibiotics. 2022; Vol.11. 7. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11070868>
13. Shatskikh EV, Korolkova-Subbotkina DE. [Intestinal condition of broiler chickens when including a probiotic supplement in the diet]. Agrarnyy vestnik Urala. 2022; 2(29). 81-91 p. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-229-14-81-91>
14. Molokanova OV, Shatskikh EV. [Biochemical composition of the blood of broiler chickens with the inclusion of the proteolytic enzyme Sibenza dp 100 in the diet]. Permskiy agrarnyy vestnik. 2019; 3 (27). 108-116 p. EDN PTKRXY
15. Ageev BV, Kistina AA, Prytkov YuN. [The effect of probiotic *Bacillus subtilis* on productivity of laying hens of Brown Nick cross in the summer]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2022; 6. 47-50 p. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp47-50>. EDN RZUOJR

Conflict of interest

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

Authors:

Krut Ulyana Aleksandrovna* – Ph.D. Biological Sciences, Associate Professor of Biotechnology and Microbiology Department, e-mail: krut@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Koshchaev Ivan Aleksandrovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Technology Faculty, e-mail: koshchaev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0377-6088>

Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Belgorod, Russia

Shaydorova Galina Mikhaylovna - assistant of Biochemistry Department, e-mail: shaydorova@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>

Potapova Marina Sergeevna - assistant of Biology Department, e-mail: potapova_m@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>

Oleynikova Irina Ivanovna – Ph.D. Of Pedagogical Sciences, Associate Professor of General Chemistry Department, e-mail: oleynikova@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5169-9567>

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia.

ИММУНОФЕРМЕНТНАЯ ТЕСТ-СИСТЕМА ДЛЯ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СПЕЦИФИЧНОСТИ РЕКОМБИНАНТНОГО КАПСИДНОГО БЕЛКА ЦИРКОВИРУСА СВИНЕЙ 2-ГО ТИПА**Ю. А. Кузнецова, А. Р. Ахунова, А. Г. Галеева, К. С. Хаертынов, М. А. Ефимова**

Реферат. Цирковиральные инфекции свиней (ЦВИС), вызываемые преимущественно цирковирусом свиней 2-го типа (ЦВС-2), представляют собой одну из наиболее значимых проблем в мировом свиноводстве. Ключевым инструментом контроля и профилактики ЦВИС является вакцинация. Рекombинантные аналоги капсидного белка (гСар) цирковируса свиней 2-го типа (ЦВС-2) являются ключевыми компонентами современных диагностических тест-систем и субъединичных вакцин. Стабильность его антигенной активности – критический параметр, определяющий эффективность и воспроизводимость функционального продукта. Целью настоящего исследования явилась разработка и апробация иммуноферментной тест-системы для межоперационного контроля специфической активности белка гСар. Для получения рекомбинантных аналогов капсидного белка ЦВС-2 использовали ранее сконструированные рекомбинантный штамм-продуцент *E. coli* BL21(DE3)pLysS-ORF2 (для прокариотического аналога) и стабильно экспрессирующую клеточную линию яичников китайского хомячка CHO-K1/PCV-ORF2 (для эукариотического аналога), очистку белков проводили по ранее разработанным протоколам. Для сенсибилизации твердой фазы (полистироловых планшетов) использовали хроматографически очищенный IgG, выделенный из пула сывороток серопозитивных к ЦВС-2 свиней; специфический пероксидазный конъюгат получали периодатным методом. В результате исследований получен стабильный пероксидазный конъюгат с плотностью мечения 1,5:1. Разработанная тест-система позволила провести полуколичественный анализ рекомбинантного сырья, демонстрируя хорошую воспроизводимость (коэффициент вариации < 7%). Установлено, что тест-система является универсальной и позволяет оценивать активность вариантов гСар, полученных как в прокариотических, так и в эукариотических системах экспрессии, корректно распознавая их антигенные детерминанты. Таким образом, внедрение метода полуколичественного ИФА в производственный цикл позволит стандартизировать процесс межоперационного контроля качества биомассы, полученной при помощи технологий рекомбинантных ДНК, и гарантировать стабильные антигенные характеристики вакцинных и диагностических препаратов.

Ключевые слова: цирковирус свиней 2-го типа, капсидный белок, технологии рекомбинантных ДНК, гетерологичная экспрессия, иммуноферментный анализ, межоперационный контроль качества сырья.

Для цитирования: Кузнецова Ю.А., Ахунова А.Р., Галеева А.Г., Хаертынов К.С., Ефимова М.А. Иммуноферментная тест-система для межоперационного контроля специфичности рекомбинантного капсидного белка цирковируса свиней 2-го типа // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 50-56. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_50.

Введение. Цирковиральные инфекции свиней (ЦВИС), вызываемые преимущественно цирковирусом свиней 2-го типа (ЦВС-2), представляют собой одну из наиболее значимых проблем в мировом свиноводстве [1]. ЦВС-2 является этиологическим агентом целого ряда патологических состояний, объединенных под общим названием «цирковирус-ассоциированные болезни свиней» (ЦВАБС) [2]. К ним относятся синдром мультисистемного послеотъемного истощения поросят (PMWS), репродуктивные нарушения у свиноматок, респираторный комплекс болезней свиней (PRDC) и дерматопатический и нефропатический синдром (PDNS) [3]. Широкое распространение вируса, его высокая генетическая изменчивость и способность вызывать иммуносупрессию приводят к значительным экономическим потерям, обусловленным падежом животных, снижением продуктивности и увеличением затрат на лечение вторичных инфекций [4, 5].

В этих условиях вакцинация является ключевым инструментом контроля и профилактики ЦВС-2. Наряду с традиционными

инактивированными вакцинами все большее значение приобретает разработка современных генно-инженерных вакцин. Такие препараты, основой которых являются рекомбинантные аналоги мажорного капсидного белка ЦВС-2 (Сар), кодируемого геном *ORF-2* и содержащего основные протективные эпитопы, обладают рядом преимуществ: высокой степенью очистки, безопасностью (отсутствием риска реверсии вирулентности), стабильностью и возможностью крупномасштабного стандартизированного производства [6, 7, 8].

Производство рекомбинантных вакцин является многостадийным технологическим процессом, требующим строгого контроля сырья на каждом этапе. Одним из важнейших аспектов считается подтверждение специфичности рекомбинантного антигена – это является гарантией того, что в ходе культивирования штамма-продуцента либо стабильно экспрессирующей клеточной линии был получен целевой белок, сохранивший свою антигенную структуру [9, 10]. Особенно актуальной эта задача становится при использовании различных систем экспрессии для разных целей

(диагностических и профилактических), таких как прокариотических (*E. coli*) или основанных на применении перевиваемых линий клеток млекопитающих. Белки, полученные путем биосинтеза в разных системах экспрессии, могут отличаться посттрансляционными модификациями и конформацией, что потенциально влияет на их антигенные и иммуногенные свойства [11]. Следовательно, необходим универсальный метод межоперационного контроля, способный подтвердить наличие и специфичность рекомбинантного капсидного белка ЦВС-2.

Для решения этой задачи наиболее подходящим инструментом является иммуноферментный анализ (ИФА) в «сэндвич»-формате [12]. В отличие от таких методов, как электрофорез в полиакриламидном геле и вестерн-блоттинг, которые в первую очередь оценивают молекулярную массу белка и его реактивность к антителам в денатурирующих условиях, антигенный ИФА позволяет оценить нативную или близкую к нативной конформацию антигена. «Сэндвич»-ИФА, использующий два типа специфических антител (первичные – связывающие и вторичные – детектирующие), обеспечивает высокие чувствительность и специфичность реакции [13]. Этот метод позволяет не только подтвердить наличие рекомбинантного антигена, но и количественно оценить его концентрацию в очищенных культуральных жидкостях и первичных клеточных лизатах, промежуточных фракциях и конечном продукте. Высокая производительность, возможность автоматизации и относительно низкая стоимость делают ИФА оптимальным выбором для рутинного межоперационного контроля в условиях промышленного производства вакцин.

Целью настоящей работы явилась разработка и валидация иммуноферментной тест-системы для межоперационного контроля специфичности рекомбинантного капсидного белка (гСар) ЦВС-2.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в лаборатории вирусных антропозоонозов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» в период с августа по октябрь 2025 г.

Продуценты и референтные образцы антигенов.

В работе использовались:

- Штамм *E. coli* – продуцент гСар BL21 (DE3)pLysS-ORF2 (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»);

- Стабильно экспрессирующая клеточная линия яичников китайского хомячка – СНО-K1/PCV-ORF2 (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»);

- Нативный антиген ЦВС-2 (штамм «PCV2-SHBC», ФКП «Щелковский биокомбинат» с исходной концентрацией 2 мг/мл [14];

- Рекомбинантный аналог Сар прокариотического происхождения (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» с исходной концентрацией 6 мг/мл [15];

- Рекомбинантный аналог Сар,

полученный путем биосинтеза в клеточной линии СНО-K1 (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ») с исходной концентрацией 4 мг/мл.

Получение специфического пероксидазного конъюгата. Выделение специфических иммуноглобулинов из пула сывороток свиней, иммунных к ЦВС-2, производили методом трехкратного переосаждения насыщенным раствором сульфата аммония (НСА) с последующей хроматографической очисткой на ДЭАЭ-целлюлозе.

Постановка ИФА. Протокол постановки непрямого варианта ИФА был оптимизирован методом шахматного титрования сенсibilизирующего иммуноглобулина, антигена и специфического пероксидазного конъюгата. 96-луночные полистироловые планшеты средней сорбции (ВНИИ «Медполимер», Россия) сенсibilизировали двукратными разведениями иммуноглобулина (от 10 до 0,05 мкг/мл) на 0,05 М карбонатно-бикарбонатном буфере (рН 9,6) в объеме 100 мкл/лунку и инкубировали 18 ч при 4°C. Промывку осуществляли трехкратно после каждого этапа ИФА фосфатно-солевым буфером с добавлением 0,05% Tween-20 (ФСБ-Т). Нативные и рекомбинантные референс-антигены вносили в концентрациях от 1 до 0,001 мг/мл на ФСБ-Т и инкубировали 1 ч при 37°C. Специфический пероксидазный конъюгат, предварительно полученный периодатным методом по Nakane [16], вносили в концентрациях от 5 до 0,01 мкг/мл и инкубировали аналогично. После финальной промывки добавляли по 100 мкл/лунку субстратного раствора тетраметилбензидина (ТМБ, «BD Biosciences», США), реакцию останавливали через 15 мин внесением 100 мкл 2 М H₂SO₄. Оптическую плотность (ОП) измеряли на спектрофотометре «Model 680» («Bio-Rad», США) при длине волны 450 нм. Ключевым критерием оценки сохранности специфической антигенной активности рекомбинантных аналогов белка Сар считали коэффициент специфического связывания (S/N, signal-to-noise), который рассчитывался для каждой концентрации специфических компонентов как отношение ОП_{ср} в лунках с положительными контрольными антигенами к ОП_{ср} в лунках с отрицательными контрольными антигенами.

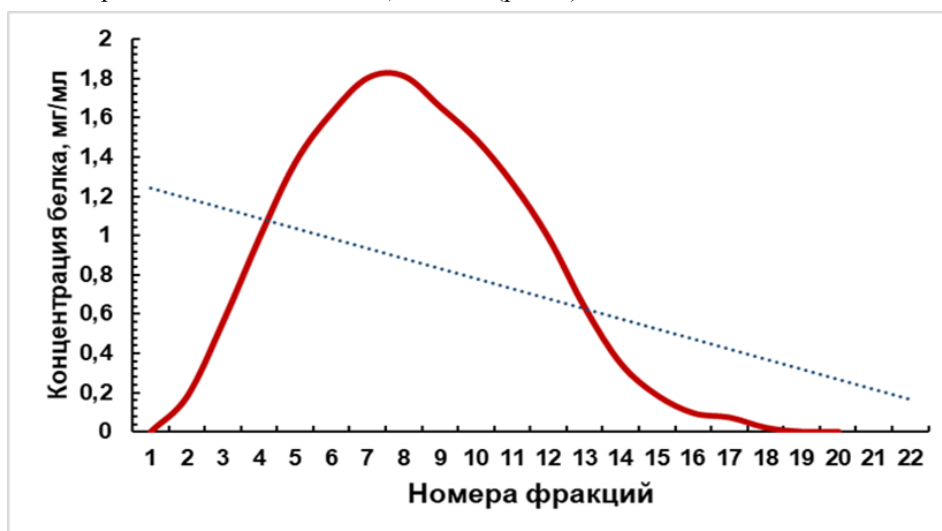
Статистический анализ. Эксперименты проводились в трипликатах, данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (M±SD). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного обеспечения «GraphPad Prism 9.0» («GraphPad Software», США). Для построения кривых титрования использовали нелинейную регрессию. Различия считали статистически значимыми при p<0,05.

Результаты и обсуждение. Для создания стандартизированной ИФА-тест-системы, предназначенной для межоперационного контроля специфичности гСар, требовались получение и характеристика ключевых

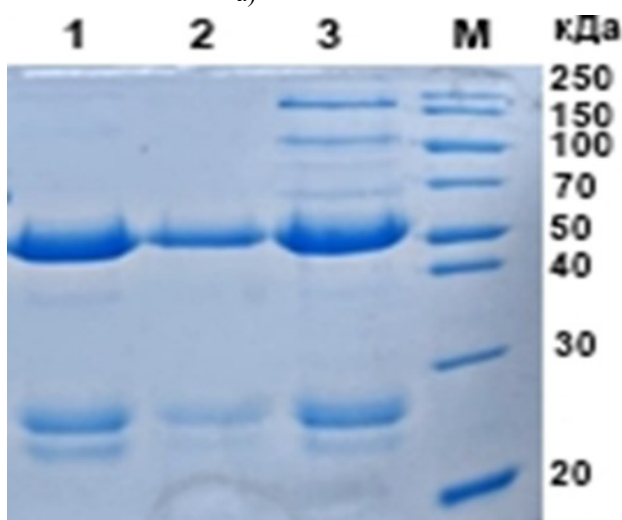
компонентов для анализа.

В качестве основного реагента для сенсibilизации твердой фазы был использован иммуноглобулин класса G (IgG), выделенный из пула сывороток позитивных к ЦВС-2

свиней. Контроль чистоты препарата, подвергнутого ионо-обменной хроматографии на ДЭАЭ-целлюлозе, осуществляли при помощи нативного электрофореза (рис. 1).



а)



б)

Рисунок 1 – Результаты хроматографической очистки анти-ЦВС иммуноглобулинов: а – гистограмма элюции IgG, б – нативная электрофореграмма очищенных IgG, где 1-3 – фракции IgG, М – маркер молекулярных масс «PageRuler» («Thermo Scientific», США)

Из электрофореграммы (рис. 1б) визуализируются две основные полипептидные фракции, соответствующие тяжелой (Н-цепь, 50 кДа) и легкой (L-цепь, 25 кДа) цепям IgG, при этом выраженность минорных полос незначительна, что свидетельствует о высокой степени очистки препарата и его пригодности для дальнейшего использования в ИФА.

Далее для детекции комплекса «антиген-антитело» был получен конъюгат анти-ЦВС иммуноглобулина с пероксидазой хрена (ПХ). Конъюгация была проведена периодатным методом, обеспечивающим ковалентное связывание через альдегидные группы, образующие при окислении углеводных компонентов молекулы ПХ. Ключевой характеристикой,

определяющей чувствительность и специфичность конъюгата, является плотность мечения – молярное соотношение молекул ПХ к молекулам IgG, вычисляемое по максимумам поглощения гема пероксидазы (403 нм) и ароматических аминокислот белка (280 нм). Проведенные расчеты показали, что для полученного конъюгата плотность мечения составила 1,5:1. Такое значение способно обеспечить достаточную ферментативную активность для надежной детекции сигнала, но при этом минимизирует риск стерических погрешностей и неспецифического связывания. Конъюгат был стабилизирован добавлением 1% БСА.

На основе кривых титрования, полученных для исходной партии анти-ЦВС

иммуноглобулина, была определена его оптимальная рабочая концентрация (ОРК). За ОРК принимали наименьшие концентрации специфического иммуноглобулина и пероксидазного конъюгата, которые обеспечивали: а) соотношение ОП_{ср}(K⁺) в диапазоне 1,1-1,4, что соответствует линейному участку детекции спектрофотометра; б) максимально возможное значение коэффициента S/N, но не менее 6,5. В данном эксперименте ОРК иммуноглобулина составила 4,5 мкг/мл, ОРК пероксидазного конъюгата – 8 мкг/мл: при этих концентрациях значение S/N составляло в среднем (10,2±0,8) ед.

Для межоперационного контроля рекомбинантных антигенов каждая новая партия гСар тестировалась с помощью разработанного ИФА параллельно с референс-образцами. Партия считалась соответствующей требованиям специфической антигенной активностью, если при ее тестировании с ОРК специфического иммуноглобулина выполнялись следующие условия:

1. Значение ОП_{ср} образца находилось в пределах ± 20% от значения ОП_{ср}(K⁺), полученного для референс-антигенов в том же эксперименте.

2. Значение коэффициента S/N было не ниже 85% от значения S/N референс-антигенов, т.е. не ниже 8,6 ед. (для данной партии конъюгата).

Этот подход позволил стандартизировать оценку функциональной активности антигена, нивелируя межпланшетную и межоператорскую вариабельность, и гарантировать стабильность диагностических характеристик тест-системы при использовании различных серий рекомбинантных белков.

Ключевой задачей при производстве вакцин и диагностикумов с использованием технологий рекомбинантных ДНК является обеспечение стабильности и функциональной

активности антигена на всех этапах – от индукции экспрессии до очистки конечного продукта. Рекомбинантный капсидный белок ЦВС-2 может быть получен в нескольких системах, каждая из которых имеет свои особенности, влияющие на фолдинг, посттрансляционные модификации и, как следствие, антигенную активность и иммуногенность белка. Исходя из этого, необходимо учитывать следующее:

а) Прокариотический синтез (в *E. coli*) позволяет получить большое количество белка, но это часто приводит к образованию нерастворимых агрегатов (телец включения). Процесс рефолдинга (восстановления нативной структуры) является критическим этапом и напрямую определяет долю функционально активного белка в конечном препарате. Некорректно свернутые молекулы, присутствуя в образце, могут не распознаваться специфическими антителами.

б) Эукариотический синтез (в клетках млекопитающих) обеспечивает нативный фолдинг и гликозилирование белка, что приближает его структуру к оригинальной. Однако культуральная среда и продукты лизиса клеток могут содержать компоненты, интерферирующие в анализе и снижающие стабильность антигена при хранении.

Для унификации контроля качества было необходимо установить зависимость между концентрацией рекомбинантного белка и его функциональной активностью, выраженной посредством коэффициента S/N. Для апробации данного критерия был проведен анализ различных образцов рекомбинантного сырья: исходных клеточных лизатов, промежуточных продуктов очистки, очищенных продуктов. Все образцы перед анализом были нормализованы по общей концентрации белка до 1 мг/мл. Результаты ИФА представлены в таблице.

Таблица – Оценка специфической антигенной активности продуктов рекомбинантного синтеза капсидного белка ЦВС-2

№ п/п	Вид технологического сырья	Значение S/N	Соответствие критерию (S/N ≥ 8,6 для данной партии конъюгата)
1	Нативный цельновирионный антиген ЦВС-2	10,3 ± 0,7	соответствует
2	Референс-антиген гСар прокариотического происхождения	11,2 ± 0,8	соответствует
3	Референс-антиген гСар эукариотического происхождения	15,2 ± 1,1	соответствует
4	Лизат клеток штамма-продуцента <i>E. coli</i> BL21(DE3)/pLysS-pET-28a(+)-ORF2	9,7 ± 0,4	соответствует
5	Бесклеточный экстракт штамма-продуцента <i>E. coli</i> BL21(DE3)/pLysS-pET-28a(+)-ORF2	3,1 ± 0,2	не соответствует
6	Солубилизованные тельца включения, содержащие агрегированный гСар	9,1 ± 0,7	соответствует
7	гСар прокариотического происхождения после рефолдинга и финишной очистки	10,9 ± 0,9	соответствует
8	Лизат клеток экспрессирующей линии CHO-K1/ORF2	9,5 ± 1,1	соответствует
9	Бесклеточный экстракт экспрессирующей линии CHO-K1/ORF2	8,9 ± 0,4	соответствует
10	гСар эукариотического происхождения после финишной очистки	17,7 ± 2,1	соответствует

Представленные данные демонстрируют, что партии сырья, прошедшие полный цикл очистки (позиции 7 и 10) демонстрируют высокие коэффициенты S/N, сопоставимые с референс-образцами или превосходящие их. В то же время прокариотический препарат, не подвергавшийся процедуре рефолдинга (6), и эукариотический препарат до очистки от балластных компонентов (9), демонстрировали в среднем более низкие значения S/N, несмотря на то, что общая концентрация белка была стандартизирована. Это наглядно демонстрирует преимущество разработанного метода для выявления именно функционально активного антигена. Примечательно, что варианты капсидного белка, синтезированного в эукариотической системе экспрессии (3, 10), отличались наибольшим коэффициентом S/N, что может свидетельствовать о более подходящей для серологических реакций конформации иммуногенных эпитопов.

Выводы. В рамках настоящего исследования была проведена апробация непрямой ИФА-тест-системы для полуколичественной оценки специфической антигенной активности рекомбинантного капсидного белка (rCap) ЦВС-2. Данная методика является важным инструментом для стандартизации и контроля качества биомассы, полученной при помощи технологий рекомбинантного синтеза, где стабильность функциональных свойств

антигенов от партии к партии имеет критическое значение.

Ключевым результатом работы стало создание набора реагентов, в том числе рекомбинантных референс-антигенов, высокоочищенного IgG к ЦВС-2 и специфического пероксидазного конъюгата с плотностью мечення 1,5:1, что обеспечило высокую чувствительность и специфичность анализа. Метод продемонстрировал хорошую воспроизводимость (коэффициент вариации составил < 7%), что позволит применять его в целях рутинного межоперационного контроля. Преимуществом разработанного подхода является его универсальность: метод основан на оценке способности антигена связываться с поликлональными антителами, что позволяет эффективно детектировать и оценивать активность rCap независимо от системы его экспрессии. Метод является эффективным как в отношении белка, полученного в прокариотической системе экспрессии, так и в отношении его гликозилированных вариантов, полученных в клетках млекопитающих.

Таким образом, внедрение данного метода в производственный процесс, в том числе при использовании разных платформ синтеза антигенов либо при переходе с одной технологии на другую, позволит повысить качество конечного продукта и обеспечить их стабильность.

Литература

1. Environmental distribution of Porcine Circovirus Type 2 (PCV2) in swine herds with natural infection / G. López-Lorenzo, J. M. Díaz-Cao, A. Prieto [et. al] // *Sci Rep*. 2019. Vol. 9. No. 1. P. 14816. <http://doi.org/10.1038/s41598-019-51473-6>.
2. Porcine circovirus type 2 and its associated diseases in southwestern Nigeria: Farmers' perception and level of awareness / O. O. Adebawale, O. S. Amoo, K. O. Afolabi [et. al] // *J. Adv Vet Anim Res*. 2022. Vol. 9. No. 2. P. 203-210. <http://doi.org/10.5455/javar.2022.i585>.
3. Юйцзе Ф. Эпизоотология, генетика и эволюция цирковируса свиней типа 2 в Китае // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2024. Т. 258. № 2. С. 237-245. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_258_237. EDN LKVMTH.
4. Леонова М. А., Леонов С. В., Фоменко Н. В. Ассоциация цирковирусов второго и третьего типов с возбудителем парвовирусной инфекции свиней // *Эффективное животноводство*. 2024. №3 (193). С. 65-68. <http://doi.org/10.24412/cl-33489-2024-3-65-68>.
5. Страффорд В. В. Цирковиральная инфекция свиней второго типа // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2017. Т. 65. № 5. С. 306-309. <http://doi.org/10.18551/rjoas.2017-05.39>.
6. Porcine Circovirus Type 2 Vaccines: Commercial Application and Research Advances / J. Guo, L. Hou, J. Zhou [et. al] // *Viruses*. 2022. Vol. 14. No. 9. P. 2005. <http://doi.org/10.3390/v14092005>.
7. Revisiting Porcine Circovirus Infection: Recent Insights and Its Significance in the Piggery Sector / H. K. Maity, K. Samanta, R. Deb [et. al] // *Vaccines (Basel)*. 2023. Vol. 11. No. 8. P. 1308. <http://doi.org/10.3390/vaccines11081308>.
8. Epidemiological Survey of Porcine Circovirus Type 2 (PCV2) in Large-Scale Pig Farms in Hubei Province and Comprehensive Evaluation of Commercial Vaccine Efficacy / W. Liao, Z. Xi, R. Fang [et. al] // *Vaccines (Basel)*. 2025. Vol. 13. No. 10. P. 1066. <http://doi.org/10.3390/vaccines13101066>.
9. Recombinant vaccines in 2022: a perspective from the cell factory / M. T. de Pinho Favaro, J. Atienza-Garriga, C. Martínez-Torró [et. al] // *Microb Cell Fact*. 2022. Vol. 21. No. 1. P. 203. <http://doi.org/10.1186/s12934-022-01929-8>.
10. Molecular engineering improves antigen quality and enables integrated manufacturing of a trivalent subunit vaccine candidate for rotavirus / N. C. Dalvie, J. R. Brady, L. E. Crowell [et. al] // *Microb Cell Fact*. 2021. Vol. 20. No. 1. P. 1-14. <http://doi.org/10.1186/s12934-021-01583-6>.
11. An engineered eukaryotic protein glycosylation pathway in *Escherichia coli* / J. D. Valderrama-Rincon, A. C. Fisher, J. H. Merritt [et. al] // *Nat Chem Biol*. 2012. Vol. 8. No. 5. P. 434-6. <http://doi.org/10.1038/nchembio.921>.
12. In vitro antigen ELISA for quality control of tetanus vaccines / L. Coombes, R. Tierney, P. Rigsby [et. al] // *Biologicals*. 2012. Vol. 40. No. 6. P. 466-72. <http://doi.org/10.1016/j.biologicals.2012.07.011>.
13. Development of an ELISA Assay for the Determination of SARS-CoV-2 Protein Subunit Vaccine Antigen Content / L. Han, C. An, D. Liu [et. al] // *Viruses*. 2022. Vol. 24. No. 15. P. 62. <http://doi.org/10.3390/v15010062>.
14. Матвеева И. Н., Богомолова О. А., Крюкова Е. Н. и др. Штамм «PCV2/SHBC» цирковируса свиней

- для производства профилактических и диагностических препаратов // Патент РФ № 2746142С1, 07. 04.2021.
15. Конструирование прокариотической системы экспрессии фрагмента гена *ORF-2* цирковируса свиней 2-го типа / А. Г. Галеева, А. Р. Ахунова, К. В. Усольцев [и др.] // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13. № 1. С. 57-63. <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-57-63>. EDN FMRFTW.
16. Nakane P. K., Kawaoi A. Peroxidase-labeled antibody. A new method of conjugation // J Histochem Cytochem. 1974. Vol. 22. No. 12. P. 1084-91. <http://doi.org/10.1177/22.12.1084>.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФКП «Щелковский биокомбинат» за предоставление образцов нативного цельновирионного антигена ЦВС-2 и гипериммунных сывороток свиней.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование выполнено в рамках НИР госзадания ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» по заказу Минсельхоза России № 125040104701-3 «Разработка технологических подходов к производству современных вакцин против вирусных и бактериальных инфекций животных» (2025-2026 годы).

Сведения об авторах:

Кузнецова Юлия Александровна – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории вирусных антропозоонозов, e-mail: yulia.nikolaeva111@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0105-7171>

Ахунова Алсу Рузалевна – младший научный сотрудник лаборатории вирусных антропозоонозов, e-mail: aahunova@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0211-3334>

Галеева Антонина Глебовна* – кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вирусных антропозоонозов, e-mail: antonina-95@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2650-6459>

Хаертынов Камил Саубанович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетического анализа, e-mail: khaerkamil@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4764-560X>

Ефимова Марина Анатольевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вирусных антропозоонозов, e-mail: marina-2004r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8786-1310>

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия

ENZYME IMMUNOASSAY TEST SYSTEM FOR INTEROPERATIVE CONTROL OF THE SPECIFICITY OF RECOMBINANT CAPSID PROTEIN OF PORCINE CIRCOVIRUS TYPE 2 Yu. A. Kuznetsova, A. R. Akhunova, A. G. Galeeva, K. S. Khaertynov, M. A. Efimova

Abstract. Porcine circovirus infections, primarily caused by porcine circovirus type 2 (PCV2), are one of the most significant problems in global pig production. Vaccination is a key tool for control and prevention of porcine circovirus infections. Recombinant analogs of capsid protein (rCap) of porcine circovirus type 2 (PCV2) are key components of modern diagnostic test systems and subunit vaccines. The stability of its antigenic activity is a critical parameter determining the efficiency and reproducibility of the functional product. The aim of this study was to develop and test an enzyme-linked immunosorbent assay system for interoperative monitoring of the specific activity of rCap protein. To obtain recombinant analogues of the PCV-2 capsid protein, the previously constructed recombinant *E. coli* BL21(DE3)pLysS-ORF2 producer strain (for prokaryotic analogue) and the stably expressing Chinese hamster ovary cell line CHO-K1/PCV-ORF2 (for eukaryotic analogue) were used; protein purification was performed according to previously developed protocols. Chromatographically purified IgG isolated from a pool of sera from PCV-2-seropositive pigs was used for sensitization of the solid phase (polystyrene plates); the specific peroxidase conjugate was obtained by the periodate method. The study resulted in the production of a stable peroxidase conjugate with a labeling density of 1.5:1. The developed test system enabled semiquantitative analysis of recombinant raw materials, demonstrating good reproducibility (coefficient of variation <7%). The test system was found to be universal and capable of assessing the activity of rCap variants obtained in both prokaryotic and eukaryotic expression systems, accurately recognizing their antigenic determinants. Thus, the implementation of the semiquantitative ELISA method in the production cycle will standardize the process of in-process quality control of biomass obtained using recombinant DNA technologies and guarantee stable antigenic characteristics of vaccines and diagnostic products.

Key words: porcine circovirus type 2, capsid protein, recombinant DNA technologies, heterologous expression, enzyme immunoassay, interoperative quality control of raw materials.

For citation: Kuznetsova Yu.A., Akhunova A.R., Galeeva A.G., Khaertynov K.S., Efimova M.A. Enzyme immunoassay test system for interoperative control of the specificity of recombinant capsid protein of porcine circovirus type 2. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 50-56 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_50.

References

- Lopez-Lorenzo G, Diaz-Cao JM, Prieto A. Environmental distribution of porcine circovirus type 2 (PCV2) in swine herds with natural infection. Sci Rep. 2019; Vol. 9. No. 1. 14816 p. <http://doi.org/10.1038/s41598-019-51473-6>.
- Adebowale OO, Amoo OS, Afolabi KO. Porcine circovirus type 2 and its associated diseases in southwestern Nigeria: Farmers' perception and level of awareness. J. Adv Vet Anim Res. 2022; Vol. 9. No. 2. 203-210 p. <http://doi.org/10.5455/javar.2022.i585>.
- Yuytsze F. [Epizootology, genetics and evolution of porcine circovirus type 2 in China]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana. 2024; Vol. 258. 2. 237-245 p. http://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_258_237. EDN LKVMTH.
- Leonova MA, Leonov SV, Fomenko NV. [Association of porcine circoviruses of the second and third types with the causative agent of porcine parvovirus infection]. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2024; 3 (193). 65-68 p. <http://doi.org/10.24412/cl-33489-2024-3-65-68>
- Stafford VV. [Porcine circovirus infection of type 2]. Russian Journal of Agricultural and Social and Economic Sciences. 2017; Vol. 65. 5. 306-309 p. <http://doi.org/10.18551/rjoas.2017-05.39>.
- Guo J, Hou L, Zhou J. Porcine circovirus type 2 vaccines: commercial application and research advances. Viruses. 2022; Vol. 14. No. 9. 2005 p. <http://doi.org/10.3390/v14092005>.
- Maity HK, Samanta K, Deb R. Revisiting porcine circovirus infection: recent insights and its significance in the piggy sector. Vaccines (Basel). 2023; Vol.11. No.8. 1308 p. <http://doi.org/10.3390/vaccines11081308>.
- Liao W, Xi Z, Fang R. Epidemiological survey of porcine circovirus type 2 (PCV2) in large-scale pig farms

in Hubei province and comprehensive evaluation of commercial vaccine efficacy. *Vaccines* (Basel). 2025; Vol. 13. No. 10. 1066 p. <http://doi.org/10.3390/vaccines13101066>.

9. de Pinho Favaro MT, Atienza-Garriga J, Martinez-Torro C. Recombinant vaccines in 2022: a perspective from the cell factory. *Microb Cell Fact*. 2022; Vol. 21. No. 1. 203 p. <http://doi.org/10.1186/s12934-022-01929-8>.

10. Dalvie NC, Brady JR, Crowell LE. Molecular engineering improves antigen quality and enables integrated manufacturing of a trivalent subunit vaccine candidate for rotavirus. *Microb Cell Fact*. 2021; Vol. 20. No. 1. 1-14 p. <http://doi.org/10.1186/s12934-021-01583-6>.

11. Valderrama-Rincon JD, Fisher AC, Merritt JH. An engineered eukaryotic protein glycosylation pathway in *Escherichia coli*. *Nat Chem Biol*. 2012; Vol. 8. No. 5. 434-6 p. <http://doi.org/10.1038/nchembio.921>.

12. Coombes L, Tierney R, Rigsby P. In vitro antigen ELISA for quality control of tetanus vaccines. *Biologicals*. 2012; Vol. 40. No. 6. 466-72 p. <http://doi.org/10.1016/j.biologicals.2012.07.011>.

13. Han L, An C, Liu D. Development of an ELISA assay for the determination of SARS-CoV-2 protein subunit vaccine antigen content. *Viruses*. 2022; Vol. 24. No. 15. 62 p. <http://doi.org/10.3390/v15010062>.

14. Matveeva IN, Bogomolova OA, Kryukova EN. [The PCV2/SHBC strain of porcine circovirus for the production of prophylactic and diagnostic drugs]. Patent RF № 2746142C1, 07. 04.2021.

15. Galeeva AG, Akhunova AR, Usoltsev KV. [Construction of a prokaryotic expression system for the ORF-2 gene fragment of porcine circovirus type 2]. *Veterinariya segodnya*. 2024; Vol. 13. 1. 57-63 p. <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-57-63>. EDN FMRFTW.

16. Nakane PK, Kawaoi A. Peroxidase-labeled antibody. A new method of conjugation. *J Histochem Cytochem*. 1974; Vol. 22. No. 12. 1084-91 p. <http://doi.org/10.1177/22.12.1084>.

Acknowledgments

The authors thank the staff of Shchelkovo Biocombinat Federal State Enterprise for providing samples of native whole-virion PCV2 antigen and porcine hyperimmune sera.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This study was carried out as part of the research and development program of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Center for Traumatology and Radiology - All-Russian Research Institute of Virology and Virology" commissioned by Ministry of Agriculture of the Russian Federation № 125040104701-3 Development of technological approaches to the production of modern vaccines against viral and bacterial infections in animals (2025-2026).

Authors:

Kuznetsova Yuliya Aleksandrovna – post-graduate student, junior researcher of Viral Anthroponoses Laboratory, e-mail: yulia.nikolaeva111@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0105-7171>

Akhunova Alsu Ruzalevna – junior researcher of Viral Anthroponoses Laboratory, e-mail: aahunova@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0211-3334>

Galeeva Antonina Glebovna* – Ph.D. of Veterinary Sciences, leading researcher of Viral Anthroponoses Laboratory, e-mail: antonina-95@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2650-6459>

Khaertynov Kamil Saubanovich – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher of Laboratory of Molecular Genetics analysis, e-mail: khaerkamil@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4764-560X>

Efimova Marina Anatolyevna – Doctor of Biological Sciences, leading researcher of Viral Anthroponoses Laboratory, e-mail: marina-2004r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8786-1310>

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia.

**ВЛИЯНИЕ ДЕГИДРАТАЦИИ И СОЛЕВОГО РАЦИОНА НА ДИНАМИКУ
ОСМОРЕГУЛЯТОРНЫХ ГОРМОНОВ У УТОК****А. А. Кучеров, Н. А. Пудовкин, П. В. Смутнев**

Реферат. В статье представлены результаты исследований по изучению влияния длительного обезвоживания и пищевого хлорида натрия на уровень аргинин-вазотоцина, пролактина, альдостерона и кортикостерона в крови у уток. Исследование проводили на птицах двух групп: контрольной (низкосолевого рацион + вода) и опытной (высокосолевого рацион + 0,5% раствор хлорида натрия). После девяти суток адаптации к рациону были установлены достоверные различия между группами по осмоляльности плазмы, концентрациям натрия и хлора, которые соответствовали уровню потребления хлорида натрия. Длительное обезвоживание вызвало прогрессирующее увеличение осмоляльности плазмы и концентраций натрия и хлора во всех группах, причем у птиц опытной группы эти показатели были достоверно выше. Концентрация калия оставалась относительно стабильной в группе с высоким потреблением натрия в период дегидратации. Исследование выявило значительное повышение уровня аргинин-вазотоцина, который демонстрировал прямую зависимость от уровня потребления хлорида натрия и сильную положительную корреляцию с осмоляльностью плазмы ($r=0,958-0,987$). Однако при обезвоживании секреция аргинин-вазотоцина достигала плато, несмотря на продолжающийся рост осмоляльности. Уровень пролактина достоверно повышался, демонстрируя тесную корреляцию с осмоляльностью плазмы ($r=0,911-0,995$) и концентрацией аргинин-вазотоцина ($r=0,932-0,957$). В отличие от этих гормонов, концентрация альдостерона значительно снижалась на фоне высокого потребления хлорида натрия и демонстрировала слабую отрицательную корреляцию с осмоляльностью и электролитами. Концентрация кортикостерона закономерно увеличивалась в ответ на дегидратацию. Полученные данные свидетельствуют о комплексных изменениях в осморегуляции и гормональном статусе уток при длительном обезвоживании и различном уровне потребления хлорида натрия.

Ключевые слова: осморегуляция, дегидратация, аргинин-вазотоцин, утки, осмоляльность плазмы, пролактин, альдостерон, кортикостерон, электролиты (натрий, хлор, калий).

Для цитирования: Кучеров А.А., Пудовкин Н.А., Смутнев П.В. Влияние дегидратации и солевого рациона на динамику осморегуляторных гормонов у уток // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 57-64. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_57.

Введение. Осморегуляция у птиц имеет уникальные особенности среди позвоночных, связанные с отсутствием мочевого пузыря, что исключает возможность хранения мочи и ее постренальной модификации. Для поддержания водно-солевого гомеостаза птицы используют три системы: почки, нижний отдел желудочно-кишечного тракта и солевые железы. Почки продуцируют мочу, значительно более концентрированную, чем плазма, но не способны самостоятельно экономить большие объемы воды. Поскольку мочевой пузырь отсутствует, моча попадает в нижний отдел кишечника, где ее состав может существенно изменяться. Кроме того, птицы, потребляющие соленую пищу или воду, обладают активными солевыми железами, которые выводят избыток ионов, в первую очередь натрия и хлора, и в процессе этой секреции производят свободную воду [1, 2].

Регуляция физиологических процессов в почках и дистальном отделе кишечника у птиц при обезвоживании и дефиците натрия хлорида осуществляется несколькими гормональными системами. Ключевую роль играют пептид аргинин-вазотоцин, пролактин и стероидные гормоны надпочечников - альдостерон и кортикостерон. Считается, что стероиды и пролактин участвуют в модуляции постренальной обработки мочи в кишечнике. Однако из-за недостатка сопоставимых данных *in vivo*,

которые бы коррелировали плазменные концентрации этих гормонов с изменениями осмотического гомеостаза, их роль в осморегуляции птиц остается не до конца выясненной [3].

Целью исследования было определение динамики концентраций аргинин-вазотоцина, пролактина, альдостерона и кортикостерона в плазме крови в условиях продолжительного обезвоживания, сочетающегося с рационами, различающимися по содержанию хлорида натрия. Вариация уровня соли в рационе была предназначена для того, чтобы помочь разграничить влияние осмотических и волюмических (объемных) факторов.

Условия, материалы и методы. В исследовании использовали двенадцать уток пекинской породы. За неделю до начала эксперимента птиц перевели на диету с пониженным содержанием хлорида натрия и разместили индивидуально в клетках при 12-часовом световом режиме. Для минимизации стрессового воздействия были отобраны особи, которые ранее дважды успешно перенесли процедуру пункции сердца.

В первые сутки эксперимента у шести случайно выбранных уток отобрали исходные пробы крови. Затем всех птиц распределили на две опытные группы: контрольная группа ($n=6$) получала рацион с низким содержанием хлорида натрия и водопроводную воду,

а опытная группа (n=6) – рацион с высоким содержанием хлорида натрия и 0,5% раствор хлорида натрия. Высокосолевой корм готовили путем добавления 1% хлорида натрия к базовому рациону, что повышало концентрацию натрия с 5 до 176 ммоль/г при влажности корма около 12%.

Забор крови проводили на 3-е, 6-е и 9-е сутки адаптации к рационам. На 9-й сутки у птиц инициировали обезвоживание, удалив питьевую воду, и продолжили мониторинг с забором крови на 12-е, 15-е, 18-е, 21-е и 24-е сутки эксперимента. После 8-х суток в опытной группе пала одна птица, что сократило размер группы до пяти особей.

Кровь объемом 6-7 мл отбирали пункцией сердца в гепаринизированные пробирки в интервале между 08:00 и 08:30. Пробы немедленно охлаждали на льду и центрифугировали. Временной интервал от поймки птицы до завершения процедуры не превышал 3 минут (в среднем 75±5 секунд). Плазму сразу же аликвотировали: 1 мл для анализа аргинин-вазотоцина, остальные образцы хранили при 4 °С для последующего определения

концентраций альдостерона, кортикостерона, электролитов и осмоляльности. Для анализа пробы пролактина (250 мкл) стабилизировали 0,1% азидом натрия.

Рассчитанные уровни потребления натрия составляли 0,2 и 15,3 ммоль/кг массы тела в сутки для рационов с низким (контроль) и высоким (опыт) содержанием хлорида натрия соответственно. Птицы группы с высокосолевым рационом и водопроводной водой потребляли примерно 7 ммоль натрия /кг в сутки.

Анализ данных проводили с использованием непараметрических методов: однофакторного дисперсионного анализа (тест Краскела-Уоллиса) и t-теста Манна-Уитни. Статистически значимыми считали различия при p<0,05.

Результаты и обсуждение. Исходные показатели (0 сутки) у шести случайно отобранных птиц, содержащихся на низкосолевом рационе в течение 7 суток до эксперимента, составили: осмоляльность - 315±4 мОсм, концентрация натрия - 142,01±10,12 ммоль/л, хлора - 109,31±7,91 ммоль/л. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Осмоляльность и концентрация электролитов плазмы крови уток

Показатель	Сутки	Осмоляльность (мОсм/л)	Натрий (ммоль/л)	Хлор (ммоль/л)	Калий (ммоль/л)
Контрольная группа					
Гидратация	0	303,10±10,36	142,01±10,12	109,31±7,91	4,31±0,31
	3	305,25±21,41	143,14±8,36	110,36±9,36	4,36±0,41
	6	308,01±19,14	145,25±10,22	110,96±8,02	5,00±0,66
	9	310,78±11,47	152,21±10,03	113,58±7,96	5,20±0,24*
Дегидратация	12	345,21±21,79*	158,25±14,20	117,36±10,23	6,00±0,37*
	15	347,25±25,17*	163,27±16,32	123,58±11,00	5,98±0,66*
	18	352,14±30,00*	165,01±11,02	129,02±10,36*	5,02±0,25*
	21	356,99±35,74*	165,81±13,2*	130,00±9,39*	5,69±0,37*
	24	362,14±34,33*	166,00±9,23*	131,25±10,30*	5,81±0,51*
Опытная группа					
Гидратация	0	305,12±25,01	151,01±6,21	113,95±10,36	5,29±3,01
	3	329,23±31,01	152,01±7,95	115,98±9,35	5,36±0,31
	6	350,21±21,99	155,31±9,31	117,98±7,36	5,37±0,66
	9	354,36±31,00	159,01±10,03	119,35±10,91	5,31±0,12
Дегидратация	12	360,25±19,97*	163,25±12,81	126,35±11,91	5,40±0,41
	15	361,21±25,87*	171,20±15,00	139,25±12,03*	5,34±0,39
	18	362,21±21,91*	173,01±10,91*	140,99±10,36*	5,21±0,54
	21	370,21±34,21*	177,31±13,36*	141,02±8,07*	5,63±0,21
	24	378,25±31,21*	178,00±12,92*	144,36±9,96*	5,61±0,10

Примечание: * - p<0,05 – достоверность различий относительно 0 суток

После девяти суток адаптации к рациону и перед обезвоживанием между двумя группами птиц наблюдали достоверные различия по осмоляльности плазмы, натрия и хлора. Эти различия соответствовали уровню потребления хлорида натрия.

Через три дня после удаления питьевой воды осмоляльность плазмы достоверно

увеличилась на 13,8% у птиц в контрольной группе и на 18,1% у уток в группе с повышенным содержанием соли. Аналогичная динамика была отмечена для концентраций натрия и хлора. В период дегидратации не выявлено различий по осмоляльности у птиц контрольной группы, однако у птиц получавших высокосолевой рацион этот параметр был

достоверно выше на 18,1-24,0% ($p < 0,05$).

На протяжении последующих 12 суток дегидратации осмоляльность плазмы и концентрация натрия продолжали устойчиво возрастать в плазме крови птиц всех групп. К 24-м суткам значения у птиц каждой группы достоверно превышали показатели 10-х суток. Аналогичная динамика наблюдалась для концентрации хлоридов в плазме крови птиц контрольной (+1,0... +20,1%) и опытной групп (1,8%...26,7%).

Исходный уровень калия у шести случайно отобранных птиц на низкосолевом рационе (0 сутки) составлял $4,31 \pm 0,31$ ммоль/л. К 9-м суткам эксперимента концентрация калия в плазме крови птиц контрольной группы возросла на 14%, достигнув $5,20 \pm 0,24$ ммоль/л, что указывает на период стабилизации, длящийся не менее двух недель.

В условиях нормальной гидратации между группами птиц существовали значимые различия: к 8-м суткам концентрация калия у уток на высокосолевом рационе была на 10-13% ниже, чем у уток с повышенным содержанием соли. При этом внутри опытной группы птиц разница по концентрации калия в плазме крови была статистически незначимой.

В период дегидратации концентрация калия в плазме крови птиц оставалась стабильной в группе с повышенным потреблением натрия по сравнению с 8-м днем (табл. 1).

Наши результаты демонстрируют четкую ступенчатую зависимость: с увеличением уровня потребления хлорида натрия в рационе пропорционально росли осмоляльность плазмы и концентрации натрия и хлора. При этом концентрация калия была ниже у птиц на высокосолевом рационе, без существенных различий между группами.

Таблица 2 - Концентрации аргинин-вазотоцин, пролактина, альдостерона и кортикостерона в плазме

Показатель	Сутки	Аргинин-вазотоцин (нг/л)	Пролактин (нг/л)	Альдостерон (нг/л)	Кортикостерон (нг/мл)
Контрольная группа					
Гидратация	0	$8,17 \pm 0,13$	$28,39 \pm 1,97$	$165,00 \pm 9,24$	$1,10 \pm 0,25$
	3	$8,21 \pm 0,26$	$29,54 \pm 2,36$	$166,02 \pm 10,69$	$1,15 \pm 0,36$
	6	$8,32 \pm 0,41$	$29,21 \pm 2,17$	$170,31 \pm 12,58$	$1,00 \pm 0,28$
	9	$9,01 \pm 0,26^*$	$29,31 \pm 3,16$	$182,36 \pm 14,01$	$1,01 \pm 0,14$
Дегидратация	12	$14,36 \pm 0,71^*$	$62,10 \pm 4,21^*$	$218,31 \pm 16,57^*$	$2,71 \pm 0,23^*$
	15	$17,01 \pm 0,66^*$	$65,21 \pm 4,12^*$	$217,32 \pm 20,41^*$	$2,51 \pm 0,17^*$
	18	$18,95 \pm 1,12^*$	$69,21 \pm 5,01^*$	$215,20 \pm 20,17^*$	$2,69 \pm 0,31^*$
	21	$23,01 \pm 2,00^*$	$70,21 \pm 3,17^*$	$213,31 \pm 20,01^*$	$2,74 \pm 0,24^*$
	24	$25,10 \pm 1,98^*$	$79,00 \pm 5,28^*$	$214,36 \pm 19,99^*$	$2,62 \pm 0,21^*$
Опытная группа					
Гидратация	0	$11,98 \pm 1,02$	$29,23 \pm 2,97$	$130,47 \pm 9,25$	$1,00 \pm 0,13$
	3	$12,28 \pm 1,09$	$39,25 \pm 3,00^*$	$53,91 \pm 12,98^*$	$1,01 \pm 0,17$
	6	$21,36 \pm 2,17^*$	$41,01 \pm 3,58^*$	$55,32 \pm 10,58^*$	$1,13 \pm 0,13$
	9	$23,69 \pm 2,00^*$	$58,03 \pm 4,01^*$	$66,78 \pm 10,87^*$	$1,25 \pm 0,15$
Дегидратация	12	$25,68 \pm 2,14^*$	$63,54 \pm 4,58^*$	$38,15 \pm 8,25^*$	$1,49 \pm 0,13^*$
	15	$26,39 \pm 1,99^*$	$65,28 \pm 5,01^*$	$20,25 \pm 8,36^*$	$1,53 \pm 0,19^{**}$
	18	$28,00 \pm 2,61^*$	$70,59 \pm 6,14^*$	$38,25 \pm 10,25^*$	$1,89 \pm 0,19^*$
	21	$28,54 \pm 2,21^*$	$73,54 \pm 5,01^*$	$31,36 \pm 8,36^*$	$2,13 \pm 0,14^*$
	24	$29,14 \pm 1,13^*$	$83,21 \pm 5,31^*$	$25,74 \pm 0,77^*$	$2,25 \pm 0,14^*$

Примечание: * - $p < 0,05$ – достоверность различий относительно 0 суток

Средняя исходная концентрация аргинин-вазотоцин в плазме у шести случайно выбранных птиц (0 сутки) составила $8,17 \pm 0,13$. В период адаптации к высокосолевому рациону концентрация аргинин-вазотоцина в плазме крови птиц опытной группы возрастала.

К 12-м суткам эксперимента между всеми группами птиц наблюдались статистически значимые различия в уровне аргинин-вазотоцина в плазме крови, который демонстрировал прямую зависимость от уровня потребления хлорида натрия. У контрольных птиц изучаемый показатель повысился на 75,8%, у опытной группы птиц – 2,1 раза.

Можно предположить, что к 12-м суткам птицы были полностью адаптированы к

рациону с повышенным содержанием соли и что осмоляльность плазмы является ключевым стимулом для секреции аргинина-вазотоцина. В данном случае просматривается корреляционная связь зависимости аргинина-вазотоцина от осмоляльности плазмы в условиях гидратации. Коэффициент корреляции в контрольной группе составил – 0,958, в опытной – 0,987.

Исходная концентрация альдостерона в плазме крови птиц опытной группы составляла $130,47 \pm 9,25$ нг/л. На фоне потребления рационов с высоким содержанием хлорида натрия уровень альдостерона значительно снизился в течение 12 суток до $25,74 \pm 0,77$ нг/мл ($p < 0,05$). В то же время, в контрольной группе уток, остававшейся на

низкосолевого рациона, базальный уровень гормона сохранялся (табл. 2).

У дегидратированных птиц концентрация альдостерона демонстрировала слабую отрицательную корреляцию с осмоляльностью, натрия и хлора.

Исходная утренняя концентрация кортикостерона в плазме крови контрольных птиц (0 сутки) составила $1,10 \pm 0,25$ нг/мл, в период обезвоживания наблюдалась общая тенденция к повышению концентрации кортикостерона до $2,62 \pm 0,21$ нг/мл.

Наиболее быстрое и значительное увеличение кортикостерона было зарегистрировано во всех группах птиц, рост концентрации стал заметен уже на 2-е сутки дегидратации (12-е сутки эксперимента).

Через трое суток после прекращения доступа к воде концентрация аргинина-вазотоцина возросла в 2 раза у птиц контрольной группы и в 2 раза у птиц в группе с повышенным содержанием соли в рационе.

В последующие 9 суток значительного дальнейшего увеличения не наблюдали, что позволяет предположить, что секреция аргинина-вазотоцина достигла плато, несмотря на продолжающийся рост осмоляльности плазмы. Результаты исследований представлены на рисунке 1 и 2.

Обезвоживание вызвало повышение уровня кортикостерона во всех экспериментальных группах, что согласуется с данными других исследований. Хотя амплитуда ответа между группами значимо не различалась, анализ выявил различия в чувствительности: в контрольной группе зависимость кортикостерона от натрия была более выраженной (табл. 2).

Важно отметить, что увеличение кортикостерона в условиях дегидратации может быть не только осморегуляторной реакцией, но и следствием метаболического стресса, связанного со снижением потребления корма, которое также наблюдалось у наших птиц.

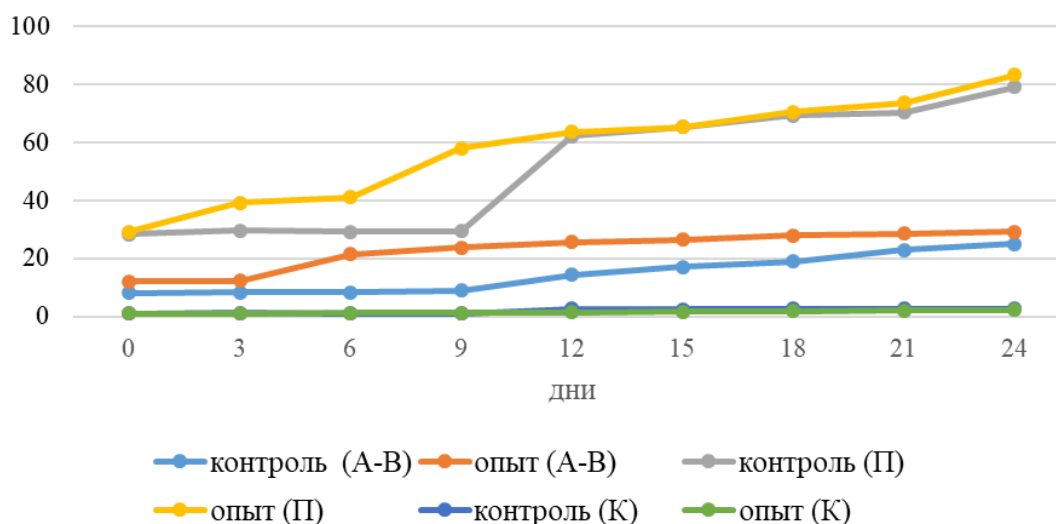


Рисунок 1 – Влияние водной депривации на уровни аргинин-вазотоцин (А-В), (нг/л), пролактина (П), (нг/л) и кортикостерона (К), (нг/мл) у уток

Обезвоживание у птиц вызывает два ключевых физиологических сдвига: гиперосмоляльность и гиповолемию. Важно отметить, что выявленные различия в осмотической чувствительности секреции аргинина-вазотоцина между группами с разным потреблением соли не повлияли на конечную величину гормонального ответа. Во всех трех группах уровень аргинина-вазотоцина стабилизировался примерно на одном и том же значении (около 25-29 нг/мл), несмотря на сохранявшуюся разницу в осмоляльности плазмы (на 11,6% между группами) и ее непрерывный рост на протяжении всего периода дегидратации. Этот факт позволяет предположить, что в условиях длительного стресса осмотические и объемные факторы способны поддерживать повышенную концентрацию аргинин-вазотоцин лишь до определенного предела, который, вероятно, соответствует максимальным возможностям его синтеза и высвобождения [6, 7].

Наблюдали четкую зависимость базового

уровня пролактина от потребления хлорида натрия, которая проявлялась в виде ступенчатого увеличения гормона по мере роста содержания соли в рационе. Концентрация пролактина демонстрировала высокостойкую положительную корреляцию с осмоляльностью плазмы, натрия и хлора.

В ответ на дегидратацию концентрация пролактина, демонстрировала резкое увеличение в 2-4 раза в течение первых двух суток. Однако в динамике пролактина и аргинина-вазотоцина выявлена существенная диссоциация. В отличие от аргинин-вазотоцина, который быстро достигал плато, концентрация пролактина продолжала неуклонно возрастать на протяжении всего периода обезвоживания во всех группах, причем наиболее значительный прирост наблюдался в опытной группе (рис. 1).

К концу периода дегидратации (дни 21-24) концентрация пролактина достигла исходного уровня во всех группах (80-85 нг/мл), что,

вероятно, представляет физиологический максимум секреторного ответа на комбинированные осмотические и волюмические стимулы у уток. Можно предположить, что изначально более высокий осмотический статус и гиперволемиа у птиц на высокосолевом рационе привели к снижению чувствительности осморегуляторного механизма, контролирующего секрецию пролактина [8].

Исходный уровень пролактина в плазме на 0-е сутки составлял 28-29 нг/мл. В период адаптации к рационам наблюдали увеличение пролактина у птиц, получавших высокое содержание хлорида натрия, причем наиболее выраженный рост отмечали у уток группы с повышенным содержанием соли в рационе. Так рост данного показателя к 24 суткам составил 2,4 раза.

Корреляционный анализ выявил значимую зависимость уровня пролактина от осмоляльности плазмы. Коэффициент корреляции в контрольной группе составил – 0,995, в опытной – 0,911.

В период обезвоживания наблюдали параллельный рост как осмоляльности плазмы, так и концентрации пролактина у птиц всех групп.

Положительная корреляция между концентрациями аргинина-вазотоцина и пролактина наблюдалась при анализе данных по группам: коэффициент корреляции для контрольной группы составил 0,957 для опытной группы – 0,932.

Несмотря на различия в динамике, средние объединенные значения кортикостерона между группами в период дегидратации у птиц с повышенным содержанием соли в рационе достигали статистической значимости. Однако сам факт повышения концентрации кортикостерона на фоне обезвоживания был статистически высокодостоверен.

Изменение содержания хлорида натрия в рационе и лишение организма доступа к воде,

как известно, оказывают комплексное влияние на водно-солевой обмен, воздействуя как на объем внеклеточной жидкости (включая объем плазмы), так и на концентрацию электролитов. Это справедливо как для птиц, так и для млекопитающих [4]. Следовательно, изменения плазменных концентраций гормонов, зафиксированные в нашем исследовании, могут регулироваться как объемными, так и осмотическими стимулами.

В контексте домашней птицы, установлено, что десятикратное снижение содержания хлорида натрия в рационе приводило к уменьшению объема внеклеточной жидкости примерно на 10%, хотя объем плазмы при этом существенно не менялся. Это позволяет предположить, что в условиях нормальной гидратации объем внеклеточной (и, возможно, плазменной) жидкости был существенно ниже в контрольной группе по сравнению с группами, получавшими рацион с высоким содержанием соли. Кроме того, установлено, что водная депривация в течение 3-4 суток вызывает снижение объема плазмы на 16-20% у птиц со средним потреблением соли, что сопоставимо с условиями содержания наших птиц.

Обезвоживание, вызванное лишением воды, привело к резкому повышению осмоляльности, натрия и хлора уже ко второму дню во всех группах. На протяжении всего периода дегидратации наблюдался непрерывный рост этих показателей, причем наиболее медленные темпы увеличения были характерны для контрольной группы. Концентрация калия оставалась относительно стабильной.

Диапазон концентраций аргинин-вазотоцина в плазме у нормально гидратированных уток в нашем исследовании (8,17-9,01 нг/л), согласуется с данными, по концентрации базального уровня антидиуретического гормона, который в норме находится в нижней части этого диапазона [5].

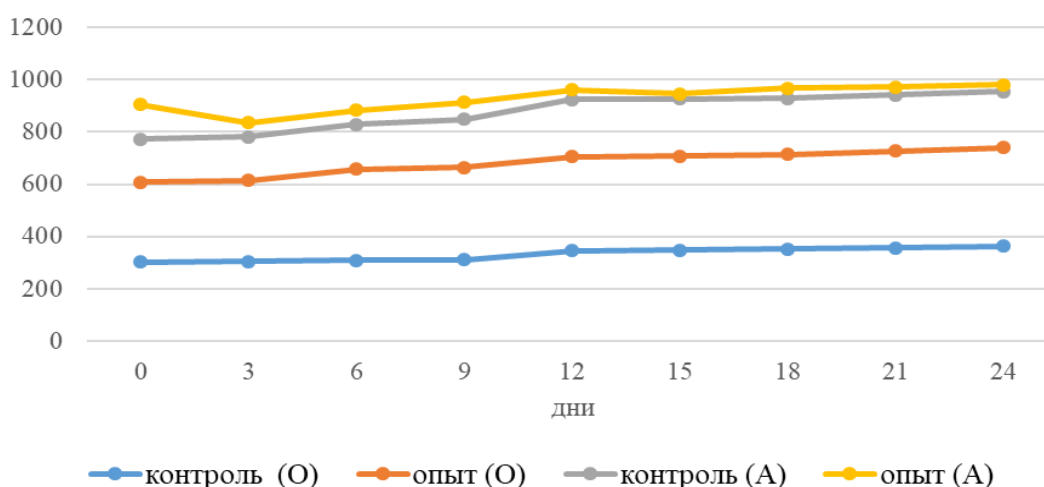


Рисунок 2 – Влияние водной депривации на осмоляльность (О), мОсм/л и уровень альдостерона (А), нг/л у уток

У млекопитающих установлено, что секреция аргинина-вазотоцина контролируется как осмотическими, так и объемными факторами.

Осморегуляторная система отличается более высокой чувствительностью, в то время как объемный фактор обладает большей

мощностью. Кроме того, волемический статус оказывает обратное влияние на осмотическую чувствительность секреции аргинина-вазотоцина, для изменения которой требуется снижение объема крови не менее чем на 10% [3].

В нашем исследовании у уток с нормальной гидратацией наблюдалась положительная корреляционная зависимость между аргинин-вазотоцином и осмоляльностью плазмы. Наличие положительной зависимости аргинина-вазотоцина от осмоляльности у нормально гидратированных птиц, получавших разные рационы, указывает на доминирующую роль осмотического фактора над объемным, который должен был бы оказывать противоположное влияние. Однако это не исключает модулирующего эффекта волемии на осмотическую чувствительность.

Действительно, уровень потребления хлорида натрия и, как следствие, предполагаемый объем крови, по-видимому, влияли на чувствительность секреции аргинина-вазотоцина к осмоляльности, что особенно четко проявилось в условиях дегидратации.

Концентрация альдостерона в плазме, как известно, сильно зависит от потребления хлорида натрия у млекопитающих, рептилий и птиц. Наши данные, которые представлены на рисунке 2, полностью согласуются с этими данными [9].

У млекопитающих секреция альдостерона контролируется в основном ангиотензином II, калием и адренкортикотропным гормоном, причем натрий модулирует чувствительность надпочечников к этим стимулам. У птиц механизмы регуляции изучены хуже, хотя известно, что *in vitro* синтез стероидов в надпочечниках уток стимулируется адренкортикотропным гормоном, калием и ангиотензином II.

Сочетание гиповолемии, высокой концентрации калия и низкой концентрации натрия в контрольной группе, по-видимому, привело к тому, что уровень альдостерона достиг своего максимума у нормогидратированных птиц. Об этом же свидетельствуют выявленные значимые корреляции: отрицательная с натрием, хлора и осмоляльностью, и положительная с калием.

То, что гиповолемия является мощным стимулом для секреции альдостерона, подтверждается нашим экспериментом с обезвоживанием. Несмотря на рост натрия, уровень альдостерона в контрольной группе не снизился, а даже несколько увеличился. Это можно объяснить компенсаторной реакцией на предполагаемое снижение объема крови, где эффект гиповолемии преодолевает влияние возросшего натрия [10].

Относительное увеличение альдостерона в опытной группе во время дегидратации было более значительным, однако достигнутые абсолютные значения составили лишь 50-80% от уровня контрольной группы. Это может быть следствием снижения чувствительности

надпочечников к стимулам на фоне хронически высокого натрия.

Известно, что процедура взятия крови является стресс-фактором, влияющим на уровень кортикостерона. Однако в нашем эксперименте не было выявлено корреляции между продолжительностью забора крови и величиной кортикостерона у предварительно адаптированных птиц, что согласуется с данными о том, что обучение птиц процедурам снижает стрессовый ответ [9].

Несмотря на то что, имеются данные свидетельствующие в пользу осморегуляторной функции кортикостерона. Показано, что он частично восстанавливает электролитный баланс у адреналэктомированных уток, а его рецепторы обнаружены в почках. Кроме того, традиционное разделение кортикостероидов на минерало- и глюкокортикоиды может быть неприменимо к немлекопитающим, где один гормон часто выполняет обе функции.

Выводы. Исходные показатели водно-солевого обмена у птиц на низкосолевого рациона были в пределах физиологической нормы. Девятидневная адаптация к рационам с разным содержанием хлорида натрия привела к формированию достоверных межгрупповых различий по осмоляльности плазмы, концентрациям натрия и хлора, которые соответствовали уровню потребления соли. Длительное обезвоживание вызвало прогрессирующий рост осмоляльности плазмы и концентраций ионов натрия и хлора во всех группах, причем у птиц на высокосолевого рациона эти параметры были достоверно выше. Концентрация калия демонстрировала меньшую динамику, оставаясь относительно стабильной в группе с высоким потреблением натрия в период дегидратации.

Гормональный ответ характеризовался значительным повышением уровня аргинин-вазотоцина, который находился в прямой зависимости от уровня потребления хлорида натрия и коррелировал с осмоляльностью плазмы в условиях гидратации. Однако в период обезвоживания, несмотря на продолжающийся рост осмоляльности, секреция аргинин-вазотоцина достигла плато, что указывает на предельную активацию системы. Уровень пролактина также достоверно повышался, демонстрируя тесную положительную корреляцию как с осмоляльностью, так и с концентрацией аргинин-вазотоцина. В отличие от них, концентрация альдостерона значительно снижалась на фоне высокого потребления хлорида натрия и демонстрировала слабую отрицательную корреляцию с осмоляльностью и электролитами. Концентрация кортикостерона, гормона стресса, закономерно увеличивалась в ответ на дегидратацию. Таким образом, длительное обезвоживание и уровень пищевого хлорида натрия вызывают комплексные и скоординированные изменения в осморегуляции и гормональном статусе домашней птицы.

Литература

1. Биодобавки на основе модифицированного и обогащенного аминокислотами цеолита при выращивании молодняка индеек / С. В. Дежаткина, Н. А. Феоктистова, Е. В. Панкратова [и др.] // *Аграрная наука*. 2021. № 11-12. С. 20-23. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-20-23>. EDN EPBBDV.
2. Eldon J. Braun Osmoregulatory Systems of Birds // *Avian Physiology*. 2015. P. 285 -300. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407160-5.00012-9>.
3. Голосова Д. В., Шахматова Е. И., Наточин Ю. В. Отличия эффекта аргинин-вазотоцина и аргинин-вазопрессина на почку крыс в эволюции осморегуляции у позвоночных // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2019. Т. 55. № 1. С. 65-72. <https://doi.org/10.1134/S0044452919010054>. EDN DEDHFD.
4. Эффективность глюкозо-солевых растворов для коррекции метаболических нарушений у телят при неонатальном диарейном синдроме / И. И. Калюжный, М. С. Сеитов, А. А. Терентьев [и др.] // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2024. № 4(108). С. 223-229. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-108-4-223-229>. EDN JSEMGY.
5. Некоторые показатели крови и иммунный статус цыплят-бройлеров при использовании в рационе фитобиотических добавок / И. А. Сазонова, В. И. Пронина, А. С. Рыхлов [и др.] // *Аграрный научный журнал*. 2025. № 1. С. 80-86. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i1pp80-86>. EDN FPFLTI.
6. Физиологические механизмы адаптации продуктивной птицы к тепловому стрессу (обзор) / В. Н. Никулин, С. С. Еримбетов, Д. А. Аширов [и др.] // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2022. № 3. С. 27-45. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbol.2022.3.27-45>. EDN VTFVFWI.
7. Биохимические и молекулярно-генетические индикаторы антиоксидантной защиты и иммунитета у петушков (*Gallus gallus domesticus*) разных генотипов / Н. В. Боголюбова, Р. В. Некрасов, Д. А. Никанова [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. № 4. С. 669-684. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.669rus>. EDN KFERWG.
8. Сайфудинова Л. Н., Дерхо М. А. Оценка биологических связей кортикостерона и кортизола в организме кур при стресс-реакции // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2021. Т. 246. № 2. С. 187-193. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-246-2-187-193>. EDN RMJDMC.
9. Боголюбова Н. В., Некрасов Р. В., Зеленченкова А. А. Антиоксидантный статус и качество мяса у сельскохозяйственной птицы и животных при стрессе и его коррекция с помощью адаптогенов различной природы (Обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 4. С. 628-663. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.628rus>. EDN XAAKNC.
10. Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор) / Д. Е. Шошин, Н. Г. Ерофеев, Е. А. Сизова [и др.] // *Животноводство и кормопроизводство*. 2024. Т. 107. № 3. С. 138-162. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>. EDN IVEMAW.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Кучеров Алексей Алексеевич – аспирант кафедры «Морфология, патология животных и биология», e-mail: a.cucheroff@yandex.ru

Пудовкин Николай Александрович* – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Морфология, патология животных и биология», e-mail: niko-pudovkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0665-1130>

Смутнев Петр Владимирович – кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры «Микробиология и биотехнология», e-mail: smutnev-asd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8393-9336>

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

EFFECT OF DEHYDRATION AND SALT DIET ON DYNAMICS OF OSMOREGULATORY HORMONES OF DUCKS

A. A. Kuchеров, N. A. Pudovkin, P. V. Smutnev

Abstract. This article presents results of a study examining the effects of prolonged dehydration and dietary sodium chloride on blood arginine vasotocin, prolactin, aldosterone, and corticosterone levels in ducks. The study was conducted on birds from two groups: a control group (low-salt diet + water) and an experimental group (high-salt diet +0.5% sodium chloride solution). After nine days of adaptation to the diet, significant differences were found between the groups in plasma osmolality, sodium and chloride concentrations, which corresponded to the level of sodium chloride intake. Long-term dehydration caused a progressive increase in plasma osmolality, sodium and chloride concentrations in all groups, with these values being significantly higher in the experimental group. Potassium concentration remained relatively stable in the high-sodium group during the dehydration period. The study revealed a significant increase in arginine vasotocin levels, which demonstrated a direct relationship with sodium chloride intake and a strong positive correlation with plasma osmolality ($r=0.958-0.987$). However, with dehydration, arginine vasotocin secretion reached a plateau, despite the continued increase in osmolality. Prolactin levels increased significantly, demonstrating a close correlation with plasma osmolality ($r=0.911-0.995$) and arginine vasotocin concentrations ($r=0.932-0.957$). In contrast to these hormones, aldosterone concentrations significantly decreased with high sodium chloride intake and demonstrated a weak negative correlation with osmolality and electrolytes. Corticosterone concentrations consistently increased in response to dehydration. These data indicate complex changes in osmoregulation and hormonal status in ducks during prolonged dehydration and varying levels of sodium chloride intake.

Key words: osmoregulation, dehydration, arginine vasotocin, ducks, plasma osmolality, prolactin, aldosterone, corticosterone, electrolytes (sodium, chloride, potassium).

For citation: Kuchеров A.A., Pudovkin N.A., Smutnev P.V. Effect of dehydration and salt diet on dynamics of osmoregulatory hormones of ducks. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4).

References

1. Dezhatkina SV, Feoktistova NA, Pankratova EV. [Bioadditives based on modified and amino acid-enriched zeolite for growing young turkeys]. *Agrarnaya nauka*. 2021; 11-12. 20-23 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-20-23>. EDN EPBBDV.
2. Eldon J. Braun osmoregulatory systems of birds. *Avian Physiology*. 2015; 285-300 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407160-5.00012-9>.
3. Golosova DV, Shakhmatova EI, Natochin YuV. [Differences in the effect of arginine vasotocin and arginine vasopressin on the rat kidney in the evolution of osmoregulation in vertebrates]. *Zhurnal evolyutsionnoy biokhimii i fiziologii*. 2019; Vol.55. 1. 65-72 p. <https://doi.org/10.1134/S0044452919010054>. EDN DEDHFD.
4. Kalyuzhnyy II, Seitov MS, Terentev AA. [Efficiency of glucose-salt solutions for the correction of metabolic disorders in calves with neonatal diarrheal syndrome]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 4(108). 223-229 p. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-108-4-223-229>. EDN JSEMGY.
5. Sazonova IA, Pronina VI, Rykhlov AS. [Some blood parameters and immune status of broiler chickens when using phytobiotic additives in the diet]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2025; 1. 80-86 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i1pp80-86>. EDN FPFLTl.
6. Nikulin VN, Erimbetov SS, Ashirov DA. [Physiological mechanisms of adaptation of productive poultry to heat stress (review)]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*. 2022; 3. 27-45 p. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2022.3.27-45>. EDN VTVFWI.
7. Bogolyubova NV, Nekrasov RV, Nikanova DA. [Biochemical and molecular genetic indicators of antioxidant protection and immunity in cockerels (*Gallus gallus domesticus*) of different genotypes]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2023; Vol.58. 4. 669-684 p. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.4.669rus>. EDN KFERWG.
8. Sayfutdinova LN, Derkho MA. [Evaluation of biological relationships between corticosterone and cortisol in the body of chickens during stress response]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2021; Vol.246. 2. 187-193 p. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-246-2-187-193>. EDN RMJDMC.
9. Bogolyubova NV, Nekrasov RV, Zelenchenkova AA. [Antioxidant status and meat quality in agricultural poultry and animals under stress and its correction using adaptogens of various natures (Review)]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2022; Vol.57. 4. 628-663 p. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.4.628rus>. EDN XAAKNC.
10. Shoshin DE, Erofeev NG, Sizova EA. [Stress as a limiting factor in animal husbandry (review)]. *Zhivotnovodstvo i kormoproduktivnost*. 2024; Vol.107. 3. 138-162 p. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>. EDN IVEMAW.

Conflict of interest

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

Authors:

Kucherov Aleksey Alekseevich – post-graduate student, Department of Animal Morphology, Pathology and Biology, e-mail: a.cucheroff@yandex.ru
 Pudovkin Nikolay Aleksandrovich* – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Department of Animal Morphology, Pathology and Biology, e-mail: niko-pudovkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0665-1130>
 Smutnev Petr Vladimirovich – Ph.D. of Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Microbiology and Biotechnology Department, e-mail: smutnev-asd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8393-9336>
 Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia.

**ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ
МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА ГУСЕЙ****Я. В. Новик, Е. Е. Долгоруков**

Реферат. На базе ООО Научно-производственная фирма «Исследовательский центр», в р.п. Кольцово, НСО и лаборатории кафедры фармакологии и общей патологии факультета ветеринарной медицины Новосибирского ГАУ были проведены научно-практические исследования в области влияния препарата «Ветом-1» и «Ветом-2» на показатели минерального обмена гусей. Изучение биохимических показателей в сыворотке крови гусей проводилась с помощью биохимического анализатора открытого типа iMagic-V7 (версия для ветеринарии), производитель Shenzhen iCubio Biomedical Technology Co., Ltd. Гуси были разделены на 7 опытных групп и 1 контрольную (по 10 голов в каждой группе). Опытные группы принимали препараты с комбикормом в дозах – 50 и 75 мг/кг по разным схемам в течение 15, 30 или 90 суток. После применения препаратов у гусей всех опытных групп были взяты пробы крови на биохимическое исследование. При определении межгрупповых различий пользовались критерием Краскела-Уоллиса, в качестве альтернативного непараметрического аналога критерия Фишера, в рамках однофакторного дисперсионного анализа при сравнении 3-х и более независимых групп. В сыворотке крови определяли кальций, хлориды и сывороточное железо. Препараты не оказали выраженного влияния на уровень кальция (концентрация после применения осталась в пределах физиологической нормы). Уровень хлоридов после применения был снижен, так на 90-е сутки эксперимента в опытных группах № 2, 5, 7 уровень хлоридов снизился на 8,0-10,2% по сравнению с контрольной группой. Концентрация сывороточного железа в опытных группах № 1, 3, 5, 7 снизилась в сравнении с контрольной группой. Наибольший эффект применения препарата отмечался при длительном применении (90-е суток). Препараты в указанных дозах не обладали токсическим эффектом.

Ключевые слова: пробиотики, рацион, гуси, птицеводство, продуктивность.

Для цитирования: Новик Я.В., Долгоруков Е.Е. Влияние пробиотических препаратов на показатель минерального обмена гусей // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 65-70. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_65.

Введение. Согласно данным Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства (ВНИТИП) за последние 50 лет мировое производство мяса гусей возросло с 149,8 тыс. тонн до 2803,7 тыс. тонн, то есть в 18,7 раза. На сегодняшний день гусеводство в России развито слабо, но является перспективной областью, в которой можно активно развиваться [1].

Основными преимуществами разведения гусей считаются их приспособленность к суровым условиям окружающей среды, высокая устойчивость к болезням и неприхотливость в еде. Кроме того, молодняк гусей в течение первых двух месяцев жизни обладает высокой энергией роста, которая в первый месяц составляет 200, во второй — 96, в третий — 17 %. Важным качеством гусей является также то, что от них можно получать довольно большое количество продуктов - мясо, яйца, пух, печень. Эти качества делают данную птицу экономически выгодной для разведения [2].

Основным продуктом, получаемым от гусей в России, является их мясо. Считается, что мясо гусей выигрывает по энергетической ценности в сравнении с мясом других видов птиц [3].

Уже к 3 месяцам вес гусей составляет примерно 3–4 килограмма, поэтому получение от них мяса является достаточно выгодной отраслью. На данный момент в России гусеводство представлено подсобными хозяйствами и небольшими фермами, однако развитие этого вида промышленности может

вывести разведение гусей на более крупные масштабы.

В современном птицеводстве достаточно активно используются антибиотики и химиотерапевтические средства при выращивании птицы, однако данные группы препаратов вызывают нарушения микрофлоры кишечника и понижают иммунный статус животных. Отмечается, что гены, устойчивые к антибиотикам, могут передаваться от животных к человеку. В связи с данным неблагоприятным влиянием всё чаще учёные предлагают возможность замены антибиотиков иммуномодуляторами и пробиотиками, которые не наносят подобного вреда здоровью птицы и обладают положительным эффектом на организм [4].

Пробиотики - это пищевая добавка, увеличивающая популяцию микроорганизмов, необходимых в желудочно-кишечном тракте для правильной переработки пищи. Полезными свойствами пробиотических добавок считаются укрепление иммунной системы, и помощь животным в более эффективном переваривании пищи [5].

Пробиотики в сочетании с правильно сбалансированным кормом улучшают пищеварение, уничтожают болезнетворные бактерии и секретируют специальные ферменты, благодаря которым птица лучше усваивает питательные вещества, поступающие к ней в организм. Повышение ими иммунологической реактивности организма выражается в стимуляции лимфоидного аппарата, синтезе иммуноглобулинов, увеличении уровня комплемента,

активности лизоцима и снижение проницаемости сосудистых тканевых барьеров для токсических продуктов. При правильном использовании пробиотических добавок отмечают положительные результаты на организм птицы и на её суточный привес, что является важным показателем в мясном птицеводстве [6, 7].

Заселение желудочно-кишечного тракта молодняка птицы активной нормальной микрофлорой обеспечивает профилактику всевозможных кишечных инфекций, снижает возможность поступления токсических веществ, а также усиливает эффективность вакцинации.

Bacillus subtilis - бактерия, часто используемая в птицеводстве. Основным механизмом её действия является стимуляция роста ворсинок кишечника, которая позволяет увеличить поверхность всасывания и, соответственно, улучшить потребление питательных веществ [8].

Бактерии рода *Bacillus subtilis* широко распространены в природе, в больших количествах попадает в организм и хорошо приживается в желудочно-кишечном тракте.

Пробиотики серии «Ветом» считаются довольно перспективными при выращивании одомашненной птицы, в частности гусей [9].

Многочисленные доклинические и клинические исследования показали многообещающую эффективность препарата на основе данного рода бактерий – «Ветом-1» и «Ветом-2» в лечении диарей различной этиологии и профилактики при назначении животным, даже в ранний постнатальный период жизни. Однако о его влиянии на минеральный обмен известно крайне мало. Оценка минерального обмена чрезвычайно важна для характеристики состояния организма птицы. Отклонения от нормы любого показателя может свидетельствовать о нарушениях в работе организма животного.

Цель работы - изучение влияния пробиотического препарата «Ветом-1» и «Ветом-2» на минеральный обмен у гусей краснозерской породы.

Условия, материалы и методы. В исследовании изучались гуси краснозёрской породы возрастом от 14 до 120 дней. Исследованно влияние микробиальных препаратов «Ветом-1» (на основе *Bacillus subtilis*) и «Ветом-2» (на основе *Bacillus amyloliquefaciens*) на организм птиц. Работа проводилась в ООО «Исследовательский центр» в Кольцово и лаборатории Новосибирского ГАУ.

Для эксперимента сформировали 8 групп по 10 клинически здоровых гусей в каждой (7 опытных и 1 контрольная). Птицы содержались в соответствии с зоогигиеническими нормами и получали сбалансированный рацион.

Гуси опытных групп получали препараты в различных дозах:

- Группа 1: «Ветом-1» (50 мг/кг, 15 дней);
- Группа 2: «Ветом-1» (50 мг/кг, 30 дней);
- Группа 3: «Ветом-2» (50 мг/кг, 15 дней);
- Группа 4: «Ветом-2» (50 мг/кг, 30 дней);

Группа 5: «Ветом-2» (75 мг/кг, 15 дней);

Группа 6: «Ветом-2» (75 мг/кг, 30 дней);

Группа 7: «Ветом-2» (75 мг/кг, курсами по 5 дней с 5-дневными перерывами, 15 назначений)

По окончании исследования отмечен моделирующий эффект при применении «Ветом-1» и «Ветом-2», который проявлялся в снижении показателей, концентрация которых была изначально повышена. Если показатели варьировали в пределах нормальных физиологических границ, пробиотические препараты не оказывали влияния на их концентрацию. Микробиальный препарат «Ветом-1» представляет собой белый мелкодисперсный порошок без запаха, растворяющийся в воде с образованием осадка белого цвета. В 1 г содержит бакмассу живых спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* штамма DSM 32424 (не менее 1×10^6 КОЕ, а также вспомогательные вещества (сахарная пудра, крахмал). Микробиальный препарат «Ветом-2» также представляет собой белый мелкодисперсный порошок без запаха, растворяющийся в воде с образованием осадка белого цвета. В 1 г содержит бакмассу живых спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* штамма ВКПМ В-10642 (DSM 24614) и штамма *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643 (DSM 24615) в количестве не менее 1×10^6 КОЕ, а также вспомогательные вещества (сахарная пудра, крахмал кукурузный и картофельный).

Изучение биохимических показателей в сыворотке крови гусей проводилась с помощью биохимического анализатора открытого типа iMagic-V7 (версия для ветеринарии), производитель Shenzhen iCubio Biomedical Technology Co., Ltd, (Китайская народная республика). В сыворотке крови по унифицированным методикам были определены биохимические показатели минерального обмена – сывороточное железо, кальций, хлориды. При определении межгрупповых различий пользовались критерием Краскела-Уоллиса, в качестве альтернативного непараметрического аналога критерия Фишера, в рамках однофакторного дисперсионного анализа при сравнении 3-х и более независимых групп. После применения теста Краскела-Уоллиса использовали post-hoc теста Данна с поправкой Холма для парного сравнения совокупностей. Статистическая обработка исходных данных проводилась с помощью языка статистического программирования R.

Результаты и обсуждение. В таблице 1 представлены данные об изменении концентрации кальция в сыворотке крови у птицы до и после включения в рацион птиц препаратов «Ветом-1» и «Ветом-2». Установлено, что концентрация кальция у всех исследуемых птиц находилась в границах физиологической нормы (2,00-4,50 ммоль/л).

ВЕТЕРИНАРИЯ

Таблица 1 – Уровень кальция в сыворотке крови гусей краснозерской породы, ммоль/л

Группа	Me	Min	Max	Q1	Q3	IQR	Отношение крайних вариант
до опыта:	3,08	3,04	3,45	3,04	3,30	0,260	1,13
1: 30-е сутки	2,93	2,73	3,37	2,76	3,30	0,533	1,23
1: 60-е сутки	3,47	3,13	4,12	3,19	4,01	0,825	1,32
1: 90-е сутки	3,13	2,89	4,21	2,96	3,79	0,837	1,46
2: 30-е сутки	3,17	3,11	3,31	3,12	3,29	0,167	1,06
2: 60-е сутки	3,14	2,85	3,33	2,90	3,30	0,400	1,17
2: 90-е сутки	3,32	2,95	3,64	3,05	3,56	0,511	1,23
3: 30-е сутки	3,38	3,10	3,46	3,15	3,45	0,300	1,12
3: 60-е сутки	3,24	2,98	3,67	3,02	3,60	0,575	1,23
3: 90-е сутки	3,09	2,75	3,15	2,88	3,15	0,271	1,15
4: 30-е сутки	3,22	3,02	3,76	3,05	3,67	0,617	1,25
4: 60-е сутки	3,12	2,78	3,64	2,84	3,55	0,717	1,31
4: 90-е сутки	3,12	2,70	3,45	2,87	3,31	0,442	1,28
5: 30-е сутки	3,38	3,25	3,40	3,27	3,40	0,125	1,05
5: 60-е сутки	3,68	2,83	3,18	2,97	2,65	0,620	1,12
5: 90-е сутки	3,10	2,90	3,25	2,98	3,20	0,221	1,12
6: 30-е сутки	3,17	2,95	3,29	2,99	3,27	0,283	1,12
6: 60-е сутки	3,39	3,25	3,77	3,27	3,71	0,433	1,16
6: 90-е сутки	3,18	3,10	3,21	3,13	3,20	0,073	1,04
7: 30-е сутки	3,59	3,31	3,71	3,36	3,69	0,333	1,12
7: 60-е сутки	3,35	2,99	3,86	3,05	3,78	0,725	1,29
7: 90-е сутки	3,21	3,07	3,45	3,12	3,36	0,247	1,12
к: 30-е сутки	3,15	3,00	3,20	3,02	3,19	0,167	1,07
к: 60-е сутки	3,39	2,79	3,49	2,89	3,47	0,583	1,25
к: 90-е сутки	3,29	3,03	3,51	3,13	3,42	0,293	1,16

При этом существенного влияния пробиотических препаратов «Ветом-1» и «Ветом-2» на гомеостаз данного макроэлемента не обнаружено. Это может свидетельствовать о том, что изучаемые пробиотики не нарушают естественные механизмы регуляции кальциевого обмена в организме птицы. В доступной нам литературе, практически не встречалось

указаний на референсные границы уровня хлоридов. Y. Chen et al., (2021) представляют данные по 70-дневным гусям Цзяннаньской белой породы, уровень хлоридов в сыворотке крови у них равнялся от 97,07 до 99,27 ммоль/л [10]. Нами получены сходные, но всё же более высокие концентрации хлоридов в сыворотке крови гусей (табл. 2).

Таблица 2 - Парные сравнения хлоридов в сыворотке крови гусей между исследуемыми группами на 90-е сутки эксперимента

Сравниваемые группы	Z	p
1	2	3
1 - 2	1,187527	0,1175
1 - 3	-0,207346	0,4179
2 - 3	-1,394873	0,0815
1 - 4	-0,471241	0,3187
2 - 4	-1,658768	0,0486
3 - 4	-0,263894	0,3959
1 - 5	2,054610	0,0200
2 - 5	0,867083	0,1929
3 - 5	2,261957	0,0119
4 - 5	2,525852	0,0058
1 - 6	0,131947	0,4475
2 - 6	-1,055579	0,1456
3 - 6	0,339293	0,3672
4 - 6	0,603188	0,2732
5 - 6	-1,922663	0,0273
1 - 7	0,904782	0,1828
2 - 7	-0,282744	0,3887
3 - 7	1,112128	0,1330
4 - 7	1,376023	0,0844
5 - 7	-1,149828	0,1251
6 - 7	0,772835	0,2198

1	2	3
1 - к	-1,338324	0,0904
2 - к	-2,525852	0,0058
3 - к	-1,130978	0,1290
4 - к	-0,867083	0,1929
5 - к	-3,392935	0,0003
6 - к	-1,470272	0,0700
7 - к	-2,243107	0,0120

Также было исследовано сывороточное железо в крови гусей. Исследование метаболизма железа у гусей выявило интересную закономерность: в 1-й, 3-й и 5-й группах уровень сывороточного железа был значительно ниже, чем в 6-й группе, которая в свою очередь уступала 7-й группе по данному показателю. Контрольная группа продемонстрировала более высокие концентрации

железа по сравнению с 1-й, 5-й и 7-й опытными группами, что может отражать более интенсивное вовлечение этого микроэлемента в метаболические процессы у птиц, получавших пробиотики.

Уровень сывороточного железа в крови исследованных гусей краснозерской породы представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Попарные сравнения содержания сывороточного железа у гусей между исследуемыми группами на 90-е сутки эксперимента

Сравниваемые группы	Z	p
1 - 2	-1,055579	0,1456
1 - 3	-0,339293	0,3672
2 - 3	0,716286	0,236)
1 - 4	-1,262926	0,1033
2 - 4	-0,207346	0,4179
3 - 4	-0,923632	0,1778
1 - 5	0,339293	0,3672
2 - 5	1,394873	0,0815
3 - 5	0,678587	0,2487
4 - 5	1,602219	0,0546
1 - 6	-2,469303	0,0068
2 - 6	-1,413723	0,0787
3 - 6	-2,130009	0,0166
4 - 6	-1,206377	0,1138
5 - 6	-2,808596	0,0025
1 - 7	0,018849	0,4925
2 - 7	1,074429	0,1413
3 - 7	0,358143	0,3601
4 - 7	1,281775	0,1000
5 - 7	-0,320443	0,3743
6 - 7	2,488152	0,0064
1 - к	-2,016911	0,0219
2 - к	-0,961331	0,1682
3 - к	-1,677618	0,0467
4 - к	-0,753985	0,2254
5 - к	-2,356205	0,0092
6 - к	0,452391	0,3255
7 - к	-2,035761	0,0209

Выводы. Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что препараты «Ветом-1» и «Ветом-2» оказывают избирательное воздействие на различные аспекты минерального обмена у гусей краснозерской породы. Отмечено отсутствие влияния на показатели, находящиеся в пределах нормы (кальций), но выявлен нормализующий эффект в отношении повышенных уровней хлоридов. Снижение

концентрации сывороточного железа в опытных группах, вероятно, отражает его более активное использование в метаболических процессах под влиянием пробиотиков. Особенно важно подчеркнуть, что эффекты изучаемых препаратов носят кумулятивный и пролонгированный характер, достигая максимума к 90-м суткам эксперимента.

Литература

1. Гусеводство в России сегодня и в перспективе / Ч. Р. Юсупова, Р. Р. Гадиев, А. Р. Фаррахов, Д. Д. Хазиев // БИО. 2020. № 12(243). С. 20-27. EDN FPJIYB.
2. Желтова О. Д., Малкина Л. А., Чупшева Н. Ю. Гусеводство как особый вид птицеводства // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 20–21 октября 2021 года. Том II. Пенза: Пензенский ГАУ. 2021. С. 181-183. EDN GPXODG.
3. Мурленков Н. В. Перспективы выращивания водоплавающей птицы в России // Биология в сельском хозяйстве. 2020. № 2(27). С. 23-26. EDN BHNELJ.
4. Halder N., Sunder J., De A. K. Probiotics in poultry: a comprehensive review // The Journal of Basic and Applied Zoology. 2024. Vol. 85. № 1. P. 23. <https://doi.org/10.1186/s41936-024-00379-5>.
5. Влияние микробиальных препаратов Ветом 1 и Ветом 20.76 на интенсивность роста гусей / Н. С. Яковлева, Г. А. Ноздрин, В. Стойковски, М. С. Яковлева, Е. Н. Барсукова, Я. В. Новик // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 2. С. 73-79. EDN: DORRME
6. Aliyi M. B., Bedruddin M. Review on application of probiotics in poultry farm // Int. J. Probiotics and Dietetics. 2023. Т. 3. С. 58-65. <https://doi.org/10.33140/IJPD.03.02.03>.
7. Хабиров А. Ф., Авзалов Р. Х., Цапалова Г. Р. Сравнительная эффективность использования различных пробиотиков в кормлении гусят-бройлеров // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 3. С. 44-49. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_3_44.
8. Krysiak K., Konkol D., Korczyński M. Overview of the use of probiotics in poultry production // Animals. 2021. Vol. 11. № 6. С. 1620. <https://doi.org/10.3390/ani11061620>.
9. Abd El-Hack M. E. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review // Journal of animal physiology and animal nutrition. 2020. Vol. 104. № 6. С. 1835-1850. <https://doi.org/10.1111/jpn.13454>.
10. The effect of different dietary levels of sodium and chloride on performance, blood parameters and excreta quality in goslings at 29 to 70 days of age / Y. Chen, Z. Wang, Z. Yang [et al.] // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2021. 106(1). P. 98-109. <https://doi.org/10.1111/jpn.1354110>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Новик Яна Викторовна* - кандидат ветеринарных наук, директор института ветеринарной медицины и биотехнологии, e-mail: yana_demeshonok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7366-0988>

Долгоруков Елизавета Евгеньевна - студент, e-mail: elishapae@mail.ru

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

EFFECT OF PROBIOTIC PREPARATIONS ON MINERAL METABOLISM INDICATORS OF GEESE

Ya. V. Novik, E. E. Dolgoruk

Abstract. Scientific and practical research on the effect of Vetom-1 and Vetom-2 drugs on mineral metabolism indicators of geese were conducted at Research and Production Firm "Research Center" LLC in Koltsovo of Novosibirsk region and at the laboratory of Pharmacology and General Pathology Department of Veterinary Medicine Faculty of Novosibirsk State Agricultural University. Biochemical parameters in the geese's blood serum were measured using an open-type iMagic-V7 biochemical analyzer (veterinary version), manufactured by Shenzhen iCubio Biomedical Technology Co., Ltd. Geese were divided into seven experimental groups and one control group (10 birds per group). The experimental groups received medications with compound feed at doses of 50 and 75 mg/kg according to different schedules for 15, 30, or 90 days. After application, blood samples were taken from geese in all experimental groups for biochemical analysis. To determine intergroup differences, Kruskal-Wallis test was used as an alternative nonparametric analogue of Fisher exact test, within the framework of a one-way analysis of variance when comparing three or more independent groups. Calcium, chlorides and serum iron were determined in blood serum. The medications did not significantly affect calcium levels (the concentration after administration remained within the physiological norm). Chloride levels were reduced after administration; on the 90th day of the experiment, chloride levels in experimental groups No. 2, 5, and 7 decreased by 8-10.2% compared to the control group. Serum iron concentrations in experimental groups 1, 3, 5, and 7 decreased compared to the control group. The greatest effect of the drug was observed with long-term use (90 days). The drugs at the indicated doses did not have a toxic effect.

Key words: probiotics, diet, geese, poultry farming, productivity.

For citation: Novik Ya.V., Dolgoruk E.E. Effect of probiotic preparations on mineral metabolism indicators of geese. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 65-70 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_65.

References

1. Yusupova ChR, Gadiev RR, Farrakhov AR, Khaziev DD. [Goose farming in Russia today and in the future]. BIO. 2020; 12(243). 20-27 p. EDN FPJIYB.
2. Zheltova OD, Malkina LA, Chupsheva NYu. [Goose farming as a special type of poultry farming. The contribution of young scientists to the innovative development of agro-industrial complex of Russia]. Sbornik materialov Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, Penza. 20-21 oktyabrya 2021 goda. Vol.II. Penza: Penzenskiy GAU. 2021; 181-183 p. EDN GPXODG.
3. Murlenkov NV. [Prospects for growing waterfowl in Russia]. Biologiya v selskom khozyaystve. 2020; 2(27). 23-26 p. EDN BHNELJ.
4. Halder N, Sunder J, De AK. Probiotics in poultry: a comprehensive review. The Journal of Basic and Applied Zoology. 2024; Vol.85. 1. 23 p. <https://doi.org/10.1186/s41936-024-00379-5>.
5. Yakovleva NS, Nozdrin GA, Stoykovski V, Yakovleva MS, Barsukova EN, Novik YaV. [The influence of microbial preparations Vetom 1 and Vetom 20.76 on the growth rate of geese]. Sibirskiy vestnik

selskokhozyaystvennoy nauki. 2021; Vol.51. 2. 73-79 p. EDN: DORRME.

6. Aliyi MB, Bedruddin M. Review on application of probiotics in poultry farm. *Int. J. Probiotics and Dietetics*. 2023; Vol. 3. 58-65 p. <https://doi.org/10.33140/IJPD.03.02.03>.

7. Khabirov AF, Avzalov RK, Tsapalova GR. [Comparative efficiency of using various probiotics in feeding broiler goslings]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 3. 44-49 p. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_3_44.

8. Krysiak K, Konkol D, Korczynski M. Overview of the use of probiotics in poultry production. *Animals*. 2021; Vol. 11. 6. 1620 p. <https://doi.org/10.3390/ani11061620>.

9. Abd El-Hack ME. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2020; Vol. 104. 6. 1835-1850 p. <https://doi.org/10.1111/jpn.13454>.

10. Chen Y, Wang Z, Yang Z. The effect of different dietary levels of sodium and chloride on performance, blood parameters and excreta quality in goslings at 29 to 70 days of age. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2021; 106(1). 98-109 p. <https://doi.org/10.1111/jpn.1354110>.

Conflict of interest

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

Authors:

Novik Yana Viktorovna* - Ph.D. of Veterinary Sciences, Director of Veterinary Medicine and Biotechnology Institute, e-mail: yana_demeshonok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7366-0988>

Dolgoruk Elizaveta Evgenevna - student, e-mail: elishapae@mail.ru

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia.

ОТБОР ВЫСОКОИММУНОГЕННЫХ ШТАММОВ РОТАВИРУСА СВИНЕЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТКАНЕЙ ПОРАЖЕННЫХ ЖИВОТНЫХ**Э. М. Плотникова, К. Т. Ишмухаметов, М. М. Шакуров, И. Р. Мухаметшин, Т. Р. Гайнутдинов**

Реферат. Цель исследований – отобрать высокоиммуногенные штаммы ротавируса свиней. В качестве вирусосодержащего материала использованы образцы патоматериала от павших поросят до 10-дневного возраста из неблагополучных по ротавирусной болезни свиней хозяйств Республики Башкортостан и Татарстан. Для выделения возбудителя использовали перевиваемые линии культур клеток РК-15 и SPEV. С этой целью осуществляли слепые пассажи суспензий патологического материала и вышеуказанных культур клеток. За период исследований было проведено 7 пассажей. С целью изучения биологических свойств, полученных изолятов, приведены исследования по оценке одного из важнейших биологических свойств вируса-цитопатического действия на поражаемые им животные клетки. Для этого в качестве биологической модели использовали культуры клеток (РК-15 и SPEV). Установлено, что в 6 из 32 отобранных образцов из тканей легких, селезенки и кишечника регистрировалось цитопатическое действие, которое было более выражено через 48-96 часов в 3 пассаже в виде округления и деструкции клеток, вакуолизации и грануляции цитоплазмы. После 7 пассажа клетки РК-15 и SPEV теряли способность удерживаться на стекле и в поддерживающей среде находились во взвешенном состоянии. Цитопатическое действие было более выражено при выделении вируса из тканей кишечника. Вирусная суспензия была заморожена при температуре – 60°C. Наличие рибонуклеиновой кислоты ротавируса подтверждено в полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией в реальном времени и иммуноферментном анализе.

Ключевые слова: ротавирусная болезнь свиней, эпизоотические изоляты, адаптация к культурам клеток, цитопатическое действие, инфекционная активность, полимеразная цепная реакция, иммуноферментный анализ.

Для цитирования: Плотникова Э.М., Ишмухаметов К.Т., Шакуров М.М., Мухаметшин И.Р., Гайнутдинов Т.Р. Отбор высокоиммуногенных штаммов ротавируса свиней, выделенных из тканей пораженных животных // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 71-76. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_71.

Введение. Ротавирусная болезнь свиней – остропротекающее контагиозное заболевание, характеризующееся симптомами острого гастроэнтерита, диареи и дегидратации организма. Наиболее уязвимыми к болезни являются поросята первых дней жизни, тогда как у взрослых животных инфекция протекает бессимптомно [1, 2, 3].

Исследования показывают, что у свиней циркулируют различные генотипы ротавирусов, из которых типы А, В и С встречаются чаще всего.

Ротавирусы содержат сегментированный геном, состоящий из двухцепочечной РНК, что способствует частой генетической рекомбинации при коинфекции разными генотипами. Этот процесс приводит к появлению новых вариантов вируса с измененными антигенными свойствами, что снижает эффективность существующих вакцин и диагностических тестов [4, 5].

Ротавирусный энтерит поросят – серьезная и постоянная проблема свиноводческих комплексов во всем мире, одна из причин существенных экономических потерь [6, 7, 8].

Наибольшую опасность среди инфекционных болезней представляет ротавирусная инфекция и ее ассоциации с рядом других инфекций, протекающих нередко латентно, невыявляемых своевременно, а потому бесконтрольно распространяющихся [9, 10, 11].

Наибольшее распространение получили модели мышей и свиней. Стоит отметить, что

многие животные после первого инфицирования и переболевания становятся устойчивыми к повторному заражению [12, 13, 14].

Иммунная защита после перенесенной естественной РВ инфекции зависит от реинфекции, свойств вируса, иммунного статуса хозяина, а также продолжительности вирусного контакта [15, 16, 17].

Выделяемые гетеротипические антитела, способные нейтрализовать ротавирусы других типов, свидетельствуют о наличии антигенов с перекрестно-реактивными вируснейтрализующими эпитопами [18, 19, 20].

Цель исследований – отобрать высокоиммуногенные штаммы ротавируса свиней.

Условия, материалы и методы. Работа проведена в научно-испытательном центре (НИЦ) и отделении радиобиологии ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Для получения вирусной суспензии использован патологический материал от павших поросят из хозяйств неблагополучных по ротавирусной болезни свиней – ООО «Башкирская мясная компания» и ООО «Камский-Бекон». От 15 павших попросят отобрано 32 образца из тканей легких, селезенки, поджелудочной железы, желудка, тонкого отдела кишечника с содержимым и др. Для выделения возбудителя использованы перевиваемые линии культур клеток РК-15 и SPEV. Для подтверждения антигенов ротавируса свиней выделенные эпизоотические изоляты исследованы методом ОТ-ПЦР и ИФА-анализа.

Проводили вирусологические исследования патологического материала от павших поросят с целью выделения возбудителя болезни. С этой целью осуществляли слепые пассажы суспензий патологического материала на перевиваемой культуре клеток почки эмбриона свиней (линия SPEV и PK-15), выращенной в среде MEM, содержащей 100 ед./см³ пенициллина и 100 мкг/см³ стрептомицина. Перед внесением суспензии монослой культуры клеток промывали 1 раз средой MEM. Адсорбцию суспензии проводили при температуре +37°C, затем вносили среду MEM, содержащую 0,5 мкг/см³ трипсина и антибиотики. Пенициллиновые флаконы инкубировали в термостате и каждые 2 сут. сравнивали с незараженной культурой клеток для выявления ЦПД ротавируса. После пассажа обрабатывали трипсином и вновь пассировали на свежем монослое клеток SPEV и PK-15.

Оценку результатов роста перевиваемых линий культур клеток, зараженных изолятами ротавируса, проводили каждые 2 дня под световым микроскопом «Jenova» с насадкой «С-45 k OPLENIG» при увеличении $\times 10$.

Промытый осадок культуры фиксировали по классической методике подготовки материала для электронной микроскопии: в эппендорфах с 1 %-ным раствором глутарового альдегида на 0,1 М фосфатном буфере (pH 7,2).

После фиксации материал двукратно

проводили через раствор 0,1 М фосфатного буфера для тщательного удаления глутарового альдегида. Далее проводили постфиксацию 1%-ным раствором тетраоксида осмия (OsO₄) также на фосфатном буфере. Дегидратация была выполнена в спиртах восходящей концентрации (этиловый спирт – 30, 50, 70, 80, 96% – дважды, абсолютные спирты – дважды, ацетон – дважды).

Результаты и обсуждение. После заражения суспензиями патологического материала животных клеток SPEV и PK-15 в 1-2% случаев удалось добиться цитопатического эффекта, характерного для ротавируса. Он проявлялся округлением и деструкцией клеток, вакуолизацией и грануляцией цитоплазмы. После трех последовательных пассажей цитопатическое действие было более выражено. Лучшую картину заражения показали клетки эпизоотических изолятов, выделенных из тканей легких, селезенки и кишечника больных поросят. Наиболее высокие разрушения клеток регистрировались в культурах, зараженных материалом из тканей кишечника в SPEV. Всего исследована 91 проба, в 16 из которых выявлено цитопатическое действие вируса, 8 проб оказались сомнительными, поэтому после инаktivации были утилизированы.

Культуры клеток, зараженные суспензиями изолятов представлены на рисунках 1-4.

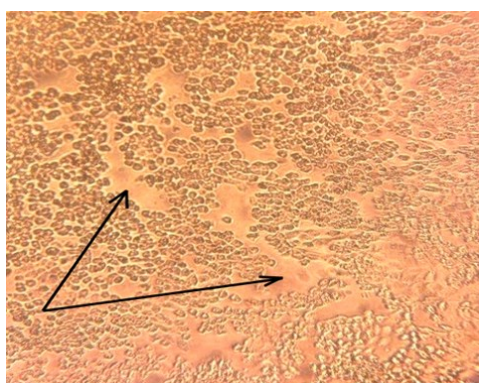


Рисунок 1 – Культура клеток SPEV, третьего пассажа через 72 часа после заражения суспензией из тканей легких, ЦПД 2 креста



Рисунок 2 – Культура клеток PK-15, третьего пассажа через 72 часа после заражения суспензией из тканей кишечника, ЦПД 3 креста



Рисунок 3 – Культура клеток PK-15, седьмого пассажа через 96 часов после заражения суспензией из тканей легких, ЦПД 3 креста



Рисунок 4 – Культура клеток SPEV, седьмого пассажа через 96 часов после заражения суспензией из тканей легких, ЦПД 3 креста

На рисунках 5 и 6 представлены культуры

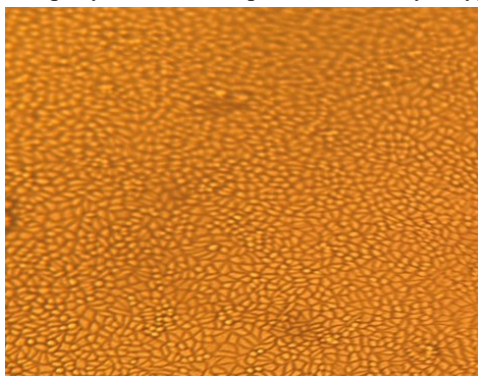


Рисунок 5 - Контроль SPEV

После 7 пассажа титр вируса, выращенного в клетках SPEV, составлял $2,0 \lg \text{ТЦД}_{50}/\text{мл}$, в клетках РК-15 – $3,0 \lg \text{ТЦД}_{50}/\text{мл}$. Разрушенные клетки имели зернистую структуру, при незначительном встряхивании легко отделялись от поверхности стекла и в поддерживающей среде находились во взвешенном состоянии. Разрушение клеток монослоя регистрировалось по всей поверхности инкубационных флаконов.

Для идентификации ротавируса, 13 образцов с высоким титром антигенов, были

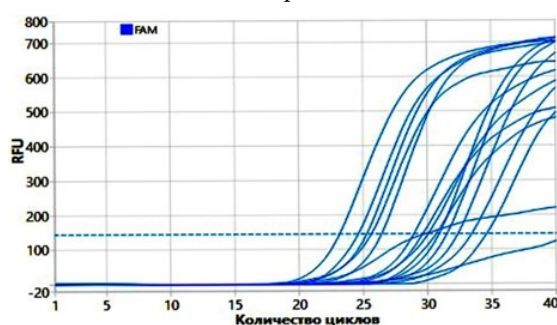


Рисунок 7 – Кривая накопления флуоресцентного сигнала по каналу FAM

клеток без заражения.



Рисунок 6 - Контроль РК-15

исследованы в полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией. С этой целью были изготовлены олигонуклеотидные праймеры для амплификации генов ротавируса группы А: VP6 (Gene Bank ID OQ799805); VP4 (Gene Bank ID PV421650), VP7 (Gene Bank ID OQ743751), NSP2; группы В (Gene Bank ID KU562913) и группы С для VP6 (Gene Bank ID PRVVP6).

Полученные результаты ПЦР-анализа представлены на рисунках 7 и 8 и в таблице 1.

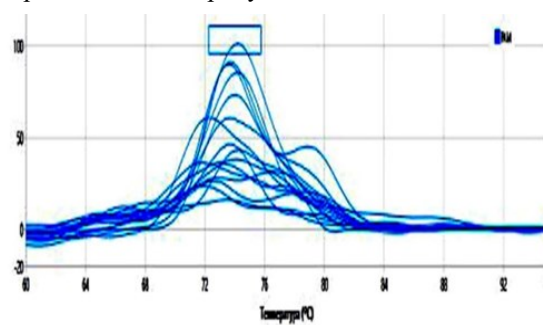


Рисунок 8 – Кривая плавления ПЦР-продукта

Таблица 1 - Результаты ОТ-ПЦР по обнаружению генома ротавируса свиней

Образцы	Расположение на планшете	Канал флуоресценции	Пороговый цикл (C_t)
ОКО	F11	FAM	N/A
14	E11	FAM	15,02
26	C11	FAM	16,35
27	D11	FAM	17,51
19	A11	FAM	22,64
23	B11	FAM	23,32
9	D02	FAM	26,99
8	C02	FAM	27,05
10	E02	FAM	27,97
15	H02	FAM	28,64
11	F02	FAM	30,94
6	A02	FAM	33,33
7	B02	FAM	35,52
12	G02	FAM	36,31
К	G11	FAM	—
К	H11	FAM	1

Из результатов таблицы 1 следует, что во всех исследуемых образцах в клетках перевиваемых линий РК-15 и SPEV обнаружена вирусная рибонуклеиновая кислота. Максимальный титр зарегистрирован в клетках РК-15, в образце из ткани кишечника, от поросенка из ООО «Камский Бекон», сигнал детектора по этому образцу зарегистрирован в 15 пороговом цикле (Ct) – 3×10^4 -кратное (К) удвоение фрагмента РНК.

Провели иммуноферментный анализ антигенов в ИФА-тесте с использованием набора для выявления антигенов вируса трансмиссивного гастроэнтерита (ТГС) и ротавируса свиней (РВС) методом иммуноферментного

анализа (ИФА) от ООО «Ветбиохим» (г. Москва).

Учет результатов проводили на микропланшетном ридере «Thermo Scientific» при длине волны 450 нм.

Установлено, что наиболее иммуногенными являлись образцы из селезенки, кишечника и легких.

Выводы. Проведенные методами ОТ-ПЦР и ИФА исследования подтвердили вирусоносительство ротавируса у свиней в Республиках Татарстан и Башкортостан. Вирусные изоляты, адаптированные к перевиваемым клеткам линий РК-15 и SPEV, использованы в разработке ротавирусной моновакцины.

Литература

1. Экспресс-тесты для диагностики кишечных заболеваний поросят // Свиноводство. 2022. № 8. С. 29-32. EDN: QWBGDW.
2. Ротавирусы свиней / Б. Г. Орлянкин, А. Г. Южаков, Н. Ю. Красников, Т. И. Алипер // Ветеринария. 2023. № 7. С. 3-10. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.7.03-09>.
3. Методическое пособие по проведению морфологических исследований на тканевом и ультраструктурном уровне / Г. С. Кашеваров, В. Р. Саитов, К. В. Юсупова [и др.]. СПб: Научное издание, 2024. 66 с. EDN: LIPWON.
4. Методические рекомендации по изучению культуральных, антителных, генетических свойств и инфекционной активности производственных эпизоотических штаммов ротавируса свиней / П. А. Красочко, А. С. Ястребов, Д. С. Борисов [и др.]. Минск, 2016. 32 с.
5. Культивирование вируса репродуктивности респираторного синдрома свиней на перевиваемых линиях культуры клеток MARC-145 и MA-104 / М. И. Круглова, Е. А. Бабина, О. А. Богомолова [и др.] // Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов для АПК. М.: Щелково, 2019. С. 77-82. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.7.03-09>.
6. Pathogens detected in 205 german farms with porcine neonatal diarrhea in 2017 / N. Mertens, T. Theuß, M. Köchling, K. Dohmann, K. Lillie-Jaschniski // Veterinary Sciences. 2022. Vol. 9. № 2. p. 44. EDN: UMKYGN
7. Исследование безопасности и иммуногенности вакцины на основе vlp для профилактики ротавирусной инфекции на модели новорожденных карликовых свиней / Л. В. Костина, И. Е. Филатов, О. В. Елисеева [и др.] // Вопросы вирусологии. 2023. Т. 68. № 5. С. 415-427. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-194>.
8. Иванюк В. П., Бобкова Г. Н. Ротавирусная инфекция телят // Вестник Брянской ГСХА. 2022. № 4 (92). С. 33-39. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-92-4-33-39>.
9. Орлянкин Б. Г., Непоклонов Е. А., Алексеев К. П. Ротавирусная болезнь свиней // Актуальные инфекционные болезни свиней / под ред. Т. И. Алипера. М.: Зооветкнига, 2019. С. 260-262. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.7.03-09>.
10. Швеиц О. М., Бычкова Е. А. Анализ результатов мониторинговых исследований на инфекционные заболевания свиней // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 143-147. EDN: QPNJRG.
11. Анализ генов ферментов метаболических путей в кишечнике новорожденных поросят при диарее / М. В. Грязнова, Ю. Д. Смирнова, И. Ю. Буракова [и др.] // Ветеринарный фармакологический вестник. 2023. № 4 (25). С. 163-174. <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2023.4.163>.
12. Virus-reproducing ability of growth media containing immunogenesis mediators / E. M. Plotnikova, I. A. Arkharova, R. N. Nizamov [et. al] // Systematic Reviews in Pharmacy. 2020. 11(11). p. 281-284. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.11.41>.
13. Effect of ionizing radiation on cellular metabolism and virus-producing ability of cell cultures / E. M. Plotnikova, A. I. Nikitin, R. N. Nizamov [et.al] // Bali Medical Journal. 2017. Vol. 6. № 2. p. 294-297. <https://doi.org/10.15562/bmj.v6i2.526>.
14. Радиорезистентная линия культур клеток MDBK для репродукции вирусов / Э. М. Плотникова, Х. Н. Макаев, Р. Н. Низамов [и др.] // В сборнике «Актуальные проблемы ветеринарной медицины». Материалы научно-практ. конф., посвящен. 90-летию со дня рождения проф. В. А. Киршина. Казань: ФЦТРБ, 2018. С. 247-252. EDN: YVYVBP
15. Ситуационный анализ по приоритетным для промышленного свиноводства болезням свиней: пути улучшения биозащиты предприятий в Российской Федерации / А. С. Оганесян, М. А. Шибаев, О. Н. Петрова [и др.] // Ветеринария сегодня. 2024. 13 (4). С. 396-404. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-4-396-404>.
16. Isolation and Pathogenicity Analysis of a G5P Porcine Rotavirus Strain / L. Gao, H. Shen, S. Zhao [et.al] Viruses. 2023. Vol. 16. № 1. p. 21. <https://doi.org/10.3390/v16010021>.
17. Isolation and possibility of vertical transmission of G9P[23] and G12P[7] group a rotavirus strains in pigs / Y.A. LI, CH. GAO, L. WU [et. al] // Porcine Health Manag. 2025. Vol. 11. № 1. p. 32. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00445-6>.
18. Full genome-based characterization of an asian G3P[6] human rotavirus strain found in a diarrheic child in japan: evidence for porcine-to-human zoonotic transmission / YU. Akari, R. Hatazawa, H. Kuroki [et. al] // Infection, Genetics and Evolution 2023. Vol. 115. 105507. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2023.105507>.
19. Triplex crystal digital PCR for the detection and differentiation of the wild-type strain and the MGF505-2R and I177L gene-deleted strain of african swine fever virus / K. Shi, K. Zhao, H. Wei [et. al] // Pathogens. 2023. Vol.

12. № 9. p. 1092. <https://doi.org/10.3390/pathogens12091092>

20. Full genome characterization of a human-porcine reassortment G12P[7] rotavirus and its pathogenicity in piglets / Q. Miao, YU. Pan, L. Gong [et. al] // *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022. Vol. 69. № 6. p. 3506-3517. <https://doi.org/10.1111/tbed.14712>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы осуществлялось в рамках НИР. Номер госрегистрации 1024052900034-8.

Сведения об авторах:

Плотникова Эдие Минахетдиновна* - доктор ветеринарных наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории противорадиационной защиты животных, e-mail: adiya2397031@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6306-4859>

Мухаметшин Ильшат Ришатович - кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории радиационного контроля и радиоэкологии, e-mail: muhamet_il@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9102-922X>

Шакуров Муланур Махсutowич - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: mulanurshakurov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2563-5948>

Ишмухаметов Камилль Талгатович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля и радиоэкологии, e-mail: kamil-ishmuhametov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8398-1155>

Гайнутдинов Тимур Рафкатович - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией противорадиационной защиты животных, e-mail: gtr_timur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3832-883X>

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия

SELECTION OF HIGHLY IMMUNOGENIC PORCINE ROTAVIRUS STRAINS ISOLATED FROM TISSUES OF AFFECTED ANIMALS

E. M. Plotnikova, K. T. Ishmukhametov, M. M. Shakurov, I. R. Mukhametshin, T. R. Gaynutdinov

Abstract. The aim of the study was to select highly immunogenic porcine rotavirus strains. Virus-containing samples were collected from dead piglets up to 10 days old from farms affected by rotavirus disease in the Republic of Bashkortostan and Tatarstan. PK-15 and SPEV cell culture lines were used to isolate the pathogen. Blind passages of suspensions of pathological material and aforementioned cell cultures were performed. Seven passages were performed during the study period. To study the biological properties of the isolated cells, studies were conducted to evaluate one of the virus's most important biological properties: its cytopathic effect on the animal cells it infects. Cell cultures (PK-15 and SPEV) were used as a biological model. It was found that 6 of 32 samples collected from lung, spleen and intestinal tissue exhibited a cytopathic effect, which was more pronounced after 48-96 hours in passage 3, manifested by cell rounding and destruction, vacuolization, and cytoplasmic granulation. After passage 7, PK-15 and SPEV cells lost their ability to adhere to glass and remained suspended in the maintenance medium. The cytopathic effect was more pronounced when the virus was isolated from intestinal tissue. The viral suspension was frozen at -60°C. The presence of rotavirus ribonucleic acid was confirmed by real-time reverse transcription polymerase chain reaction and enzyme-linked immunosorbent assay.

Key words: porcine rotavirus disease, epizootic isolates, adaptation to cell cultures, cytopathic effect, infectious activity, polymerase chain reaction, enzyme-linked immunosorbent assay.

For citation: Plotnikova E.M., Ishmukhametov K.T., Shakurov M.M., Mukhametshin I.R., Gaynutdinov T.R. Selection of highly immunogenic porcine rotavirus strains isolated from tissues of affected animals. *Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine*. 2025; 264(4). 71-76 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_71.

References

1. [Rapid tests for diagnosis of intestinal diseases in piglets]. *Svinovodstvo*. 2022; 8. 29-32 p. EDN: QWBGDW.
2. Orlyankin BG, Yuzhakov AG, Krasnikov NYu, Aliper TI. [Porcine rotaviruses]. *Veterinariya*. 2023; 7. 3-10 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.7.03-09>.
3. Kashevarov GS, Saitov VR, Yusupova KV. Metodicheskoe posobie po provedeniyu morfologicheskikh issledovaniy na tkanevom i ultrastrukturnom urovne. [Methodological manual for conducting morphological studies at the tissue and ultrastructural level]. SPB: Naukoemkie tekhnologii. 2024; 66 p. EDN: LIPWOH.
4. Krasochko PA, Yastrebov AS, Borisovets DS. Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu kulturalnykh, antitelynykh, geneticheskikh svoystv i infektsionnoy aktivnosti proizvodstvennykh epizooticheskikh shtamov rotavirusov sviney. [Methodological recommendations for study of cultural, antibody, genetic properties and infectious activity of industrial epizootic strains of porcine rotavirus]. Minsk. 2016; 32 p.
5. Kruglova MI, Babina EA, Bogomolova OA. Kultivirovaniye virusa reproduktivnosti respiratornogo sindroma sviney na perevivaemykh liniyakh kultury kletok MARC-145 i MA-104. Nauchnye osnovy proizvodstva i obespecheniya kachestva biologicheskikh preparatov dlya APK. [Cultivation of porcine respiratory syndrome reproductive virus on continuous cell culture lines MARC-145 and MA-104. Scientific foundations of the production and quality assurance of biological products for agro-industrial complex]. Moscow: Shchelkovo. 2019; 77-82 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.7.03-09>.
6. Mertens N, Theub T, Kochling M, Dohmann K, Lillie-Jaschniski K. Pathogens detected in 205 German farms with porcine neonatal diarrhea in 2017. *Veterinary Sciences*. 2022; Vol.9. 2. 44 p. EDN: UMKYGN.
7. Kostina LV, Filatov IE, Eliseeva OV. [Study of the safety and immunogenicity of a vlp-based vaccine for prevention of rotavirus infection in a model of newborn dwarf pigs]. *Voprosy virusologii*. 2023; Vol.68. 5. 415-427 p. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-194>.
8. Ivanyuk VP, Bobkova GN. [Rotavirus infection of calves]. *Vestnik Bryanskoy GSKhA*. 2022; 4 (92). 33-39 p. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2022-92-4-33-39>.
9. Orlyankin BG, Nepoklonov EA, Alekseev KP. Rotavirusnaya bolezn sviney. Aktualnye infektsionnye bolezni sviney. [Rotavirus disease of pigs. Current infectious diseases of pigs]. Edited by T.I. Alipera. Moscow:

Zoovetkniga. 2019; 260-262 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.7.03-09>.

10. Shvets OM, Bychkova EA. [Analysis of the results of monitoring studies on infectious diseases of pigs]. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2025; 1. 143-147 p. EDN: QPNJRG.

11. Gryaznova MV, Smirnova YuD, Burakova IYu. [Analysis of genes encoding metabolic pathway enzymes in the intestines of newborn piglets with diarrhea]. Veterinarnyy farmakologicheskiy vestnik. 2023; 4 (25). 163-174 p. <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2023.4.163>.

12. Plotnikova EM, Arkharova IA, Nizamov RN. Virus-reproducing ability of growth media containing immunogenesis mediators. Systematic Reviews in Pharmacy. 2020; 11 (11). 281-284 p. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.11.41>.

13. Plotnikova EM, Nikitin AI, Nizamov RN. Effect of ionizing radiation on cellular metabolism and virus-producing ability of cell cultures. Bali Medical Journal. 2017; Vol.6. 2. 294-297 p. <https://doi.org/10.15562/bmj.v6i2.526>.

14. Plotnikova EM, Makaev KhN, Nizamov RN. [Radioresistant cell culture line MDBK for virus reproduction. In the collection "Actual problems of veterinary medicine"]. Materialy nauchno-prakt. konf., posvyashchn.90-letiyu so dnya rozhdeniya prof. V.A.Kirshina. Kazan: FTsTRB. 2018; 247-252 p. EDN: YVYVBP.

15. Oganessian AS, Shibaev MA, Petrova ON. [Situational analysis of priority swine diseases for industrial pig farming: ways to improve biosecurity of enterprises in the Russian Federation]. Veterinariya segodnya. 2024; 13 (4). 396-404 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-4-396-404>.

16. Gao L, Shen H, Zhao S. Isolation and pathogenicity analysis of a G5P porcine rotavirus strain. Viruses. 2023; Vol.16. 1. 21 p. <https://doi.org/10.3390/v16010021>.

17. Li Ya, GAO Ch, Wu L. Isolation and possibility of vertical transmission of G9P[23] and G12P[7] group A rotavirus strains in pigs. Porcine Health Manag. 2025; Vol.11. 1. 32 p. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00445-6>.

18. Akari Yu, Hatazawa R, Kuroki H. Full genome-based characterization of an asian G3P[6] human rotavirus strain found in a diarrheic child in japan: evidence for porcine-to-human zoonotic transmission. Infection, Genetics and Evolution. 2023; Vol.115. 105507 p. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2023.105507>.

19. Shi K, Zhao K, Wei H. Triplex crystal digital PCR for the detection and differentiation of the wild-type strain and the MGF505-2R and I177L gene-deleted strain of African swine fever virus. Pathogens. 2023; Vol.12. 9. 1092 p. <https://doi.org/10.3390/pathogens12091092>.

20. Miao Q, Pan Yu, Gong L. Full genome characterization of a human-porcine reassortment G12P [7] rotavirus and its pathogenicity in piglets. Transboundary and Emerging Diseases. 2022; Vol.69. 6. 3506-3517 p. <https://doi.org/10.1111/tbed.14712>.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This work was funded through research projects. State registration number 1024052900034-8.

Authors:

Plotnikova Edie Minachetdinovna* - Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, chief researcher of Laboratory of Animal Radiation Protection, e-mail: adiya2397031@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6306-4859>

Mukhametshin Ilshat Rishatovich – Ph.D. of Biological Sciences, researcher of Laboratory of Radiation Monitoring and Radioecology, e-mail: muhamet_il@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9102-922X>

Shakurov Mulanur Makhsutovich - Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher, e-mail: mulanurshakurov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2563-5948>

Ishmukhametov Kamil Talgatovich - Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of Laboratory of Radiation Monitoring and Radioecology, e-mail: kamil-ishmuhametov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8398-1155>

Gaynutdinov Timur Rafkatovich – Ph.D. of Biological Sciences, Head of Laboratory of Animal Radiation Protection, e-mail: gtr_timur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3832-883X>

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХ СХЕМ ЛЕЧЕНИЯ
ПОСТКОИТАЛЬНОГО ЭНДОМЕТРИТА У КОБЫЛ АМЕРИКАНСКОЙ
РЫСИСТОЙ ПОРОДЫ****Н. Ю. Терентьева, Е. В. Кавадина, В. А. Ермолаев, С. Н. Иванова**

Реферат. В работе представлены результаты трансректального ультразвукового исследования и лечения посткоитального эндометрита у кобыл американской рысистой породы. Целью исследования являлось изучение в сравнительном аспекте двух схем лечения посткоитального эндометрита у кобыл американской рысистой породы в условиях ООО «Поворот ВП». Результативность лечения отслеживалась с помощью повторной комплексной репродуктивной оценки, которая включала в себя трансректальное УЗИ, вагиноскопию, мануальное исследование влагалища и исследование гематологических показателей крови. При возникновении посткоитального эндометрита необходимо назначать следующую схему лечения: Лаваж матки раствором натрия хлорида 0,9% 3 л + гентамицина сульфат 4% 4 мл на каждый литр натрия хлорида. После введения в полость матки 3 л раствора вводится гормональный препарат Окситоцин 10МЕ 2,5 мл внутривенно. Далее повторение введения Окситоцина с интервалом 5 ч внутримышечно, комбинированный препарат Гамавит 1 мл на 1 кг раз в 48 часов внутримышечно. Применение схемы лечения с использованием гентамицина сульфата у кобыл опытной группы даёт наилучший результат, поскольку в контрольной группе стали жеребыми 2 кобылы из 3 (66,67%), а в опытной группе 3 кобылы из 3 (100%). Применение предложенной схемы лечения способствовало нормализации гематологических показателей и выздоровлению животных: уменьшение содержания нейтрофилов после лечения говорит о завершении нейтрофильной фазы борьбы с воспалительным процессом, повышение моноцитов является маркером завершения воспалительного процесса и начала периода восстановления организма.

Ключевые слова: кобылы, посткоитальный эндометрит, лаваж, антибиотикотерапия.

Для цитирования: Терентьева Н.Ю., Кавадина Е.В., Ермолаев В.А., Иванова С.Н. Сравнительная эффективность двух схем лечения посткоитального эндометрита у кобыл американской рысистой породы // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 77-83. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_77.

Введение. Коневодство Российской Федерации в последние годы стремительно наращивает темпы. Растёт спрос на спортивных лошадей, в особенности генетически ценных жеребят. Зажеребляемость и количество жеребят на 100 конематок – основные критерии эффективности воспроизводства в племенном коневодстве. Эти показатели значительно снижаются вследствие гинекологических заболеваний кобыл, большую часть которых составляют именно эндометриты [1, 2, 3].

Стойкий эндометрит после случки/осеменения, или персистирующий постбродинговый эндометрит, или посткоитальный эндометрит (Persistent post-breeding endometritis / PPBEM) – воспаление слизистой оболочки матки, многофакторная патология, развивающаяся как преувеличенная форма физиологической реакции на спаривание/осеменение. Это одно из самых распространённых акушерско-гинекологических заболеваний кобыл и одна из главных причин невозможности зажеребляемости [4, 5]. Данная патология лошадей приводит к высокому риску ранней эмбриональной гибели, более низкому уровню зажеребляемости, снижению репродуктивной способности животных и повышению затрат на лечение [6, 7]. Эндометрит представляет большую опасность для коневладельцев, коннозаводчиков, ветеринарных врачей и становится причиной многих потерь в отрасли

племенного животноводства. С целью повышения вероятности зажеребления у кобыл из группы риска необходимо осуществлять раннюю диагностику и соответствующее лечение [8, 9, 10].

Исходя из вышеизложенного, целью нашего исследования являлось изучение в сравнительном аспекте двух схем лечения посткоитального эндометрита у кобыл американской рысистой породы в условиях ООО «Поворот ВП».

Условия, материалы и методы. Исследование проводилось в сентябре 2024 года на кобылах американской рысистой породы методом групповых аналогов в ООО «Поворот ВП» Коломенского района Московской области. При проведении ветеринарного осмотра для комплексной репродуктивной оценки маточного поголовья при трансректальном ультразвуковом исследовании с помощью портативного аппарата Acuvista VT98C были выявлены 9 кобыл с признаками посткоитального эндометрита. Наличие в просвете матки свободной жидкости более 10 мм в диаметре является диагностическим признаком PPBEM. В рамках эксперимента сформировали одну контрольную и одну опытную группы кобыл в возрасте 7-13 лет, по принципу пар аналогов по 3 головы в каждой (контрольная и опытная). Содержание всех животных было одинаковым (табл. 1).

ВЕТЕРИНАРИЯ

Таблица 1 - Кобылы, которые участвовали в эксперименте

Группа	Кличка кобылы, страна, дата рождения, порода
Контрольная	Саусвинд Импалс (Southwind Impuls; USA), кобыла 13.03.2011 года, американской рысистой породы
	Блэк Кавиар (Black Caviar; RU), кобыла 11.05.2017 года, американской рысистой породы
	Винд Крэйдл (Wind Cradle; FIN), кобыла 09.05.2013 года, американской рысистой породы
Опытная	Ми Эстрелла (Mi Estrella; RU), кобыла 17.05.2018 года, американской рысистой породы
	Джаст Нот Инту Ю (Just Not Into You; USA), кобыла 26.04.2011 года, американской рысистой породы
	Мисси Маунтин Топ (Missy Mountain Top; USA), кобыла 09.05.2014 года, американской рысистой породы

Схема лечения контрольной и опытной групп представлена в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 - Схема лечения контрольной группы

Лечение	1-ый день	2-ой день	3-ий день	4-ый день	5-ый день	6-ой день	7-ой день	8-ой день	9-ый день	10-ый день
Метрикур внутриматочно	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гамавит 1 мл на 1 кг раз в 48 часов внутримышечно	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-

Таблица 3 - Схема лечения опытной группы

Лечение	1-ый день	2-ой день	3-ий день	4-ый день	5-ый день	6-ой день	7-ой день	8-ой день	9-ый день	10-ый день
Лаваж матки р-ром натрия хлорида 0,9% 3 л + гентамицина сульфат 4% - 4 мл на каждый 1 л натрия хлорида	- +	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Окситоцин 10МЕ 2,5 мл внутривенно. Далее повторение введения с интервалом 5 ч внутримышечно	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Гамавит, 1 мл/кг, каждые 48 часов, внутримышечно	- +	- -	- +	- -	- +	- -	- +	- -	- +	- -

Выбор препаратов вовсе не случайный. До начала эксперимента было проведено бактериологическое исследование содержимого матки проблемных кобыл. При определении антибактериальной чувствительности выделенная микрофлора не имела резистентности к действующим веществам – цефепиму и гентамицину сульфату.

Терапия контрольной группы кобыл осуществлялась антибактериальным препаратом Метрикур (производитель «Intervet Schering-Plough Animal Health», Нидерланды), который обладает широким спектром бактерицидного действия и чаще применяется в конных хозяйствах для внутриматочного введения.

Схема лечения опытной группы кобыл заключалась в лаваже матки раствором натрия хлорида 0,9% 3 л с добавлением гентамицина сульфата 4 мл на каждый литр. Для

сокращения матки с целью лучшего выведения жидкости применялся Окситоцин 2,5 мл внутривенно с повторным введением внутримышечно с интервалом 5 ч. В дополнение кобылам из обеих групп внутримышечно вводился комбинированный препарат Гамавит - 1 мл на 10 кг раз в 48 часов.

Результативность лечения опытных групп кобыл отслеживали с помощью повторной комплексной репродуктивной оценки, которая включала в себя трансректальное УЗИ, вагиноскопию и мануальное исследование влагалища.

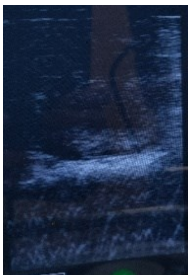
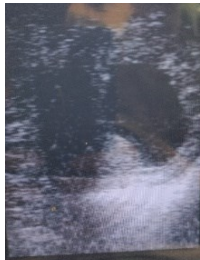
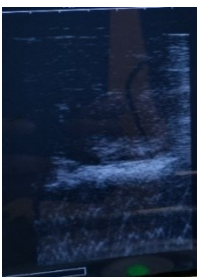
Для изучения гематологических показателей каждую кобылу фиксировали в станке и производили взятие крови из яремной вены, на границе верхней и средней трети шеи. Большим пальцем левой руки сдавливали вену ниже места пункции, вводили

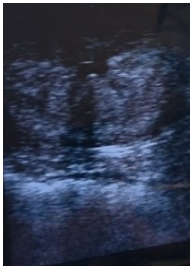
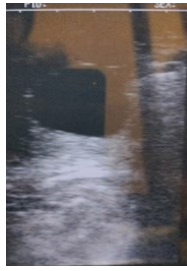
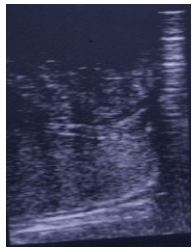
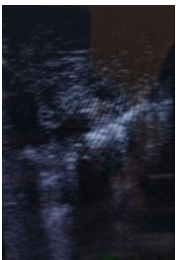
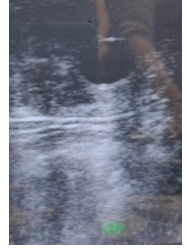
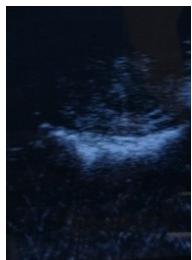
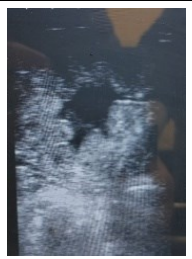
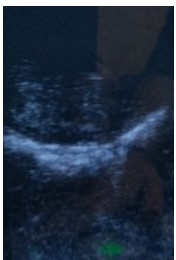
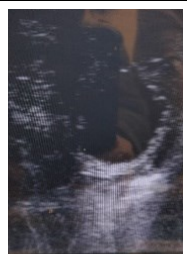
кровопускательную иглу против тока крови под углом 45°. Забор крови осуществлялся в специальные стерильные вакуумные пробирки объемом 1 мл, где в качестве антикоагулянта ЭДТА (фиолетовая крышка) для морфологического исследования.

Результаты и обсуждение. Диагноз животным был поставлен через 48 часов после осеменения. При ультразвуковом исследовании у всех кобыл с посткоитальным эндометритом была видна внутриматочная жидкость диаметром более 10 мм, отмечался отек слизистой, увеличение просвета рога матки. Результаты трансректального УЗИ отражены в таблице 4. Ежедневные наблюдения за кобылами во время опыта показали, что общее состояние животных во всех группах было удовлетворительным, аппетит и активность сохранены. Частота сердечных сокращений и дыхательных движений были в пределах референсных значений для данного вида. Клиническое состояние животных улучшилось на 4-5 сутки в контрольной и на 5-6 в опытной группе.

Результаты трансректального ультразвукового исследования говорят о том, что применение схемы лечения в опытной группе даёт наибольший результат на выздоровление и зажеребляемость. В контрольной группе стали жеребыми 2 кобылы из 3, а в опытной группе 3 кобылы из 3. Проведённые исследования показали, что антибактериальный препарат Гентамицина сульфат 4% обладает лучшим терапевтическим эффектом и рекомендуется для лечения посткоитального эндометрита у кобыл американской рысистой породы. Также стоит отметить, что отсутствие терапии посткоитального эндометрита пагубно влияет на зажеребляемость и что заболевание представляет собой серьёзную проблему (среди кобыл без терапии зажеребела только 1 из 3 при помощи регуляторных процессов организма, которые смогли вовремя побороть воспалительный процесс). Для минимизации рисков, необходимо обращать особое внимание на репродуктивное состояние маточного поголовья, своевременно диагностировать посткоитальный эндометрит и выбирать эффективную схему лечения.

Таблица 4 - Результаты трансректального УЗИ

Группа кобыл	Кличка кобылы	Результаты трансректального УЗИ			
		До осеменения	Через 48 ч после осеменения	После лечения	Жеребость
1	2	3	4	5	6
Контрольная группа	Саусвинд Импале		 Жидкость 17 мм		 21 день
	Блэк Кавиар		 Жидкость 24 мм		 24 дня
	Винд Крэйдл		 Жидкость 18 мм		 холостая

1	2	3	4	5	6
Опытная группа	Ми Эстрелла		 Жидкость 16 мм		 18 дней
	Джаст Нот Ингу Ю		 Жидкость 24 мм		 13 дней
	Мисси Маунтин Топ		 Жидкость 30 мм		 20 дней

У каждой кобылы с посткоитальным эндометритом осуществлялся забор крови для проведения лабораторного исследования.

Влияние лечения на гематологические показатели кобыл каждой группы до лечения и после лечения отражены в таблице 5.

Таблица 5 - Влияние лечения на показатели клинического анализа крови кобыл

Показатель исследования крови	Референсные значения для вида	Контрольная группа		Опытная группа	
		До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
Гематокрит (Hct, PCV), %	30,0 – 48,0 (до 53 у АЧВП)	33,8±1,20	36,8±1,24	36,7±1,92	37,5±1,27
Гемоглобин (Hgb), г/л	100-160 (АЧВП: 110-180)	133,6±3,52	137,6±3,84	129,3±4,09	137,3±3,28
Эритроциты (RBC), $\times 10^{12}$ /л	6,00 – 11,50 (до 12,9 у АЧВП)	8,5±0,60	8,7±0,66	9,1±0,25	8,9±0,57
СОЭ (ESR), мм/час	40 – 70	73,6±2,96	60,6±0,88	72,6±3,38	57,3±1,20
Лейкоциты (WBC), $\times 10^9$ /л	6,0 – 11,0	13,0±0,24	9,2±0,21	13,1±0,49	9,1±0,37
Тромбоциты (Plt), $\times 10^9$ /л	80 – 400	183,6±7,05	193,3±5,54	191,3±8,83	197,6±6,17
Анизоцитоз эритроцитов (RDW), %	< 17,0	15,6±0,41	15,0±0,24	16,2±0,23	15,0±0,14
Средняя конц. Нб в эритроците (MCHC), г/дл	33,0 – 38,0	35,6±0,58	35,7±0,57	35,5±0,89	35,3±0,55
Средний объем эритроцита (MCV), мкм ³ (фл)	34,0 – 50,0	40,5±2,41	40,2±2,08	40,1±3,79	40,2±2,04
Среднее содержание Нб в эритроците (MCH), пг	13,0 – 18,0	15,4±0,61	15,5±0,56	15,0±0,78	15,6±0,44
Скорректир. (истинные) лейкоциты, $\times 10^9$ /л	6,0 – 11,0	8,6±0,86	8,5±0,49	7,9±0,88	8,3±0,58

Из данных таблицы 5 видно, что лейкоциты до лечения превышают референсные значения: в контрольной группе $13,0 \pm 0,24$ и в опытной группе $13,1 \pm 0,49$ соответственно, разница составляет 0,1 ед/л. Лейкоцитоз, то есть повышение числа лейкоцитов в единице объема крови, свидетельствует о наличии воспалительного процесса и обеспечении защитных функций организма. Также стоит обратить внимание на небольшое увеличение скорости оседания эритроцитов: в контрольной группе $73,6 \pm 2,96$ и в опытной группе $72,6 \pm 3,38$ соответственно, разница составляет 1 мм/ч. Зачастую ускорение СОЭ говорит о воспалительном процессе и возникает вместе с лейкоцитозом, что как раз отражено в результатах клинического анализа крови в рамках данного опыта. Остальные показатели не превышали референсных значений.

К моменту выздоровления содержание

лейкоцитов возвратилось в пределы референсных значений и составило в контрольной группе $9,2 \pm 0,21$, а в опытной $9,1 \pm 0,37$ (разница 0,07 ед/л), что меньше показателей до терапии на 3,8 ед/л и 3,97 ед/л, соответственно. Аналогичные изменения наблюдались со стороны СОЭ: в контрольной группе $60,6 \pm 0,88$, а в опытной $57,3 \pm 1,20$ (разница 3,33 мм/ч), что меньше показателей до терапии на 13 мм/ч и 15,33 мм/ч, соответственно. Остальные показатели находились в пределах референсных значений. Данный факт можно рассматривать как признак стабильности гомеостаза организма больных животных и незначительного влияния купированного воспалительного процесса в матке на организм животных в целом.

Влияние лечения на показатели лейкограммы кобыл из обеих групп отражены в таблице 6.

Таблица 6 - Лейкограмма крови исследуемых кобыл до и после лечения (WBC Extended Result)

Показатели	Референсные значения для вида	Контрольная группа		Опытная группа	
		До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
Лимфоциты (Lym), %	25 – 45	$49,6 \pm 0,88$	$37,3 \pm 0,88$	$49,3 \pm 1,20$	$36,3 \pm 0,88$
Лимфоциты ABS, $\times 10^9$ /л	1,50 – 5,50	$5,6 \pm 0,02$	$4,3 \pm 0,06$	$5,6 \pm 0,02$	$4,3 \pm 0,03$
Моноциты (Mono), %	2 – 8	$9,0 \pm 0,57$	$10,3 \pm 0,66$	$9,3 \pm 0,33$	$10,6 \pm 0,33$
Моноциты ABS, $\times 10^9$ /л	0,00 – 0,80	$0,8 \pm 0,01$	$0,8 \pm 0,02$	$0,8 \pm 0,01$	$0,8 \pm 0,02$
Эозинофилы (Eos), %	1 – 4	$3,0 \pm 0,57$	$2,0 \pm 0,57$	$2,0 \pm 0,57$	$1,6 \pm 0,33$
Эозинофилы ABS, $\times 10^9$ /л	0,00 – 0,93	$0,2 \pm 0,07$	$0,3 \pm 0,04$	$0,7 \pm 0,08$	$0,5 \pm 0,05$
Базофилы (Bas), %	0 – 3	$1,0 \pm 0,57$	$0,6 \pm 0,33$	$1,0 \pm 0,57$	$0,6 \pm 0,33$
Базофилы ABS, $\times 10^9$ /л	0,00 – 0,17	$0,1 \pm 0,005$	$0,1 \pm 0,005$	$0,1 \pm 0,005$	$0,1 \pm 0,003$
Палочкоядерные нейтрофилы (Bands), %	0 – 3	$3,6 \pm 0,88$	$1,6 \pm 0,33$	$4,3 \pm 0,88$	$1,3 \pm 0,33$
Палочкоядерные нейтрофилы ABS, $\times 10^9$ /л	0,00 – 0,10	$0,1 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,1 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$
Сегментоядерные нейтрофилы (Segs), %	45 – 65	$69,3 \pm 1,20$	$56,6 \pm 1,20$	$68,3 \pm 1,76$	$56,3 \pm 1,20$
Сегментоядерные нейтрофилы ABS, $\times 10^9$ /л	2,70 – 6,70	$6,7 \pm 0,01$	$5,9 \pm 0,09$	$6,7 \pm 0,01$	$5,9 \pm 0,04$

Из таблицы 6 видно, что количественные изменения показателей лейкограммы до и после лечения были однородны у кобыл обеих групп. До лечения заметна тенденция к превышению референсных значений лимфоцитов, моноцитов, палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов. Абсолютное содержание лимфоцитов в контрольной группе до лечения $6,0 \pm 0,03$, а в опытной $5,8 \pm 0,09$, разница

составляла 0,12 ед/л. Относительное содержание лимфоцитов в контрольной группе до лечения $51,6 \pm 1,76$, а в опытной $50,6 \pm 1,45$, разница составляла 1 ед/л. Небольшое повышение лимфоцитов при воспалительных процессах – естественная реакция организма, указывающая на его готовность дать иммунный ответ.

К выздоровлению абсолютное содержание лимфоцитов в контрольной группе $4,3 \pm 0,06$, а

в опытной $4,3 \pm 0,03$ (разница составляет $0,03$ ед/л), что меньше показателей до лечения на $1,25$ ед/л и $1,30$ ед/л, соответственно. Относительное содержание лимфоцитов в контрольной группе в конце лечения $37,3 \pm 0,88$, а в опытной $36,3 \pm 0,88$ (разница составляет 1%), что меньше показателей до лечения на $12,33\%$ и 13% соответственно.

К концу лечения, процентное содержание палочкоядерных нейтрофилов уменьшилось в контрольной группе на 2% , в опытной – на 3% . Процентное содержание сегментоядерных нейтрофилов уменьшилось в контрольной группе на $12,67\%$, в опытной – на 12% . Снижение содержания нейтрофилов после лечения свидетельствует о завершении нейтрофильной фазы в борьбе с воспалительным процессом. Стоит отметить, что к выздоровлению наблюдается повышение моноцитов на $0,04$ ед/л и $1,33\%$, как маркер завершения воспалительного процесса и начала периода восстановления организма.

Выводы. Исходя из полученных результатов исследований, можно рекомендовать следующие предложения производству:

1. Необходимо точно и своевременно диагностировать заболевание, поэтому рекомендуем проводить трансректальное ультразвуковое исследование через 48 часов после осеменения.

2. При возникновении посткоитального эндометрита назначать следующую схему лечения: Лаваж матки р-ром натрия хлорида $0,9\%$ 3 л + гентамицина сульфат 4% 4 мл на каждый литр натрия хлорида. После введения в полость матки 3 л раствора вводится гормональный препарат «Окситоцин 10МЕ » $2,5$ мл внутривенно. Далее повторение введения «Окситоцина» с интервалом 5 ч внутримышечно. Комбинированный препарат «Гамавит» 1 мл на 1 кг раз в 48 часов в/м.

3. Для предотвращения посткоитального эндометрита соблюдать гигиену при вагиноскопии, при визуальном осмотре влагалища и при любых других ветеринарных манипуляциях.

4. Проводить операцию Каслика для кобыл с анатомически неправильной формой вульвы во избежание попадания патогенной микрофлоры во влагалище проблемных кобыл.

Литература

1. Динамика состава микробиоты эндометрия на фоне применения биологической кормовой добавки / Е. А. Йылдырым, Т. С. Сметанникова, Г. Ю. Лаптев [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2025. № 6(219). С. 150-159. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-6-150-159>. EDN GXEJQF.
2. Иммуномодулирующие свойства ряда биологически активных кормовых добавок / Т. М. Шленкина, Е. М. Романова, В. В. Романов, В. Н. Любомирова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4(56). С. 130-135. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-130-135>. EDN QHQPWK.
3. Калашников В. В., Солодова Е. В., Лебедева Л. Ф. Схема применения препарата Прогестамат для поддержания уровня прогестерона в сыворотке крови жеребых кобыл // Ветеринария. 2024. № 10. С. 48-52. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.10.48-52>. EDN RGIZNA.
4. Корякина Л. П., Григорьева Н. Н., Слепцов Е. С. Физиологический статус и генетические аномалии заводных пород скота в экстремальных условиях Арктической зоны // Ветеринария и кормление. 2023. № 1. С. 39-41. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-1-9>. EDN LJWLCR.
5. Мороз А. И., Евстафьев Д. М., Черемуха Е. Г. Результаты сравнения "традиционной" схемы лечения острого послеродового эндометрита крупного рогатого скота и схемы без применения внутриматочных средств // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 236-240. EDN GLFECN.
6. Племенное коневодство - одна из ключевых тем повестки дня Минсельхоза // Аграрная наука. 2020. № 1. С. 29-30. EDN NYIATO.
7. Петрова М. Ю. Состояние племенного животноводства Омской области // Вестник КрасГАУ. 2025. № 2(215). С. 132-139. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-2-132-139>. EDN PRDISR.
8. Состояние генофонда в племенном животноводстве Российской Федерации / Л. А. Калашникова, С. Е. Тяпугин, А. А. Новиков, Л. Н. Григорян // Зоотехния. 2022. № 12. С. 13-16. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.12.85.004>. EDN IMAXVW.
9. Спирина Е. В., Романова Е. М., Романов В. В. Оценка антиоксидантных свойств поливалентной функциональной кормовой добавки "Правда" // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2(58). С. 128-134. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-128-134>. EDN UGINHI.
10. Хамитова Л. Ф., Метлякова А. А., Овчинников М. А. Морфофункциональная характеристика половой системы у кобыл, самок собак и коров при терапии хронических эндометритов на фоне дисфункции яичников // Морфология. 2020. Т. 157, № 2-3. С. 224. EDN WRXXNX.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Терентьева Наталья Юрьевна - кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры хирургии, акушерства, фармакологии и терапии, e-mail: natalyaterenteva1@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5882-761X>
 Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия
 Кавадина Елена Витальевна - ветеринарный врач, e-mail: kassandra.soul@mail.ru
 ООО «Поворот ВП» Коломенского района Московской области, Коломна,
 Ермолаев Валерий Аркадьевич, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры хирургии, акушерства, фармакологии и терапии, e-mail: ermwa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9884-1227>
 Иванова Светлана Николаевна* - кандидат ветеринарных наук, преподаватель кафедры хирургии, акушерства, фармакологии и терапии, e-mail: sveticiva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0527-2622>
 Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия

COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF TWO TREATMENT SCHEMES FOR POSTCOITAL ENDOMETRITIS IN AMERICAN TROTTER MARES

N. Yu. Terenteva, E. V. Kavadin, V. A. Ermolaev, S. N. Ivanova

Abstract. This paper presents results of a transrectal ultrasound examination and treatment of postcoital endometritis in American Trotter mares. The aim of the study was to compare two treatment regimens for postcoital endometritis in American Trotter mares at Povorot VP, LLC. Treatment effectiveness was monitored using a repeated comprehensive reproductive evaluation, which included transrectal ultrasound, vaginoscopy, manual vaginal examination and hematological blood tests. If postcoital endometritis occurs, the following treatment regimen should be prescribed: uterine lavage with 3 liters of 0.9% sodium chloride solution + 4% gentamicin sulfate at a rate of 4 ml per liter of sodium chloride. After introducing 3 liters of the solution into the uterine cavity, the hormonal drug Oxytocin 10 IU 2.5 ml is administered intravenously. Then, Oxytocin is administered intramuscularly at 5-hour intervals and the combined Gamavit drug at 1 ml per 1 kg every 48 hours intramuscularly. The use of a treatment regimen using gentamicin sulfate in mares of the experimental group gives the best result, since 2 out of 3 mares in the control group (66.67%) became pregnant, while in the experimental group, 3 out of 3 mares (100%) became pregnant. The proposed treatment regimen contributed to the normalization of hematological parameters and the recovery of the animals: a decrease in neutrophil counts after treatment indicates the completion of neutrophil phase of fight against the inflammatory process, while an increase in monocytes is a marker of the end of inflammatory process and the beginning of recovery period.

Key words: mares, postcoital endometritis, lavage, antibiotic therapy.

For citation: Terenteva N.Yu., Kavadin E.V., Ermolaev V.A., Ivanova S.N. Comparative effectiveness of two treatment schemes for postcoital endometritis in American Trotter mares. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 77-83 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_77.

References

1. Yyldyrym EA, Smetannikova TS, Laptev GYu. [Dynamics of the endometrial microbiota composition against the background of the use of a biological feed additive]. Vestnik KrasGAU. 2025; 6(219). 150-159 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-6-150-159>. EDN GXEJQF.
2. Shlenkina TM, Romanova EM, Romanov VV, Lyubomirova VN. [Immunomodulatory properties of a number of biologically active feed additives]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2021; 4(56). 130-135 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-130-135>. EDN QHQPWK.
3. Kalashnikov VV, Solodova EV, Lebedeva LF. [Scheme for the use of Progestamag drug to maintain the level of progesterone in the blood serum of pregnant mares]. Veterinariya. 2024; 10. 48-52 p. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.10.48-52>. EDN RGIZNA.
4. Koryakina LP, Grigoreva NN, Sleptsov ES. [Physiological status and genetic anomalies of imported cattle breeds in extreme conditions of the Arctic zone]. Veterinariya i kormleniye. 2023; 1. 39-41 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-1-9>. EDN LJWLRC.
5. Moroz AI, Evstafev DM, Cheremukha EG. [Results of a comparison of the "traditional" treatment regimen for acute postpartum endometritis in cattle and a regimen without the use of intrauterine devices]. Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii. 2021; 1. 236-240 p. EDN GLFECN.
6. [Horse breeding is one of the key topics on agenda of Ministry of Agriculture]. Agrarnaya nauka. 2020; 1. 29-30 p. EDN NYIATO.
7. Petrova MYu. [The state of livestock breeding in Omsk region]. Vestnik KrasGAU. 2025; 2(215). 132-139 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-2-132-139>. EDN PRDISR.
8. Kalashnikova LA, Tyapugin SE, Novikov AA, Grigoryan LN. [The state of the gene pool in livestock breeding in the Russian Federation]. Zootekhnika. 2022; 12. 13-16 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.12.85.004>. EDN IMAXVW.
9. Spirina EV, Romanova EM, Romanov VV. [Evaluation of antioxidant properties of Pravad polyvalent functional feed additive]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2022; 2(58). 128-134 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-2-128-134>. EDN UGINHI.
10. Khamitova LF, Metlyakova AA, Ovchinnikov MA. [Morphofunctional characteristics of the reproductive system in mares, female dogs and cows during the treatment of chronic endometritis associated with ovarian dysfunction]. Morfologiya. 2020; Vol.157. 2-3. 224 p. EDN WRXXNX.

Conflict of interest

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

Authors:

Terenteva Natalya Yurevna – Ph.D. of Veterinary Sciences, Associate Professor of Surgery, Obstetrics, Pharmacology and Therapy Department, e-mail: natalyaterenteva1@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5882-761X>
 Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia
 Kavadin Elena Vitalievna - veterinarian, e-mail: kassandra.soul@mail.ru
 Povorot VP LLC, Kolomenskiy district, Moscow region, Kolomna
 Ermolaev Valeriy Arkadevich – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Surgery, Obstetrics, Pharmacology and Therapy Department, e-mail: ermwa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9884-1227>
 Ivanova Svetlana Nikolaevna* - Ph.D. of Veterinary Sciences, lecturer of Surgery, Obstetrics, Pharmacology and Therapy Department, e-mail: sveticiva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0527-2622>
 Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia.

**РОЛЬ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКАНСКОЙ ВЕТЕРИНАРНОЙ
ЛАБОРАТОРИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ЖИВОТНОВОДСТВА****Е. Н. Трофимова, А. Р. Гараев, И. Н. Никитин**

Реферат. Исследование посвящено анализу деятельности испытательного центра (ИЦ) государственного бюджетного учреждения «Республиканская ветеринарная лаборатория» Республики Татарстан и его роли в обеспечении биологической безопасности животноводства. Свою деятельность ИЦ осуществляет на основе Положения об ИЦ, в соответствии с требованиями регионального и федерального законодательства, а также международных стандартов. На основе систематического изучения документации, результатов опросов ветеринарных специалистов и статистического анализа установлено, что ИЦ выполняет ключевые функции: аккредитацию лабораторий, методическую поддержку районных ветеринарных лабораторий, контроль качества исследований, расширение областей аккредитации. В структуре ИЦ работают четыре специалиста: руководитель, заместитель руководителя, ветеринарный врач – метролог и ветеринарный врач – менеджер по качеству. Основные направления деятельности ИЦ включают организацию внутрилабораторного контроля, проведение межлабораторных сличительных испытаний, входной контроль реактивов и оборудования, а также подготовку протоколов испытаний. Статистические данные за 2021–2024 годы показывают значительный рост бактериологических (до 147,6%), токсикологических (до 265,8%) и паразитологических (до 406,1%) исследований. Особое внимание уделяется исследованиям особо опасных заболеваний животных – бешенство, бруцеллез, туберкулез, сибирская язва, африканская чума свиней. Установлено, что ИЦ постоянно взаимодействует с заказчиками исследований – крупными агрохолдингами республики и личными подсобными хозяйствами граждан. Такое взаимодействие способствует повышению достоверности проведенных лабораторных исследований. Результаты подтверждают, что деятельность ИЦ на прямую влияет на биологическую безопасность в животноводстве, предотвращая распространение особо опасных болезней животных и тем самым снижая экономические потери в республике. Данное исследование имеет практическую ценность для совершенствования организации работы ветеринарных лабораторий и разработки мер по повышению качества ветеринарного обслуживания.

Ключевые слова: Республиканская ветеринарная лаборатория, испытательный центр, аккредитация, биологическая безопасность, животные.

Для цитирования: Трофимова Е.Н., Гараев А.Р., Никитин И.Н. Роль испытательного центра Республиканской ветеринарной лаборатории в обеспечении биологической безопасности животноводства // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 84–89. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_84.

Введение. В настоящее время обеспечение биологической безопасности в животноводстве является одной из приоритетных задач [1, 2, 3]. Современные животноводческие комплексы с интенсивной технологией получения продукции животноводства (птицеводства), высокая степень глобализации торговых процессов, климатические изменения создают благоприятные условия для распространения заразных болезней животных и ставят новые вызовы перед ветеринарной службой [4, 5, 6]. Сложившаяся структура государственной ветеринарной лабораторной сети в России обеспечивает оперативность осуществления диагностических работ и своевременность проведения ветеринарных мероприятий [7, 8, 9]. На базе значительного количества ветеринарных лабораторий нашей страны функционируют испытательные лаборатории (центры), которые имеют подтверждение в системе аккредитации (Росаккредитация), что является официальным свидетельством их технической компетентности в независимости от проводимых лабораторных исследований в соответствии с заявленной областью аккредитации [10, 11, 12]. В этом контексте испытательный центр государственного бюджетного учреждения

«Республиканская ветеринарная лаборатория» Республики Татарстан (далее – Республиканская ветлаборатория) занимает важную позицию, выступая ключевым звеном в системе мониторинга и контроля над состоянием здоровья животных.

Испытательный центр Республиканской ветлаборатории (далее – ИЦ) впервые был аккредитован как испытательный центр в 1998 году и в своей деятельности руководствуется законом Российской Федерации «О ветеринарии», законом Республики Татарстан «О ветеринарном деле в Республике Татарстан», нормативными документами, уставом Республиканской ветлаборатории и положением об ИЦ [13].

Первостепенной задачей ИЦ является аккредитация Республиканской ветлаборатории и методическая помощь в аккредитации государственных ветеринарных лабораторий Республики Татарстан. Аккредитованная в заявленных областях исследований ветеринарная лаборатория гарантирует качество проведения лабораторных исследований, обеспечение биологической безопасности исследуемой продукции и тем самым вносит вклад в поддержание биологической безопасности в животноводстве. Кроме того, ИЦ для

поддержания биологической безопасности в животноводстве планомерно расширяет востребованные области аккредитации, увеличивает количество диагностических исследований.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является анализ роли испытательного центра Республиканской ветлаборатории в обеспечении биологической безопасности в животноводстве.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в Республиканской ветлаборатории, в её структурном подразделении – испытательный центр. Выполнен систематический анализ имеющейся документации ИЦ (положение об ИЦ, отчёты, результаты мониторинговых исследований, стандарты, методические рекомендации). Для оценки влияния ИЦ на ветеринарную практику и биологическую безопасность в животноводстве были взяты интервью и проведены опросы среди ветеринарных специалистов, непосредственно взаимодействующих с ИЦ. При проведении исследований соблюдались все этические нормы (в частности, обеспечена конфиденциальность респондентов).

В ходе исследований использовались монографический метод, статистический и системный анализ, опрос респондентов.

Результаты и обсуждение. Испытательный центр является структурным подразделением Республиканской ветлаборатории, создан и функционирует в соответствии с Положением об ИЦ.

В составе ИЦ работают четыре сотрудника: руководитель, заместитель руководителя, ветеринарный врач-метролог и ветеринарный врач-менеджер по качеству.

Основными задачами ИЦ являются:

- 1) обеспечение проведения аккредитации, периодического проведения подтверждения компетентности Республиканской ветлаборатории;
- 2) методическая помощь лабораториям районных государственных ветеринарных объединений в прохождении аккредитации и периодического прохождения подтверждения компетентности лаборатории;
- 3) проведение систематического внутрилабораторного контроля (далее – ВЛК);
- 4) проведение в соответствии с установленной периодичностью межлабораторных сравнительных испытаний (далее – МСИ);
- 5) входной контроль химических реактивов, стандартных образцов, тест-систем, диагностикумов и иных расходных материалов, необходимых для лабораторной деятельности;
- 6) систематическая проверка всего многочисленного оборудования лаборатории;
- 7) расширение области аккредитации;
- 8) подготовка, корректировка и контроль документов системы менеджмента качества и других официально-деловых бумаг, необходимых для работы отделов Республиканской ветлаборатории;

9) участие в подготовке и выдаче протоколов испытаний по результатам лабораторных исследований.

Таким образом, главной задачей ИЦ Республиканской ветлаборатории является аккредитация и систематическое дальнейшее подтверждение компетентности Республиканской ветлаборатории, методическая помощь в аккредитации и подтверждении компетентности государственных ветеринарных лабораторий Республики Татарстан. Правила аккредитации испытательных лабораторий являются едиными и установлены Федеральным законом от 28 декабря 2013 года № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» и приказами Минэкономразвития. Для успешного прохождения аккредитации испытательная лаборатория должна полностью соответствовать критериям аккредитации [14].

В связи с требованиями Технического регламента Таможенного Союза (ТР ТС 033/2013) в редакции от 23 июня 2023 года, приказом Минсельхоза России от 28 июня 2021 года №421 в настоящее время является актуальной аккредитация государственных ветеринарных лабораторий.

Аккредитация испытательной лаборатории – это процедура, посредством которой уполномоченный орган – Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация) – официально признает возможность выполнения испытательной лабораторией работ в заявленной области.

Подтверждение аккредитации испытательных лабораторий осуществляется в следующих целях:

- 1) свидетельства их компетентности;
- 2) обеспечения доверия изготовителей, продавцов и потребителей к их деятельности;
- 3) создания условий для признания результатов их деятельности.

Требования к аккредитации испытательной лаборатории в России регулируются ГОСТ ISO/IEC 17025–2019, положения которого разработаны с учётом соответствующих руководств ИСО/МЭК и европейских стандартов.

ИЦ также организует работу по проведению лабораторных исследований в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025–2019, что свидетельствует о надлежащем качестве проведения лабораторных испытаний, обеспечивающих биологическую безопасность исследуемой продукции. Тем самым вносится вклад в поддержание биологической безопасности в животноводстве.

В таблице 1 представлены сведения о проведённых исследованиях и выданных протоколах исследований (испытаний) за четыре анализируемых года. В Республиканской ветлаборатории ежегодно проводится около 650 тыс. различных исследований (в среднем примерно 2,5 тыс. исследований за рабочий день) и выдаётся более 15 тыс. протоколов.

ВЕТЕРИНАРИЯ

В зависимости от запроса заказчика-заявителя протоколы исследований

оформляются в двух вариантах: в области аккредитации или вне области аккредитации.

Таблица 1 – Сведения о работе ГБУ «Республиканская ветеринарная лаборатория» Республики Татарстан за 2021–2024 годы

Год	Проведено исследований, пробы	Выдано протоколов исследования (испытаний), шт.
2021	542661	14569
2022	639137	15998
2023	715154	16228
2024	676327	12904

Протоколы в области аккредитации, затребованные заказчиком-заявителем, полностью ИЦ оформляются – начиная с приёма проб и вплоть до выдачи собственноручно документа с результатами исследований. Чаще всего такие используются при вывозе продукции за пределы Российской Федерации и для арбитражных опариваний результатов.

Если протокол затребован заказчиком-заявителем вне области аккредитации, то оформляется он не ИЦ, а через отдел приёма

проб Республиканской ветлаборатории по упрощенной схеме, минуя ИЦ.

В Республиканской ветлаборатории увеличиваются исследования с целью диагностики общих для человека и животных болезней, которые могут нарушить биологическую безопасность, таких как бешенство, бруцеллёз, туберкулёз, сибирская язва, лептоспироз, трихинеллёз. В 2022 году количество бактериологических исследований выросло на 147,6% по сравнению с 2021 годом (табл.2).

Таблица 2 – Сведения об объёме исследований в ГБУ «Республиканская ветеринарная лаборатория» Республики Татарстан за 2021–2024 годы

Вид исследований	Количество исследований, тыс.			
	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Бактериологические	16,8	41,6	52,7	50,1
Серологические	298,4	355,3	372,0	354,3
Токсикологические	2,4	9,5	12,1	14,9
Биохимические	25,9	30,0	22,6	22,5
Паразитологические	4,9	24,8	45,9	32,1
Вирусологические	89,0	95,9	139,4	144,0
ПЦР	93,3	68,7	58,1	45,2
ВСЭ	11,8	13,3	12,5	13,2
Всего	542,6	639,1	715,1	676,3

В 2023 году – на 26,7% по сравнению с предыдущим годом. В 2024 году, напротив, снизилось на 5% по сравнению с 2023 годом. Серологические исследования увеличились на 19% и 4,7% соответственно, но в 2024 году количество исследований уменьшилось на 4,8% по сравнению с 2023 годом. Наблюдается резкое увеличение токсикологических исследований в 2022 году (265,8%), в последующие годы рост количества исследований составляет 27,3% и 23,0% соответственно. Количество паразитологических исследований увеличилось в 2022 году на 406,1% по сравнению с предыдущим годом, в 2023 году – 85,0%, а в 2024 году – 69,9%. Вирусологические исследования также за три последних года выросли на 7,7%, 48,9% и

3,2% соответственно. Наблюдается уменьшение количества проводимых исследований применительно к полимеразной цепной реакции (ПЦР) на 26,4%, 15,45% и 22,2% по сравнению с предыдущими годами, что также связано со стабилизацией эпизоотической ситуации в республике. Объём ветеринарно-санитарной экспертизы (ВСЭ) в 2022 году увеличился на 12,7%, затем в 2023 году снизился на 6,0% и в 2024 году вновь увеличился на 5,6%.

Таким образом, в Республиканской ветлаборатории заметный рост отмечается при проведении бактериологических, токсикологических и паразитологических исследований, что свидетельствует о повышении внимания к биологической безопасности

и эпизоотической ситуации в целом.

Поддерживается связь ИЦ Республиканской ветлаборатории со всеми заказчиками исследований, что является важным аспектом в обеспечении биологической безопасности в животноводстве. Среди заказчиков услуг значатся крупнейшие агрохолдинги, такие как АО «Холдинговая компания «Ак Барс», АО «КВ АГРО», ООО «Союз-АГРО», ООО «Продовольственная Программа», ООО «Агросила Групп», хозяйства всех форм собственности, коллективные фермерские хозяйства (КФХ), а также контрагенты – личные подсобные хозяйства граждан муниципальных районов Республики Татарстан (на 1 января 2025 года их количество составляет 700 ед.).

Кроме того, немаловажной задачей ИЦ является расширение области аккредитации. В настоящее время в Республиканской ветлаборатории аккредитовано более 100 методов исследований. Ежегодно планируется увеличение около 10 новых аккредитованных методов. В первую очередь аккредитации охватывают лабораторные исследования по заболеваниям, представляющим особую опасность для человека и животных, а также угрожающим биологической безопасности в животноводстве. К таким заболеваниям относятся бешенство, бруцеллёз, туберкулёз, сибирская язва, лептоспироз. Также аккредитованы исследования по высокопатогенному гриппу птиц и африканской чуме свиней. В дальнейшем планируется расширение аккредитации в области лабораторных исследований трихинеллёза, туляремии, стригущего лишая, токсоплазмоза.

Одновременно ВЛК является неотъемлемой частью работы ИЦ и включает в себя:

- 1) обслуживание и калибровку лабораторного оборудования;
- 2) систематический контроль всех этапов лабораторных исследований;
- 3) оценку качества реактивов и используемых материалов;
- 4) периодическую проверку организации работы в отделах в соответствии с установленными стандартами и протоколами проведения исследований.

Реализация ВЛК способствует соблюдению высоких стандартов качества, надёжности и точности лабораторных исследований, что в свою очередь играет ключевую роль в обеспечении достоверности результатов анализа.

ИЦ осуществляет методическую помощь районным и межрайонным государственными ветеринарными лабораториям в прохождении аккредитации и периодическом прохождении компетентности этих лабораторий; проведении МСИ; входного контроля химреактивов,

стандартных образцов, тест-систем, диагностикумов и иных расходных материалов, необходимых для лабораторной деятельности; корректировку и контроль документов системы менеджмента качества; подготовку и выдачу протоколов испытаний по результатам проведенных лабораторных исследований.

Выводы. Одной из ключевых задач ветеринарии является обеспечение биологической безопасности объектов животноводства, а также гарантия качества и безопасности пищевой продукции не только в процессе производства, но и при её обороте.

ИЦ обеспечивает биологическую безопасность в животноводстве следующим образом:

1) Аккредитация лабораторий. Статус аккредитованной лаборатории подтверждает, что испытательная лаборатория выполняет работы в заявленной области, признанные уполномоченным федеральным органом. Это гарантирует качество лабораторных исследований, обеспечивающих биологическую безопасность исследуемой продукции;

2) Расширение областей аккредитации. Принимаются все необходимые меры для расширения аккредитации в исследованиях, важных для поддержания биологической безопасности;

3) Увеличение объёма лабораторных исследований. Проводится больше исследований для диагностики заболеваний, способных нарушить биологическую безопасность в животноводстве;

4) Внутрिलाбораторный контроль. Осуществляется регулярный контроль работы отделов Республиканской ветлаборатории, что обеспечивает достоверность результатов исследований;

5) Взаимосвязь с заказчиками. Для получения качественных результатов испытаний заказчики систематически информируются о требованиях к поступающим для лабораторных исследований пробам, соблюдению температурного режима, срокам доставки проб в лабораторию и другим требованиям.

Биологическая безопасность в животноводстве напрямую зависит от масштабов и уровня лабораторной деятельности, на основе которой планируются и организуются как лечебно-оздоровительные, так и профилактические мероприятия.

Таким образом, роль ИЦ Республиканской ветлаборатории в обеспечении биологической безопасности очень важна. Она заключается в надёжной защите как животных, так и людей прежде всего от заболеваний, общих для человека и животных, а также от болезней сельскохозяйственных животных, наносящих большой экономический ущерб.

Литература

1. Алексеев А. Д., Петрова О. Г. Биологическая безопасность объектов животноводства (птицеводства) учреждений Федеральной службы исполнения и наказаний на современном этапе // Пермский аграрный вестник. 2020. № 1 (29). С.101–108. <https://doi.org/10.24411/2307-2873-2020-10016>.
2. Бутко М. П. Ветеринарно-санитарные мероприятия - основа ветеринарного благополучия

животноводства и обеспечения безопасности продукции животного происхождения // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2016. № 3(19). С. 6-10. EDN WMITUX.

3. Ларионов Г. А., Ефимов А. В., Жуков А. А. Определение микробиологической безопасности молока и молочных продуктов // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5(182). С. 142-147. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-142-147>.

4. Русинович А. А., Жалдыбин В. В. Ветеринарная деятельность в обеспечении биологической безопасности // Эпизоотология, иммунология, фармакология и санитария. 2023. № 1. С. 3-7. EDN ENXQTE.

5. Комплексный подход для обеспечения биологической безопасности животноводства / К. Н. Груздев, А. Н. Чернов, А. А. Лысенко [и др.] // Ветеринария Кубани. 2017. № 1. С. 4-6. EDN ZDUIAN.

6. Овсянников А. Г., Орлова Д. А., Калюжная Т. В. Анализ мониторинга качества и безопасности мяса и мясopодуктов в рамках государственных закупок // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 2. С. 83-87. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.2.83>.

7. Организация ветеринарных лабораторных исследований в Российской Федерации / В. И. Белоусов, А. И. Груднев, Е. Г. Шубина [и др.] // Ученые записки Казанской ГАВМ. 2020. Т. 244, вып. 4. С. 43-49. EDN KMZQOD.

8. Пекуровский Д. А., Хлусова И. А., Концевая С. Ю. Государственное регулирование ветеринарных служб в Российской Федерации как отрасли АПК // Аграрная наука. 2021. № S4. С. 21-25. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-21-25>

9. Организация ветеринарного обслуживания животноводческих хозяйств в Российской Федерации / М. А. Шибаев, А. С. Оганесян, А. М. Селянин [и др.] // Ветеринария сегодня. 2023. Т. 12. № 4. С. 363-371. EDN JCKBVJ.

10. Оценка квалификации ветеринарных лабораторий по результатам межлабораторных сличительных испытаний, организованных ФГБУ «ВНИИЗЖ» в 2018-2019 гг. / А. Ю. Сухарьков, З. Б. Никонова, О. П. Бьядовская [и др.] // Ветеринария сегодня. 2020. № 1(32). С. 66-70. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-1-32-66-70>.

11. Лабораторный контроль безопасности продуктов животного происхождения и кормов в Российской Федерации / М. В. Калмыков, В. И. Белоусов, Г. В. Иванова [и др.] // Ветеринария. 2010. № 3. С. 3-6. EDN KZXJNZ.

12. Радуй Н. П., Сергеева А. А., Стародуцева И. Г. Развитие лабораторного дела на Кубани // Ветеринария Кубани. 2019. № 6. С. 24-27. EDN PSJFQN.

13. Система менеджмента промышленной безопасности и охраны труда и система информационной безопасности Испытательного центра ГБУ «Республиканская ветеринарная лаборатория» Республики Татарстан в рамках интегрированной системы менеджмента / Н. Д. Мингазов, Н. Н. Умарова, Р. Н. Исмаилова [и др.] // Ветеринарный врач. 2019. № 4. С. 59-67. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2019-4-59-67>.

14. Абдуллина З. И., Денисова Я. В. Специфика подготовки ветеринарной испытательной лаборатории к аккредитации // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21, № 3. С. 127-129. EDN XMJWST.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Трофимова Елена Николаевна* – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры организации ветеринарного дела, e-mail: alenatro@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7888-936X>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

Гараев Айрат Рашитович - директор, e-mail: ayrat.garaev@tatar.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9074-0921>

Республиканская ветеринарная лаборатория Республики Татарстан, Казань, Россия

Никитин Иван Николаевич - доктор ветеринарных наук, профессор кафедры организации ветеринарного дела, e-mail: nikitinivan1934@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3981-0882>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

ROLE OF TESTING CENTER OF THE REPUBLICAN VETERINARY LABORATORY IN ENSURING BIOLOGICAL SAFETY IN LIVESTOCK

E. N. Trofimova, A. R. Garaev, I. N. Nikitin

Abstract. The study is devoted to the analysis of Testing Center activity of Republican Veterinary Laboratory of the Republic of Tatarstan and its role in ensuring biological safety in livestock farming. Testing Center operates under the testing center regulations, in accordance with regional and federal legislation, and international standards. A systematic review of documentation, survey results of veterinary specialists and statistical analysis revealed that the testing center performs key functions: laboratory accreditation, methodological support for district veterinary laboratories, quality control of research and expansion of accreditation areas. The Testing Center consists of four specialists: a director, a deputy director, a veterinarian-metrologist and a veterinarian-quality manager. The Testing Center's main activities include organizing in-laboratory control, conducting interlaboratory comparison tests, incoming inspection of reagents and equipment, and preparing test reports. Statistics for 2021-2024 show a significant increase in bacteriological (up to 147.6%), toxicological (up to 265.8%) and parasitological (up to 406.1%) testing. Particular attention is paid to research into particularly dangerous animal diseases, such as rabies, brucellosis, tuberculosis, anthrax and African swine fever. The Testing Center has established ongoing interactions with its research clients – large agricultural holdings in the republic and private farms. This interaction contributes to increasing the reliability of the laboratory's research. The results confirm that the Testing Center's activities directly impact biological safety in animal husbandry, preventing the spread of particularly dangerous animal diseases and thereby reducing economic losses in the republic. This study has practical value for improving the organization of veterinary laboratories and developing measures to enhance the quality of veterinary services.

Key words: Republican Veterinary Laboratory, testing center, accreditation, biological safety, animals.

For citation: Trofimova E.N., Garaev A.R., Nikitin I.N. Role of testing center of the Republican Veterinary Laboratory in ensuring biological safety in livestock. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary

References

1. Alekseev AD, Petrova OG. [Biological safety of livestock (poultry) facilities of Federal Penitentiary Service at the present stage]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2020; 1 (29). 101-108 p. <https://doi.org/10.24411/2307-2873-2020-10016>.
2. Butko MP. [Veterinary and sanitary measures are the basis for veterinary well-being of livestock farming and safety of animal products]. *Rossiyskiy zhurnal Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii*. 2016; 3(19). 6-10 p. EDN WMITUX.
3. Larionov GA, Efimov AV, Zhukov AA. [Determination of microbiological safety of milk and dairy products]. *Vestnik KrasGAU*. 2022; 5(182). 142-147 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-142-147>.
4. Rusinovich AA, Zhaldybin VV. [Veterinary activities in ensuring biological safety]. *Epizootologiya, immunobiologiya, farmakologiya i sanitariya*. 2023; 1. 3-7 p. EDN ENXQTE.
5. Gruzdev KN, Chernov AN, Lysenko AA. [An integrated approach to ensuring biological safety in animal husbandry]. *Veterinariya Kubani*. 2017; 1. 4-6 p. EDN ZDUIAN.
6. Ovsyannikov AG, Orlova DA, Kalyuzhnaya TV. [Analysis of monitoring the quality and safety of meat and meat products in the framework of public procurement]. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii*. 2021; 2. 83-87 p. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.2.83>.
7. Belousov VI, Grudnev AI, Shubina EG. [Organization of veterinary laboratory research in the Russian Federation]. *Uchenye zapiski Kazanskoy GAVM*. 2020; Vol.244. issue 4. 43-49 p. EDN KMZQOD.
8. Pekurovskiy DA, Khlusova IA, Kontsevaya SYu. [State regulation of veterinary services in the Russian Federation as a branch of agro-industrial complex]. *Agrarnaya nauka*. 2021; S4. 21-25 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-21-25>.
9. Shibaev MA, Oganessian AS, Selyanin AM. [Organization of veterinary services for livestock farms in the Russian Federation]. *Veterinariya segodnya*. 2023; Vol.12. 4. 363-371 p. EDN JCKBVJ.
10. Sukharkov AYU, Nikonova ZB, Byadovskaya OP. [Assessment of qualifications of veterinary laboratories based on the results of interlaboratory comparison tests organized by All-Russian Research Institute of Animal Health in 2018-2019]. *Veterinariya segodnya*. 2020; 1(32). 66-70 p. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-1-32-66-70>.
11. Kalmykov MV, Belousov VI, Ivanova GV. [Laboratory control of animal products and feed safety in the Russian Federation]. *Veterinariya*. 2010; 3. 3-6 p. EDN KZZJHZ.
12. Radul NP, Sergeeva AA, Starodutseva IG. [Development of laboratory work in Kuban]. *Veterinariya Kubani*. 2019; 6. 24-27 p. EDN PSJFQN.
13. Mingazov ND, Umarova NN, Ismailova RN. [Industrial safety and labor protection management system and information security system of Testing Center of Republican Veterinary Laboratory of the Republic of Tatarstan within the framework of the integrated management system]. *Veterinarnyy vrach*. 2019; 4. 59-67 p. <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2019-4-59-67>.
14. Abdullina ZI, Denisova YaV. [Specifics of preparing a veterinary testing laboratory for accreditation]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2018; Vol.21. 3. 127-129 p. EDN XMJWST.

Conflict of interest

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

Authors:

Trofimova Elena Nikolaevna* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Veterinary Medicine Department, e-mail: alenatro@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7888-936X>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
 Garaev Ayrat Rashitovich - Director, e-mail: ayrat.garaev@tatar.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9074-0921>
 Republican Veterinary Laboratory of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia
 Nikitin Ivan Nikolaevich - Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Veterinary Medicine Department, e-mail: nikitinivan1934@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3981-0882>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ПОРОСЯТ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ ПО ГЕНАМ FUT1 И MUC4

А. В. Закирова, А. В. Ткачев, Е. А. Нотина, И. А. Быкова, О. Л. Ткачева

Реферат. ДНК-технологии дают возможность реализовать принципиально новые подходы в селекции животных. Прежде всего это генетическая идентификация конкретных особей с последующим генетико-популяционным анализом, обеспечивающим получение количественных характеристик генофондов исследуемых популяций. Целью исследования было установить физиологические особенности роста и развития поросят разных генотипов по генам FUT1 и MUC4 при добавлении витаминной подкормки. Исследования выполняли с 2023 по 2024 гг. В работе использовали 88 поросят крупной белой породы в период от рождения до отъема. Животные были разделены на 6 групп. Поросята в каждой группе взвешивались в первый день жизни, на 3 сутки, и затем через каждые 3 суток до возраста 21 день. Наибольшая живая масса была у поросят с генотипом AA/GG (FUT1/MUC4), потом следовали особи с генотипом AG/GC (FUT1/MUC4) кроме третьей группы, и наименьшая живая масса была у поросят с генотипом GG/CC (FUT1/MUC4). В третьей группе животных максимальная живая масса была более 5860 г у генотипа AA/GG (FUT1/MUC4), что на 352,1 г больше ($p < 0,05$) от генотипа GG/CC (FUT1/MUC4) и на 676,6 г больше ($p < 0,001$) генотипа AG/GC (FUT1/MUC4). В четвертой группе поросят максимальная живая масса была более 5710 г у генотипа AA/GG (FUT1/MUC4), что на 681,53 г больше ($p < 0,05$) от генотипа GG/CC (FUT1/MUC4) и на 153 г больше генотипа AG/GC (FUT1/MUC4). Таким образом, полученные результаты указывают на то, что генотипирование поросят по генам FUT1 и MUC4 может быть использовано не только для определения устойчивости к кишечным инфекциям, но и для прогнозирования физиологических особенностей роста и развития на ранних стадиях онтогенеза.

Ключевые слова: полиморфизм генов, кормление, подсосный период, FUT1, MUC4.

Для цитирования: Закирова А.В., Ткачев А.В., Нотина Е.А., Быкова И.А., Ткачева О.Л. Физиологические особенности роста и развития поросят разных генотипов по генам FUT1 и MUC4 // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С.90-95. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_90.

Введение. ДНК-технологии дают возможность реализовать принципиально новые подходы в селекции животных. Прежде всего это генетическая идентификация конкретных особей с последующим генетико-популяционным анализом, обеспечивающим получение количественных характеристик генофондов исследуемых популяций [1, 2].

Исследование животных по генам количественных признаков (Quantitative Trait Loci) дает возможность предсказывать хозяйственную ценность животного на уровне ДНК в раннем возрасте и даже еще до его рождения. В связи с этим крайне интересно изучить особенности роста и развития поросят при выпаивании только молозивом от родных свиноматок; выпаивании молозивом и молоком родной свиноматки в течение 21 дня на фоне внутримышечных инъекций (в срединную треть шеи) витаминного раствора «Элеовит»; и при вскармливании поросят мачехой. Высокая конечная живая масса поросят не всегда сопровождается высокой интенсивностью роста, что и может зависеть не только от генотипа, но и от технологических условий выращивания, что и требует дополнительного изучения [3, 4].

Изучение поголовья поросят по хозяйственно-полезным признакам всегда будет актуальным и важным для практического свиноводства, так как позволяет лучше понять механизмы взаимоотношений генотип-среда и предложить новые технологические подходы в выращивании животных [5, 6].

Изучение особенностей генотипа поросят по гену альфа-(1,2)-фукозилтрансферазы-1 (FUT1) может иметь значение не только для установления устойчивости к болезням [7], но и возможно связано с интенсивностью роста и развития в подсосный период.

Доказанная связь аллелей поросят по гену FUT1 с устойчивостью к колибактериозу позволила разработать различные методики экспресс-диагностики прогнозирования устойчивости поросят к инфекции. Практическое применение новых методик экспресс-диагностики может помочь вовремя элиминировать из стада животных склонных к болезням, а значит эти особи могут обладать меньшей энергией роста и развития, что и требует дополнительного изучения [8].

Энтеротоксические *E. coli*, образующие фимбрии F4 (K88) чаще всего являются теми бактериями, которые вызывают диарею и смерть новорожденных и отлученных поросят. *E. coli* с адгезивным антигеном F4 вызывают в 71% случаев диарею новорожденных поросят. Известны три антигенных варианта фимбрий F4-F4ab, F4ac и F4ad. Согласно данным анализа сцепления генов F4ab/F4ac было выявлено полное соответствие их гаплотипов гаплотипа сиалогликопротеина муцина 4 (MUC4) [9, 10].

Научно доказано, что ген муцина 4 расположен в 13-й хромосоме в 41-м регионе. И некоторые авторы предположили, что единичные мутации гена муцина 4 в позиции 1849 п.н. могут быть связаны с хозяйственно-полезными признаками у поросят [11].

Цель исследований - установить физиологические особенности роста и развития поросят разных генотипов по генам FUT1 и MUC4 при добавлении витаминной подкормки.

Условия, материалы и методы. Исследования выполняли с 2023 по 2024 годы в Московской области на свиноферме ООО «Чароен Покпанд Фудс» Луховицкого района и в КФХ деревни Кулаково городского округа Чехов. В работе использовали 88 поросят крупной белой породы в период от рождения до отъема. Животные были сгруппированы в 6 групп: 1 группа – 16 голов, 2 группа – 19 голов, 3 группа – 19 голов, 4 группа – 12 голов, 5 группа – 12 голов, 6 группа – 14 голов. Поросята в каждой группе взвешивались в первый день жизни, на 3 сутки, и затем через каждые 3 суток до возраста 21 день. В первой и во второй группах поросят выпаивали только молозивом от родных свиноматок. В третьей и четвертой группах поросята выпаивались молозивом и молоком родной свиноматки в течение 21 дня на фоне внутримышечных инъекций (в среднюю треть шеи) витаминного раствора «Элеовит» в объеме 0,5 мл один раз каждые семь дней. В пятой и шестой группах поросята были переведены к мачехе на 3 день её лактации.

В возрасте 21 дня от каждого поросенка была взята проба крови и щетины для генотипирования по генам FUT1 и MUC4. После генотипирования проводился анализ особенностей роста и развития поросят в разрезе исследуемых генов в каждой группе отдельно.

Кровь для исследования отбирали из ушной вены, используя одноразовые системы для взятия крови, одноразовой иглой в объеме 2-3 мл в стерильную пробирку с антикоагулянтом (6% раствор ЭДТА в соотношении 1:19 или 4% раствор цитрата натрия в соотношении 1:9). Закрытую пробирку с кровью несколько раз встряхивали для равномерного смешивания с антикоагулянтом. На пробирки наносили соответствующие записи для дальнейшей идентификации образцов. Пробирки транспортировали в тот же день в термоконтейнерах при температуре $5\pm 3^{\circ}\text{C}$ в лабораторию ООО НИЦ «Черкизово». В лаборатории содержимое пробирок высушивали на стерильной марлевой ткани в течение 1 суток в поле ламинарного потока воздуха. Высушенные образцы переносили в стерильные пакеты типа "Zip-lock". На пакеты наносили соответствующие записи для дальнейшей идентификации образцов.

Щетину отбирали из холки животных с помощью пинцета в стерильные пакеты типа "Zip-lock". На пакеты наносили соответствующие записи для дальнейшей идентификации образцов. Полученные образцы к моменту проведения исследований хранили в холодильнике при температуре $5\pm 3^{\circ}\text{C}$. Транспортировку осуществляли в термоконтейнерах при температуре $5\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Для выделения ДНК из биопроб с

помощью ионообменной смолы Chelex-100 [CAS: 68954-42-7 Chelex-100] готовят 5% рабочий раствор этого реагента. В мерной колбе объемом 100 мл вносят 5 г Chelex-100 и добавляют дистиллированной воды до объема 100 мл. В одноразовые полипропиленовые пробирки Eppendorf объемом 1,5 мл вносят 1000 мкл стерильной дистиллированной воды. К пробиркам добавляют пробы, объемом не более 200 мкл. Смесь инкубируют 15 минут при температуре $18-25^{\circ}\text{C}$. Пробирки центрифугируют 1 минуту на скорости 8 тысяч об/минуту. После отделения осадка осторожно удаляют надосадочную жидкость, оставляя около 20 мкл жидкости над осадком. Центрифугирование образца проводят несколько раз до полного обесцвечивания осадка. К пробиркам добавляют 180 мкл 5% стерильного водного раствора Chelex-100 и инкубируют в течение 30 минут при 56°C на термостате. Затем содержимое пробирки перемешивают и центрифугируют 1 минуту на скорости 8 тыс. об/минуту. Для амплификации используют 5 мкл надосадочной жидкости, содержащей ДНК. Раствора выделенной ДНК достаточно для проведения 20-100 амплификаций. Хранить образцы при минус 20°C в течение 6 месяцев. После каждого размораживания образцы встряхивают и центрифугируют 5 минут на скорости 6 тысяч об/минуту (Минакова Н. *Геномные технологии для животноводства* / Н. Минакова // *Наука и инновации*. 2021. № 8 (222). С. 4-8).

Последовательность праймеров:

FUT1 — F: 5/-

CCAACGCCTCCGATTCCTGT-3/,

FUT1 — R: 5/-

GTGCATGGCAGGCTGGATGA-3/.

MUC4 — F: 5/-

GTGCCTTGGGTGAGAGGTTA-3/,

MUC4 — R: 5/-

CACTCTGCCGTTCTCTTTCC-3/.

Математико-статистические расчеты результатов физиологических показателей роста и развития поросят осуществляли по критерию Стьюдента в SPSS for Windows (IBM, USA).

Результаты и обсуждение. Изучение физиологических особенностей роста и развития поросят удобнее всего охарактеризовать изучением динамики живой массы в процессе выращивания. Поэтому в первую очередь мы провели анализ динамики живой массы поросят только в разрезе групп без учета их генотипа по генам FUT1 и MUC4. Полученные результаты представлены на рисунке.

Анализ данных рисунка мы начнем с оценки интенсивности роста поросят в группах. За 21 день выращивания наиболее интенсивно росли поросята второй группы, так как их живая масса увеличилась в 4,52 раза. Затем следовала шестая группа поросят, масса которых с рождения до 21 суток увеличилась в 4,4 раза. В четвертой группе масса поросят

увеличилась в 4,27 раз к завершению периода наблюдения с момента рождения.

В третьей группе поросят их живая масса увеличилась в 3,98 раза.

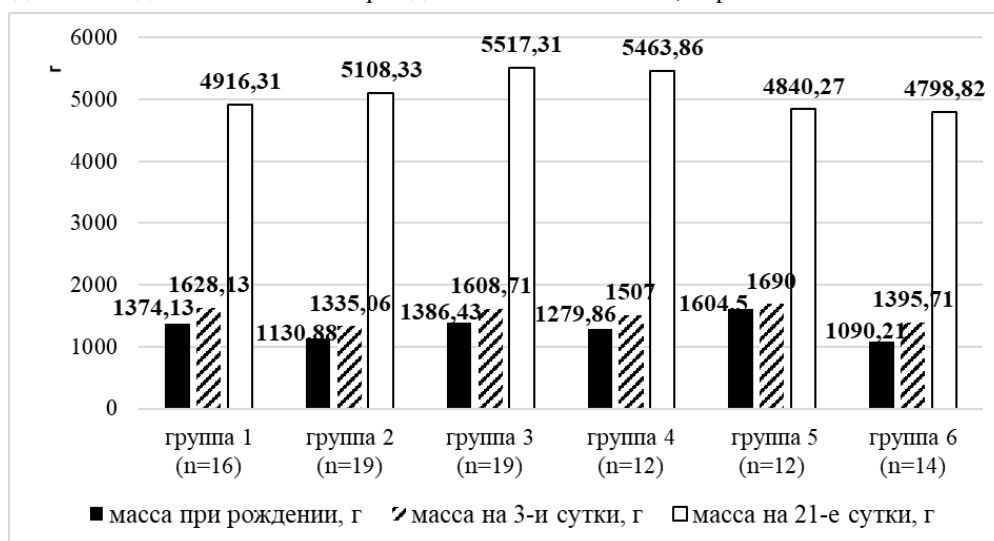


Рисунок - Динамика живой массы поросят без учета особенностей их генотипа

Средняя живая масса поросят первой группы увеличилась в 3,58 раза. Наименьшая интенсивность роста наблюдалась нами в пятой группе животных, так как их живая масса увеличилась за 21 день только в 3,02 раза. Получается, что максимальная интенсивность роста поросят в группах животных не сопровождалась максимальной живой массой в группах на момент завершения эксперимента.

Максимальная живая масса поросят на 21 сутки выращивания наблюдалась нами в третьей группе, которая занимала лишь 4 место по интенсивности роста, и составила 5517 г, что на 53,45 г больше поросят четвертой группы (3 место по интенсивности роста).

Третья группа поросят превосходила живую массу второй группы на 409 г, у которой была наилучшая интенсивности роста. Максимальная живая масса поросят третьей группы была больше шестой группы (у которой была 2-я интенсивность роста) животных на 718,5 г ($p < 0,05$). Поросята первой и пятой групп также уступали ($p < 0,05$) животным третьей группы по показателю максимальной живой массы на 601 и 677 г соответственно.

На следующем этапе нашего исследования изучались физиологические особенности изменений в живой массе поросят в зависимости от генотипа по генам FUT1 и MUC4 (табл.).

Таблица - Физиологические особенности живой массы поросят разных генотипов по генам FUT1 и MUC4

Показатель	Группа					
	1			2		
Генотип по FUT1	GG	AA	AG	GG	AA	AG
Генотип по MUC4	CC	GG	GC	CC	GG	GC
Живая масса при рождении, г	1404,38 ±52,54	1297,6 ±53,68	1421,0 ±5,7	1059,5 ±19,5***	1228,8 ±37,7	1081,75 ±37,9***
Живая масса на 3 сутки, г	1608,0 ±59,9	1546,4 ±69,03	1818,0 ±46,61	1559,0 ±31,0	1299,2 ±85,3*	1316,9 ±48,02***
Живая масса на 9 сутки, г	2245,25 ±119,9	2364,2 ±126,59	2332,7 ±106,73	2749,0 ±322,0**	2617,2 ±87,1*	2782,5 ±81,9**
Живая масса на 21 сутки, г	4724,25 ±44,92	5196,2 ±59,68	4962,0 ±17,62	4918,5 ±24,5*	5293,8 ±51,1	5039,9 ±32,39
Показатель	Группа					
	3			4		
Генотип по FUT1	GG	AA	AG	GG	AA	AG
Генотип по MUC4	CC	GG	GC	CC	GG	GC
Живая масса при рождении, г	1306,0 ±63,49	1522,25 ±103,4	1311,5 ±70,4	1306,5 ±36,06	1254,8 ±38,89**	1298,0 ±29,3
Живая масса на 3 сутки, г	1593,2 ±74,22	1626,0 ±94,35	1575,3 ±104,32	1525,67 ±76,11	1534,0 ±77,05	1539,5 ±127,41
Живая масса на 9 сутки, г	2850,2 ±135,7	2821,5 ±61,9	2812,75 ±105,44	2756,17 ±66,45	2811,2 ±137,99	2795,0 ±200,74
Живая масса на 21 сутки, г	5508,2 ±32,34	5860,3 ±55,6	5185,7 ±83,37	5034,67 ±98,15***	5716,2 ±111,3	5563,2 ±125,18**

Показатель	Группа					
	5			6		
Генотип по FUT1	GG	AA	AG	GG	AA	AG
Генотип по MUC4	CC	GG	GC	CC	GG	GC
Живая масса при рождении, г	1645,0 ±175,0	1575,33 ±48,67	1698,17 ±107,66	1043,5 ±144,5***	1012,67 ±9,39***	1132,0 ±45,68***
Живая масса на 3 сутки, г	1683,5 ±79,5	1699,67 ±54,91	1708,33 ±134,31	1491,5 ±18,5*	1375,0 ±56,71*	1342,83 ±63,42*
Живая масса на 9 сутки, г	2381,5 ±97,5	2497,6 ±205,96	2304,5 ±83,61	2317,0 ±120,0	2180,0 ±73,7*	2242,33 ±24,03
Живая масса на 21 сутки, г	4488,5 ±12,5	5131,0 ±126,51	4812,17 ±21,12	4642,5 ±48,5*	4934,33 ±14,68	4783,17 ±25,02

Примечание: * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$, 2-я группа в сравнении с 1-й, 4-я группа в сравнении с 3-й, 6-я группа в сравнении с 5-й группой.

Анализ данных таблицы позволяет заключить, что даже при одинаковом генотипе по генам FUT1 и MUC4 живая масса поросят имела достоверные различия как при рождении, так и в процессе выращивания.

Таким образом, полученные данные прямо указывают на факт того, что условия кормления поросят до отъема существенно сказывались на интенсивности роста особей с одинаковыми аллелями по генам FUT1 и MUC4.

После проведения анализа физиологических особенностей динамики изменения живой массы поросят в зависимости от аллелей по генам FUT1 и MUC4 выяснилось, что наибольшая живая масса была у поросят с генотипом AA/GG (FUT1/MUC4). Второе место занимали особи поросят с генотипом AG/GC (FUT1/MUC4) кроме третьей группы. Наименьшую живую массу в нашем исследовании мы установили у поросят с генотипом GG/CC (FUT1/MUC4). В третьей группе животных, которой добавляли инъекции препарата «Элеовит», максимальная живая масса была более 5860 г у генотипа AA/GG (FUT1/MUC4), что на 352,1 г больше ($p < 0,05$) от генотипа GG/CC (FUT1/MUC4) и на 676,6 г больше ($p < 0,001$) генотипа AG/GC (FUT1/MUC4). В четвертой группе поросят, которой добавляли инъекции препарата «Элеовит», максимальная живая масса была более 5710 г у генотипа AA/GG (FUT1/MUC4), что на 681,53 г больше ($p < 0,05$) от генотипа GG/CC (FUT1/MUC4) и на 153 г больше генотипа AG/GC (FUT1/MUC4). В пятой и шестой группе поросят, которых на третий день перевели к

мачехе, максимальная живая масса на 21 сутки выращивания была 5131 и 4934 г соответственно у генотипов AA/GG (FUT1/MUC4).

Таким образом, нами показаны функциональные особенности влияния условий кормления поросят крупной белой породы разных генотипов по генам FUT1 и MUC4 как на конечную живую массу, так и на интенсивность роста животных в подсосный период. Более высокая интенсивность роста и развития может наблюдаться у групп поросят с меньшей живой массой на момент отъема и с меньшей живой массой на момент рождения.

Выводы. Установлены физиологические особенности интенсивности роста и развития поросят разных генотипов по генам FUT1 и MUC4. После проведения анализа физиологических особенностей динамики изменения живой массы поросят в зависимости от аллелей по генам FUT1 и MUC4 выяснилось, что наибольшая живая масса была у поросят с генотипом AA/GG (FUT1/MUC4), потом следовали особи с генотипом AG/GC (FUT1/MUC4) кроме третьей группы, и наименьшая живая масса была у поросят с генотипом GG/CC (FUT1/MUC4).

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что генотипирование поросят по генам FUT1 и MUC4 может быть использовано не только для определения устойчивости к кишечным инфекциям, но и для прогнозирования физиологических особенностей роста и развития на ранних стадиях онтогенеза.

Литература

1. Генетический мониторинг продуктивных качеств свиней крупной белой породы по результатам иммуногенетического анализа ООО «Велес-Крым», Республика Крым / А. А. Новиков, М. С. Семак, А. М. Крыжко, А. Т. Мысик // Зоотехния. 2024. № 1. С. 12-14. <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.51.47.004>. EDN BWRRBI.
2. Шейко Р., Казаровцев И. Гены RYR1, ESR и H-FABP в селекции свиней // Животноводство России. 2021. № 2. С. 35-37. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.61.63.018>. EDN EEKTYS.
3. Идентификация генов резистентности в рамках ветеринарного мониторинга / О. В. Прасолова, Е. В. Крылова, И. В. Солтынская [и др.] // Международный вестник ветеринарии. 2023. № 2. С. 77-85. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.2.77>. EDN RLYPCS.
4. Оценка продуктивных качеств свиней пород йоркшир и ландрас по генам PRKAG3, MC4R и MY-OD1 / А. А. Бальников, И. Ф. Гридюшко, Ю. С. Казутова [и др.] // Генетика и разведение животных. 2021. № 2. С. 28-35. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-2-28-35>. EDN YVAQQX.
5. Методика отбора проб ДНК свиней для генотипирования / Р. М. Зайнуллин, А. И. Рудь, А. С. Кокорев

- [и др.] // Свиноводство. 2023. № 2. С. 8-12. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2023-2-8-12>. EDN IEVYXB.
6. Современное состояние исследований экспрессии генов *in situ* в тканях животных / М. В. Бытов, В. Д. Зубарева, С. В. Вольская [и др.] // Генетика. 2024. Т. 60. № 1. С. 3-15. <https://doi.org/10.31857/S0016675824010011>. EDN KFBWXA.
7. Седова Ю. Г. В РФ проводится апробация разработанных отечественными учеными технологий геномной селекции - новой стратегии генетического совершенствования свиней // Аграрная наука. 2021. № S4. С. 96-97. EDN PNRPW.
8. Новиков А. А., Семак М. С., Калашникова Л. А. Необходимость совершенствования системы генетической экспертизы племенной продукции в Российской Федерации // Зоотехния. 2021. № 6. С. 2-6. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.17.85.001>. EDN MQDMGM.
9. Влияние гена TMEM132D на воспроизводительные качества свиноматок / Е. А. Романец, Т. С. Романец, А. А. Алексеев, Л. В. Гетманцева // Свиноводство. 2024. № 1. С. 28-30. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2024-1-28-30>. EDN QRLMCM.
10. Локусы панели генотипирования секвенированием по технологии AgriSeq в породе маньчжурский меринос / А. Ю. Криворучко, А. А. Лиховид, А. А. Каниболоцкая [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 5. С. 849-857. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.849-857>. EDN BRBSGG.
11. Анализ взаимосвязи показателей продуктивности и качества мяса гибридов свиней (ДхЛхКБ) / Р. В. Некрасов, Ю. А. Прытков, Н. В. Боголюбова [и др.] // Свиноводство. 2023. № 4. С. 33-37. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2023-4-33-37>. EDN UUJWVK.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Закирова Алсу Винировна - аспирант департамента ветеринарной медицины, e-mail: zakirova-alsu-01@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0003-4682-630X>.

Ткачев Александр Владимирович* - доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, доцент департамента ветеринарной медицины, профессор кафедры пожарной и техносферной безопасности, e-mail: sasha_sashaola@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-5742>

Российский государственный аграрный университет-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

ФГБОУ ВО МГУТУ им К.Г. Разумовского

Нотина Елена Александровна - кандидат филологических наук, заведующий кафедрой иностранных языков, e-mail: notina-ea@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1283-8834>

Быкова Ирина Александровна - кандидат филологических наук, профессор кафедры иностранных языков, e-mail: bykova-ia@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5653-3899>

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Ткачева Ольга Леонидовна - кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель Технологического колледжа, e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5573-6117>

Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF PIGLETS OF DIFFERENT GENOTYPES FOR FUT1 AND MUC4 GENES

A. V. Zakirova, A. V. Tkachev, E. A. Notina, I. A. Bykova, O. L. Tkacheva

Abstract. DNA technologies make it possible to implement fundamentally new approaches in animal breeding. First of all, this is the genetic identification of specific individuals with subsequent genetic-population analysis, which provides quantitative characteristics of gene pools of the studied populations. The aim of the study was to establish the physiological characteristics of growth and development of piglets of different genotypes for FUT1 and MUC4 genes with the addition of vitamin supplements. The study was carried out from 2023 to 2024. The work involved 88 piglets of large white breed from birth to weaning. The animals were divided into 6 groups. The piglets in each group were weighed on the first day of life, on the 3rd day, and then every 3 days until the age of 21 days. The highest live weight was in piglets with AA/GG (FUT1/MUC4) genotype, followed by individuals with AG/GC (FUT1/MUC4) genotype except for the third group, and the lowest live weight was in piglets with GG/CC (FUT1/MUC4) genotype. In the third group of animals, the maximum live weight was more than 5860 g in AA/GG (FUT1/MUC4) genotype, which is 352.1 g more ($p < 0.05$) than GG/CC (FUT1/MUC4) genotype and 676.6 g more ($p < 0.001$) than AG/GC (FUT1/MUC4) genotype. In the fourth group of piglets, the maximum live weight was more than 5710 g for AA/GG (FUT1/MUC4) genotype, which is 681.53 g more ($p < 0.05$) than GG/CC (FUT1/MUC4) genotype and 153 g more than AG/GC (FUT1/MUC4) genotype. Thus, the obtained results indicate that genotyping of piglets for FUT1 and MUC4 genes can be used not only to determine resistance to intestinal infections, but also to predict the physiological characteristics of growth and development in the early stages of ontogenesis.

Key words: gene polymorphism, feeding, suckling period, FUT1, MUC4.

For citation: Zakirova A.V., Tkachev A.V., Notina E.A., Bykova I.A., Tkacheva O.L. Physiological characteristics of growth and development of piglets of different genotypes for FUT1 and MUC4 genes. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 90-95 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_90.

References

- Novikov AA, Semak MS, Kryzhko AM, Mysik AT. [Genetic monitoring of productive qualities of large white pigs based on the results of immunogenetic analysis of Veles-Crimea LLC, Republic of Crimea]. *Zootekhnika*. 2024; 1. 12-14 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.51.47.004>. EDN BWRRBI.
- Sheyko R, Kazarovets I. [RYR1, ESR and H-FABP genes in pig breeding]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2021; 2. 35-37 p. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.61.63.018>. EDN EEKTY.
- Prasolova OV, Krylova EV, Soltynskaya IV. [Identification of resistance genes in the framework of veterinary monitoring]. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii*. 2023; 2. 77-85 p. <https://doi.org/10.52419/issn2072->

2419.2023.2.77. EDN RLYPCS.

4. Balnikov AA, Gridyushko IF, Kazutova YuS. [Assessment of productive qualities of Yorkshire and Landrace pigs by the PRKAG3, MC4R and MYOD1 genes]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2021; 2. 28-35 p. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-2-28-35>. EDN YVAQXQ.

5. Zaynullin RM, Rud AI, Kokorev AS. [Methodology for sampling pig DNA samples for genotyping]. *Svinovodstvo*. 2023; 2. 8-12 p. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2023-2-8-12>. EDN IEYXBX.

6. Bytov MV, Zubareva VD, Volskaya SV. [Current state of in situ gene expression studies in animal tissues]. *Genetika*. 2024; Vol.60. 1. 3-15 p. <https://doi.org/10.31857/S0016675824010011>. EDN KFBWXA.

7. Sedova YuG. [In the Russian Federation the technologies of genomic breeding, developed by domestic scientists, are being tested - a new strategy for the genetic improvement of pigs]. *Agrarnaya nauka*. 2021; S4. 96-97 p. EDN PNRPWR.

8. Novikov AA, Semak MS, Kalashnikova LA. [The need to improve the system of genetic examination of breeding products in the Russian Federation]. *Zootekhnika*. 2021; 6. 2-6 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.17.85.001>. EDN MQDMGM.

9. Romanets EA, Romanets TS, Alekseev AA, Getmantseva LV. [The influence of TMEM132D gene on the reproductive qualities of sows]. *Svinovodstvo*. 2024; 1. 28-30 p. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2024-1-28-30>. EDN QRLMCM.

10. Krivoruchko AY, Likhovid AA, Kanibolotskaya AA. [Loci of the genotyping panel by AgriSeq sequencing technology in Manyh Merino breed]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023; Vol.24. 5. 849-857 p. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.849-857>. EDN BRBSGG.

11. Nekrasov RV, Prytkov YuA, Bogolyubova NV. [Analysis of the relationship between productivity indicators and meat quality of pig hybrids (DxLxKB)]. *Svinovodstvo*. 2023; 4. 33-37 p. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2023-4-33-37>. EDN UUJUWK.

Conflict of interest

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

Authors:

Zakirova Alsu Vinirovna – post-graduate student of Veterinary Medicine Department, e-mail: zakirova-alsu-01@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0003-4682-630X>.

Tkachev Aleksandr Vladimirovich* – Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher, Associate Professor of Veterinary Medicine Department, Professor of Fire and Technosphere Safety Department, e-mail: sasha_sashaola@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-5742>

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

Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky

Notina Elena Aleksandrovna – Ph.D. of Philological Sciences, Head of Foreign Languages Department, e-mail: notina-ea@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1283-8834>

Bykova Irina Aleksandrovna – Ph.D. of Philological Sciences, Professor of Foreign Languages Department, e-mail: bykova-ia@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5653-3899>

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Tkacheva Olga Leonidovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, lecturer of Technological College, e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5573-6117>

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

СОСТАВ МОЛОКА КОРОВ ДЖЕРСЕЙСКОЙ ПОРОДЫ С РАЗНЫМ ГЕНОТИПОМ ЛОКУСОВ ГЕНОВ СОМАТОТРОПИНОВОГО КАСКАДА

Д. В. Зарубежнова, Р. Р. Шайдуллин, С. В. Тюлькин, Ф. Ф. Зиннатов, А. В. Власов

Реферат. В статье представлены результаты исследования влияния полиморфизма генов соматотропинового каскада (PRL, PIT1, GH) на физико-химические показатели молока коров джерсейской породы, с целью выявления генотипов, ассоциированных с улучшенными качественными характеристиками молока. Аллельные варианты генов PRL, PIT1, GH определены методом полимеразной цепной реакции с последующим определением полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ). Результаты исследования демонстрируют, что полиморфизм гена пролактина оказывает наиболее выраженное влияние на качественные показатели молока. В частности, коровы с генотипами PRL AB и BB характеризуются достоверно более высоким содержанием сухого вещества (16,16% и 16,22% против 15,82% у AA), жира (6,27% и 6,24% против 6,07% у AA), белка и лактозы, а также повышенной энергетической ценностью молока (95,1 и 95,2 ккал против 92,7 ккал у AA). Относительно гена гипофизарного фактора транскрипции установлено, что коровы с генотипом PIT1 AB имеют преимущество по содержанию сухого вещества (16,23%), СОМО (10,55%), белка (3,99%) и лактозы (5,20%), в то время как наивысшее содержание жира (6,35%) обнаружено у животных с генотипом PIT1 AA. Животные с генотипом GH LL демонстрируют более высокое содержание сухого вещества (15,46%) и энергетическую ценность молока (95,6 ккал) по сравнению с коровами генотипов GH LV и GH VV. Исследование подтверждает перспективность использования полиморфизма генов соматотропинового каскада в качестве генетических маркеров для селекционной работы, направленной на повышение качественных показателей молока коров джерсейской породы.

Ключевые слова: молоко, химический состав, коровы, джерсейская порода, PRL, GH, PIT1, генетические маркеры.

Для цитирования: Зарубежнова Д.В., Шайдуллин Р.Р., Тюлькин С.В., Зиннатов Ф.Ф., Власов А.В. Состав молока коров джерсейской породы с разным генотипом локусов генов соматотропинового каскада // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 96-101. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_96.

Введение. Повышение качественных показателей молока является одним из приоритетных направлений селекции в молочном скотоводстве. Джерсейская порода известна высоким содержанием жира и белка в молоке, что особенно ценно для производства молочных продуктов с высокой добавленной стоимостью. Однако, даже внутри породы существуют значительные индивидуальные различия по составу молока, обусловленные генетическими факторами.

По данным некоторых ученых у джерсейской породы выявлены специфические хромосомные маркеры, позволяющие идентифицировать ее генетическую принадлежность при цитогенетическом анализе. Особый интерес представляют генетические детерминанты, определяющие уникальный состав молока джерсейских коров. выявили несколько ключевых генов, контролирующих биосинтез молочного жира у джерсейской породы [1, 2].

В гене PRL крупного рогатого скота идентифицировано несколько полиморфных сайтов, ассоциированных с показателями молочной продуктивности. Во многих исследованиях показана связь генотипов гена PRL у крупного рогатого скота с параметрами молочной продуктивности [3, 4, 5]. В частности, в исследованиях И. Ю. Долматовой и соавт. (2020) выявлена статистически значимую ассоциацию генотипа BB с повышенным содержанием жира в молоке на 0,32% выше по сравнению с генотипом AB и на 0,57% выше по сравнению с генотипом AA [6].

Исследованиями многих авторов было установлено, что в гене GH крупного рогатого скота идентифицировано несколько полиморфных сайтов, ассоциированных с показателями молочной продуктивности [7, 8, 9]. Так, лучшим уровнем продуктивности характеризуются черно-пестрые коровы с генотипом GH LL, но при этом наибольшая жирномолочность характерна коровам с генотипом GH VV 3,82-3,83%, а лучшая белкомолочность - животным, имеющим аллель V (3,21-3,23%) [10].

В гене PIT-1 крупного рогатого скота идентифицировано несколько полиморфных сайтов, ассоциированных с показателями молочной продуктивности. Наиболее изученным является полиморфизм A→G в 6-м экзоне (rs109230623), детектируемый эндонуклеазой HinfI [11, 12, 13]. При этом коровы голштинской породы с генотипом AA характеризуются более высоким удоем за 305 дней лактации (на 5,2% выше по сравнению с генотипом AA, $p < 0,05$), а так же превосходят особей с генотипами AB и BB по содержанию жира и белка в молоке [14].

Таким образом, установление влияния полиморфизма генов соматотропинового каскада на показатели молочной продуктивности коров является актуальным вопросом.

Цель исследования - изучить влияние полиморфизма генов соматотропинового каскада (GH, PRL, PIT1) на физико-химические показатели молока коров джерсейской породы для выявления генотипов, ассоциированных с

повышенными качественными характеристиками молока.

Условия, материалы и методы. Исследование проводилось на поголовье коров-первотелок джерсейской породы в условиях ООО имени Тимирязева Балтасинского района Республики Татарстан. Животные содержались в одинаковых условиях кормления и содержания для исключения влияния паратипических факторов на изучаемые показатели.

Для генотипирования животных по генам PRL, PIT1 и GH использовался метод ПЦР-ПДРФ. ДНК выделяли из крови животных с использованием стандартных коммерческих наборов согласно инструкции производителя. Для амплификации фрагментов исследуемых генов использовали специфические праймеры.

Для проведения исследований были отобраны однотипные первотелки с учетом месяца лактации и уровня продуктивности, у которых были исследован состав и свойства молока на 2-3 месяце лактации, в зависимости от их генотипа:

- по гену PRL - 26 голов (генотипы AA, AB, BB);
- по гену PIT1 - 27 голов (генотипы AA, AB, BB);
- по гену GH - 30 голов (генотипы LL, LV, VV).

ВВ).

Физико-химические показатели молока проводились по стандартным методикам с применением современного сертифицированного оборудования.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью t-критерия Стьюдента. Различия считались достоверными при уровнях значимости $p < 0,05$, $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования влияния полиморфизма гена PRL на физико-химические показатели молока представлены в таблице 1. Из полученных данных видно, что животные с генотипами AB и BB превосходят аналогов с генотипом AA по большинству изученных показателей. Так, содержание сухого вещества в молоке коров с генотипами AB и BB было высоко достоверно ($p < 0,01$) выше, чем у коров с генотипом AA на 0,34% и 0,40%, и составило соответственно $16,16 \pm 0,06\%$ и $16,22 \pm 0,04\%$ против $15,82 \pm 0,06\%$. Аналогичная тенденция наблюдалась по содержанию СОМО: у коров с генотипом BB этот показатель составил $10,43 \pm 0,03\%$, что достоверно ($p < 0,01$) выше, чем у животных с генотипом AA на 0,36%.

Таблица 1 - Физико-химические показатели молока коров джерсейской породы с разным генотипом PRL

Показатели	Генотип PRL		
	AA	AB	BB
Голов	10	10	6
Сухое вещество, %	$15,82 \pm 0,06$	$16,16 \pm 0,06^{***}$	$16,22 \pm 0,04^{***}$
СОМО, %	$10,07 \pm 0,10$	$10,26 \pm 0,10$	$10,43 \pm 0,03^{**}$
Жир, %	$6,07 \pm 0,04$	$6,27 \pm 0,04^{**}$	$6,24 \pm 0,03^{**}$
Белок, %	$3,89 \pm 0,02$	$3,94 \pm 0,02$	$3,99 \pm 0,03^{**}$
Казеин, %	$2,73 \pm 0,02$	$2,75 \pm 0,02$	$2,76 \pm 0,02$
Лактоза, %	$5,05 \pm 0,03$	$5,14 \pm 0,02^*$	$5,19 \pm 0,02^{**}$
Зола, %	$0,81 \pm 0,01$	$0,81 \pm 0,01$	$0,82 \pm 0,01$
Энергетическая ценность 100 г молока, ккал	$92,7 \pm 0,37$	$95,1 \pm 0,44^{***}$	$95,2 \pm 0,29^{***}$
Плотность, кг/м ³	$1031,2 \pm 0,39$	$1031,8 \pm 0,39$	$1032,6 \pm 0,42^*$
Кислотность, °Т	$17,8 \pm 0,29$	$17,6 \pm 0,27$	$18,0 \pm 0,26$

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$ (между минимальным и максимальным значением)

Особенно заметные различия отмечены по массовой доли молочного жира. У коров с генотипом AB содержание жира составило $6,27 \pm 0,04\%$, что на 0,2% выше ($p < 0,01$), чем у коров с генотипом AA ($6,07 \pm 0,04\%$). У животных с генотипом BB жирность молока также была достоверно выше на 0,17% ($p < 0,01$) и составила $6,24 \pm 0,03\%$.

Содержание белка в молоке коров с генотипом BB ($3,99 \pm 0,03\%$) достоверно превышало ($p < 0,01$) аналогичный показатель у животных с генотипом AA. По содержанию казеина достоверных различий не выявлено, хотя наблюдалась тенденция к более высоким значениям у коров с генотипами AB и BB.

Содержание лактозы было достоверно

выше в молоке коров с генотипами AB ($5,14 \pm 0,02\%$; $p < 0,05$) и BB ($5,19 \pm 0,02\%$; $p < 0,01$) по сравнению с животными генотипа AA ($5,05 \pm 0,03\%$). По содержанию золы достоверных различий не установлено, при том, что более высокий показатель отмечен в группе PRL BB (0,82%).

Энергетическая ценность молока коров с генотипами AB и BB составила $95,1 \pm 0,44$ ккал и $95,2 \pm 0,29$ ккал соответственно, что достоверно выше ($p < 0,001$), чем у коров с генотипом AA на 2,4-2,5 ккал.

Плотность молока у коров с генотипом BB составила $1032,6 \pm 0,42$ кг/м³, что достоверно выше на 1,4 кг/м³ ($p < 0,05$), чем у животных с генотипом AA. По кислотности молока

достоверных различий между группами не выявлено.

Пролактин является ключевым гормоном, регулирующим лактацию у млекопитающих. Полиморфизм гена PRL может влиять на структуру и функциональную активность соответствующего гормона, что в свою очередь отражается на процессах синтеза компонентов молока [15].

В таблице 2 представлены физико-химические показатели молока коров с разными генотипами PIT1. Анализ данных показал, что, хотя статистически достоверных различий по многим показателям не выявлено, прослеживаются определенные тенденции, указывающие на влияние полиморфизма данного гена на качественные характеристики молока.

Таблица 2 - Физико-химические показатели молока коров джерсейской породы с разным генотипом PIT1

Показатели	Генотип PIT1		
	AA	AB	BB
Голов	7	10	10
Сухое вещество, %	15,97±0,09	16,23±0,11	15,99±0,07
СОМО, %	9,98±0,15	10,55±0,15*	10,23±0,13
Жир, %	6,35±0,03*** и ***	6,23±0,03	6,12±0,05
Белок, %	3,79±0,04	3,99±0,06**	3,89±0,04
Казеин, %	2,67±0,04	2,78±0,04	2,74±0,03
Лактоза, %	5,02±0,06	5,20±0,06*	5,17±0,04*
Зола, %	0,81±0,01	0,81±0,01	0,81±0,01
Энергетическая ценность 100 г молока, ккал	94,7±0,49	95,2±0,50*	93,6±0,46
Плотность, кг/м ³	1030,6±0,57	1032,2±0,61	1031,4±0,52
Кислотность, °T	17,9±0,34	17,3±0,26	17,5±0,27

Примечание: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$ (между минимальным и максимальным значением)

Содержание белка в молоке коров с генотипом AB (3,99±0,06%) было достоверно выше ($p < 0,01$) по сравнению с животными с генотипом AA на 0,20%. По содержанию казеина существенных различий не выявлено, хотя наблюдалась тенденция к более высоким значениям у коров с генотипом AB.

Содержание лактозы в молоке коров с генотипами AB (5,20±0,06%) и BB (5,17±0,04%) было достоверно выше ($p < 0,05$) по сравнению с животными с генотипом AA на 0,03-0,18%.

Энергетическая ценность молока коров с генотипом AB (95,2±0,50 ккал) также была достоверно выше ($p < 0,05$) по сравнению с животными с генотипом BB (93,6±0,46 ккал).

По плотности и кислотности молока существенных различий между группами не выявлено.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что коровы джерсейской породы с генотипом PIT1 AB характеризуются более высокими качественными показателями молока, за исключением содержания жира, по сравнению с животными других генотипов. Эти данные согласуются с исследованиями R.M. Shah et al. (2021), в которых также отмечено влияние полиморфизма гена PIT1 на качественные

Содержание сухого вещества в молоке коров с генотипом AB составило 16,23±0,11%, что выше по сравнению с животными с генотипами AA (15,97±0,09%) и BB (15,99±0,07%).

По содержанию СОМО выявлены статистически достоверные различия: у коров с генотипом AB этот показатель составил 10,55±0,15%, что достоверно выше ($p < 0,05$) по сравнению с животными с генотипом AA (9,98±0,15%).

Интересно отметить, что по содержанию жира наблюдалась противоположная тенденция: наибольшие значения были у коров с генотипом AA (6,35±0,03%), что достоверно выше ($p < 0,01$) по сравнению с животными с генотипом BB (6,12±0,05%).

показатели молока [16].

Но наибольшее значение массовой доли жира отмечено у коров с генотипом AA, а наименьшее – у коров с генотипом BB. Это может свидетельствовать о сложном характере влияния гена PIT1 на различные компоненты молока.

Результаты влияния полиморфизма гена GH на физико-химические показатели молока представлены в таблице 3. Анализ данных показал, что по большинству изученных показателей коровы с генотипом LL имеют преимущество перед животными с генотипами LV и VV, хотя по многим параметрам различия не достигают уровня статистической достоверности.

Содержание сухого вещества в молоке коров с генотипом LL (15,46±0,10%) было достоверно выше ($p < 0,05$) по сравнению с животными с генотипом LV (15,17±0,08%).

По содержанию СОМО, жира, белка и казеина статистически достоверных различий не выявлено, хотя наблюдалась тенденция к более высоким значениям у коров с генотипом LL.

Таблица 3 - Физико-химические показатели молока коров джерсейской породы с разным генотипом GH

Показатели	Генотип GH		
	LL	LV	VV
Голов	10	10	10
Сухое вещество, %	15,46±0,10*	15,17±0,08	15,22±0,08
СОМО, %	10,39±0,12	10,01±0,16	10,16±0,12
Жир, %	6,28±0,06	6,14±0,05	6,13±0,05
Белок, %	3,99±0,04	3,90±0,02	3,91±0,05
Казеин, %	2,80±0,04	2,73±0,04	2,75±0,03
Лактоза, %	5,19±0,02	5,13±0,03	5,17±0,03
Зола, %	0,81±0,01	0,82±0,01	0,82±0,01
Энергетическая ценность 100 г молока, ккал	95,6±0,65*	93,7±0,56	93,8±0,61
Плотность, кг/м ³	1032,3±0,47	1030,9±0,64	1031,5±0,50
Кислотность, °Т	17,2±0,25	17,6±0,27	17,6±0,26

Примечание: * - $p < 0,05$ (между минимальным и максимальным значением)

Энергетическая ценность молока коров с генотипом LL (95,6±0,65 ккал) была достоверно выше ($p < 0,05$) по сравнению с животными с генотипами LV на 1,9 ккал и VV – на 1,8 ккал.

По плотности и кислотности молока существенных различий между группами не выявлено.

Таким образом, коровы джерсейской породы с генотипом GH LL характеризуются более высокими качественными показателями молока по сравнению с животными других генотипов. Эти результаты согласуются с данными других исследователей [17], отмечавших положительное влияние аллеля L гена GH на качественные характеристики молока. Данный эффект может быть связан с тем, что аллель L обеспечивает более эффективную биологическую активность гормона роста, что приводит к усилению синтеза компонентов молока.

Выводы. Проведенные исследования позволили выявить влияние полиморфизма генов соматотропинового каскада (PRL, PIT1, GH) на физико-химические показатели молока коров джерсейской породы.

Наиболее выраженное влияние на качественные показатели молока оказывает полиморфизм гена пролактина. Коровы с генотипами PRL AB и PRL BB характеризуются достоверно более высоким содержанием сухого вещества, жира, белка и лактозы в молоке, а

также повышенной энергетической ценностью и плотностью по сравнению с животными с генотипом AA.

По гену гипофизарного фактора транскрипции коровы с генотипом AB имеют преимущество по содержанию сухого вещества, СОМО, белка и лактозы в молоке, в то время как по содержанию жира наилучшие показатели демонстрируют животные с генотипом PIT1 AA.

Полиморфизм гена гормона роста также оказывает влияние на физико-химические показатели молока: коровы с генотипом GH LL характеризуются более высоким содержанием сухого вещества и энергетической ценностью молока по сравнению с животными с генотипами GH LV и GH VV.

Результаты исследования свидетельствуют о перспективности использования полиморфизма генов соматотропинового каскада в качестве генетических маркеров для селекционной работы, направленной на повышение качественных показателей молока коров джерсейской породы.

Для повышения эффективности селекционной работы, направленной на улучшение качественных показателей молока коров джерсейской породы, рекомендуется отбирать животных с предпочтительными генотипами по генам соматотропинового каскада: PRL AB и BB, PIT1 AB, GH LL.

Литература

1. Сравнительная генетическая характеристика микросателлитного профиля коров джерсейской и голштинской пород, разводимых в условиях Республики Татарстан / Ф. Ф. Зиннатов, М. М. Хисматуллин, И. Ю. Гилемханов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Т. 261. № 1. С. 121-129. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_261_121.
2. Юхина Д. Э., Захарова О. А. Сравнительная оценка продуктивности джерсейских коров разных линий // Зоотехния. 2023. № 7. С. 10-13. <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.11.88.003>.
3. Akkaya M., Akyüz B. Türkiye’de Yetiştirilen Holştayn Irkı Sığırlarda GHRH ve PRL Gen Polimorfizmleri ile Süt Verimi Arasındaki İlişkinin Araştırılması // KSÜ Tarım ve Doğa Derg. 2019. V. 22 (5). P. 763-771. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.530786>.
4. Чевтаева Н. Д., Зиннатов Ф. Ф., Бикчантаев И. Т. Изучение ассоциации гена гормона пролактина (PRL) с молочной продуктивностью коров голштинской породы // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 94-98. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp94-98>.
5. Иванова И. П., Троценко И. В., Кабицкая Я. А. Полиморфизм гена пролактина в популяции молочно-го скота Омской области // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1 (190). С. 89-94. <https://doi.org/10.36718/1819-4036>.

2023-1-89-94. EDN: ORBVZZ.

6. Взаимосвязь полиморфных генов пролактина и соматотропина крупного рогатого скота с молочной продуктивностью / И. Ю. Долматова, И. Н. Ганиева, Т. В. Кононенко, Ф. Р. Валитов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. № 1(53). С. 70-78. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-53-1-70-78>.

7. Межпородная дифференциация аллельного полиморфизма генов CSN3, PIT-1, PRL, GH, LEP молочного скота / Л. Н. Чинова, Е. С. Суржикова, А. И. Чудновец, Г. Н. Шарко, Т. Н. Михайленко // Вестник АПК Ставрополья. 2020. № 1(37). С. 34-38. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2020-9-37-34-38>.

8. ДНК-тестирование аллельного полиморфизма генов IGF-1, GDF5, GH у молодняка мясного скота / З. К. Гаджиев, Е. С. Суржикова, Д. Д. Евлагина // Аграрный научный журнал. 2023. № 9. С. 82-87. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i9pp82-87>. EDN: DEXXXF.

9. Ярышкин А. А., Шаталова О. С., Лешонок О. И. Ассоциации полиморфных вариантов гена соматотропина с хозяйственно-ценными показателями коров // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 60-70. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-60-70>. EDN: WKTRCT.

10. Молочная продуктивность черно-пестрого скота с разными генотипами пролактина и соматотропина / Л. Р. Загидуллин, Р. Р. Шайдуллин, Т. М. Ахметов, С. В. Тюлькин, А. Б. Москвичева // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 4. С. 21-24. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.33.91.005>.

11. Rapid communication: HinfI polymorphism at the bovine Pit-1 locus / J. Woollard, C. B. Schmitz, A. E. Freeman, C. K. Tuggle // J. of Anim. Sci. 1994. V. 72. P. 3267.

12. Джаксыбаева Г. Г., Кочнев Н. Н., Кайниденов Н. Н. Полиморфные варианты гена pit-1 крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Республики Казахстан // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. № 3 (68). С. 167-175. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175>.

13. Анализ полиморфизмов в генах, ассоциируемых с молочной продуктивностью у районированных пород крупного рогатого скота, выращиваемых в условиях Республики Дагестан / А. А. Оздемиров, А. А. Хожиков, З. М. Гусейнова, М. А. Даветеева // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. № 3 (68). С. 196-200. EDN: DLCHAE.

14. Связь полиморфизма гена PIT-1 (POU1F1) с признаками молочной продуктивности и воспроизводительной способности голштинского крупного рогатого скота / Э. Р. Гайнутдинова, Н. Ю. Сафина, Ф. Ф. Зиннатов, Ш. К. Шакиров // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 69-73. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11115>.

15. Влияние гормонов на продуктивные качества крупного рогатого скота / А. Н. Фролов, О. А. Завьялов, С. А. Платонов [и др.] // Ветеринария и кормление. 2024. № 6. С. 95-100. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-6-22>.

16. Genetic polymorphism of four candidate genes in dairy cattle of Kashmir, India. / R.M. Shah, N.A. Ganai, S. Shanaz [et al.] // The Indian Journal of Animal Sciences. 2021. Т. 91. № 10. С. 851-855. EDN: QLTTKA.

17. Ткаченко И. В., Гридина С. Л. Влияние полиморфных вариантов генов каппа-казеина и гормона роста на молочную продуктивность первотелок уральского типа // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018. № 5. С. 87-95. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-5-87-95>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Зарубежная Диана Викторовна* – аспирант, e-mail: diana.zarubezhnova.99@mail.ru

Шайдуллин Радик Рафаилович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, e-mail: tppi-kgau@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-3327>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Тюлькин Сергей Владимирович – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: tuls@v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5379-237X>

Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской Академии наук, Москва, Россия

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Зиннатов Фарит Фатихович – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, генетики, общей и биологической химии, e-mail: ffzinnatov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>

Власов Артем Витальевич – аспирант, e-mail: artem.vl.2020@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

MILK COMPOSITION OF JERSEY COWS WITH DIFFERENT GENOTYPES OF SOMATROPIN CASCADE GENE LOCI

D. V. Zarubezhnova, R. R. Shaydullin, S. V. Tyulkin, F. F. Zinnatov, A. V. Vlasov

Abstract. This article presents the results of a study examining the influence of somatotropin cascade gene polymorphisms (PRL, PIT1, GH) on physico and chemical parameters of Jersey cow milk, with the aim of identifying genotypes associated with improved milk quality characteristics. Allelic variants of PRL, PIT1 and GH genes were identified using polymerase chain reaction followed by restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP). The results demonstrate that prolactin gene polymorphism has the most pronounced effect on milk quality. In particular, cows with the PRL AB and BB genotypes are characterized by a significantly higher content of dry matter (16.16% and 16.22% versus 15.82% for AA), fat (6.27% and 6.24% versus 6.07% for AA), protein and lactose, as well as an increased energy value of milk (95.1 and 95.2 kcal versus 92.7 kcal for AA). With regard to the pituitary transcription factor gene, it was found that cows with PIT1 AB genotype have an advantage in terms of dry matter (16.23%), dry nonfat milk residue (10.55%), protein (3.99%) and lactose (5.20%), while the highest fat content (6.35%) was found in animals with the PIT1 AA genotype. Animals with GH LL genotype demonstrate a higher dry matter content (15.46%) and energy value of milk (95.6 kcal) compared to cows with GH LV and GH VV genotypes. The study confirms the potential of using somatotropin cascade gene

polymorphisms as genetic markers for breeding aimed at improving the quality of milk in Jersey cows.

Key words: milk, chemical composition, cows, Jersey breed, PRL, GH, PIT1, genetic markers.

For citation: Zarubezhnova D.V., Shaydullin R.R., Tyulkin S.V., Zinnatov F.F., Vlasov A.V. Milk composition of Jersey cows with different genotypes of somatotropin cascade gene loci. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 96-101 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_96.

References

1. Zinnatov FF, Khismatullin MM, Gilemkanov IYu. [Comparative genetic characteristics of the microsatellite profile of Jersey and Holstein cows bred in the Republic of Tatarstan]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*. 2025; Vol. 261. 1. 121-129 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_261_121.
2. Yukhina DE, Zakharova OA. [Comparative assessment of productivity of Jersey cows of different lines]. *Zootekhnika*. 2023; 7. 10-13 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.11.88.003>.
3. Akkaya M, Akyüz V. Türkiye’de Yetiştirilen Holştayn Irkı Sığırlarda GHRH ve PRL Gen Polimorfizmleri ile Süt Verimi Arasındaki İlişkinin Araştırılması. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg*. 2019; Vol. 22. (5). 763-771 p. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.530786>.
4. Chevtava ND, Zinnatov FF, Bikchantaev IT. [Study of the association of prolactin hormone gene (PRL) with milk productivity of Holstein cows]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2024; 4. 94-98 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp94-98>.
5. Ivanova IP, Trotsenko IV, Kabitskaya YaA. [Polymorphism of prolactin gene in the dairy cattle population of Omsk region]. *Vestnik KrasGAU*. 2023; 1 (190). 89-94 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-1-89-94>. EDN: ORBVZZ.
6. Dolmatova IYu, Ganieva IN, Kononenko TV, Valitov FR. [The relationship between polymorphic genes of prolactin and somatotropin of cattle with milk productivity]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 1(53). 70-78 p. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-53-1-70-78>.
7. Chizhova LN, Surzhikova ES, Chudnovets AI, Sharko GN, Mikhaylenko TN. [Interbreed differentiation of allelic polymorphism of the CSN3, PIT-1, PRL, GH, LEP genes of dairy cattle]. *Vestnik APK Stavropolya*. 2020; 1(37). 34-38 p. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2020-9-37-34-38>.
8. Gadzhiev ZK, Surzhikova ES, Evlagina DD. [DNA testing of allelic polymorphism of the IGF-1, GDF5, GH genes in young beef cattle]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2023; 9. 82-87 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i9pp82-87>. EDN: DEXXXF.
9. Yaryshkin AA, Shatalina OS, Leshonok OI. [Associations of polymorphic variants of the somatotropin gene with economically valuable indicators of cows]. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 2. 60-70 p. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-60-70>. EDN: WKTPCT.
10. Zagidullin LR, Shaydullin RR, Akhmetov TM, Tyulkin SV, Moskvicheva AB. [Milk productivity of black-and-white cattle with different genotypes of prolactin and somatotropin]. *Molochnoe i myasnnoe skotovodstvo*. 2021; 4. 21-24 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.33.91.005>.
11. Woollard J, Schmitz CB, Freeman AE, Tuggle CK. Rapid communication: Hinfl polymorphism at the bovine Pit-1 locus. *J. of Anim. Sci*. 1994; Vol.72. 3267 p.
12. Dzhaksybaeva GG, Kochnev NN, Kaynidenov NN. [Polymorphic variants of the pit-1 gene in Simmental and Red Steppe cattle of the Republic of Kazakhstan]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*. 2023; 3 (68). 167-175 p. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175>.
13. Ozdemirov AA, Khozhokov AA, Guseynova ZM, Daveteeva MA. [Analysis of polymorphisms in genes associated with milk productivity in zoned cattle breeds grown in the Republic of Dagestan]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2023; Vol.18. 3 (68). 196-200 p. EDN: DLCHAE.
14. Gaynutdinova ER, Safina NYu, Zinnatova FF, Shakirov ShK. [Relationship between PIT-1 (POU1F1) gene polymorphism and milk productivity and reproductive capacity traits of Holstein cattle]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019; Vol.33. 11. 69-73 p. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11115>.
15. Frolov AN, Zavyalov OA, Platonov SA. [The influence of hormones on the productive qualities of cattle]. *Veterinariya i kormlenie*. 2024; 6. 95-100 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-6-22>.
16. Shah RM, Ganai NA, Shanaz S. Genetic polymorphism of four candidate genes in dairy cattle of Kashmir, India. *The Indian Journal of Animal Sciences*. 2021; Vol.91. 10. 851-855 p. EDN: QLTTKA.
17. Tkachenko IV, Gridina SL. [Influence of polymorphic variants of kappa-casein and growth hormone genes on milk productivity of Ural-type first-calf heifers]. *Bliyanie polimorfnykh variantov genov kappa-kazeina i gormona rosta na molochnuyu produktivnost' pervotelok ural'skogo tipa // Izvestiya Timiryazevskoi selskokhozyaystvennoy akademii*. 2018. № 5. S. 87-95 p. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-5-87-95>.

Conflict of interest

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

Authors:

Zarubezhnova Diana Viktorovna* – post-graduate student, e-mail: diana.zarubezhnova.99@mail.ru
Shaydullin Radik Rafailovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Production Technology and Processing of Agricultural Products, e-mail: tppi-kgau@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-3327>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
Tyulkin Sergey Vladimirovich – Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, e-mail: tuls@v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5379-237X>
V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
Zinnatov Farit Fatikhovich – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Biology, Genetics, General and Biological Chemistry Department, e-mail: ffzinnatov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>
Vlasov Artem Vitalievich – post-graduate student, e-mail: artem.vl.2020@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛОШАДЕЙ ТАТАРСКОЙ И ЯКУТСКОЙ ПОРОД ПО ПОЛИМОРФНЫМ БЕЛКАМ КРОВИ

Г. И. Феткуллова

Реферат. В данном исследовании представлены результаты анализа аллелофонда татарской породы лошадей в сравнении с аллелофондом якутской породой, полученные данные могут быть использованы при дальнейшей селекционной работе. Исследованиями установлено, что местные породы лошадей имеют широкий спектр аллелей по полиморфным белкам крови и высокий уровень генетического разнообразия. В изученных породах лошадей локус трансферрина детерминируется 5 аллелями: F, D, R, H, O, а локус альбумина оказался слабо полиморфным и представлен только двумя аллелями: A и B. В результате генетического анализа лошадей татарской и якутской пород было идентифицировано соответственно 15 генотипов из возможных 15 аллельных комбинаций. Наиболее частотным аллелем в обеих популяциях оказался аллель F, его частота у якутской породы лошадей достоверно превышала частоту татарских лошадей на 0,134 ($p < 0,05$), что указывает о значимой дифференциации по данному локусу. В отличие, аллель O трансферрина был представлен минимально: у татарской породы лошадей составила 0,053, а у якутской – 0,030, что соответствует снижению в 1,77 раз. Данный аллель указывает на статистическую схожесть двух пород по данному полиморфизму. В полиморфных системах крови двух пород уровень полиморфности составил в среднем 2,441 и этот результат считается высоким для местных пород лошадей. Лошади татарской породы характеризуются высокой степенью гетерозиготности, которая в среднем составляет 0,597, что в сравнении с тем же показателем у якутской породы выше на 0,191. Следовательно, у татарской и якутской пород в локусах полиморфных белков крови четко прослеживаются определенные межпородные различия по частотам аллелей, степени гетерозиготности и числу эффективных аллелей, что указывает на определенную генетическую отдаленность изученных пород лошадей.

Ключевые слова: татарская лошадь, якутская лошадь, трансферрин, альбумин, частота аллелей, генотип.

Для цитирования: Феткуллова Г.И. Генетическая структура лошадей татарской и якутской пород по полиморфным белкам крови // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 102-107. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_102.

Введение. Развитие молекулярной генетики и информационных технологий за последние годы позволило приступить к изучению генов сельскохозяйственных животных и использовать многие достижения маркер-вспомогательной и геномной селекции в практике животноводства [1].

В настоящее время генотипирование по полиморфным белкам крови и генам микросателлитной ДНК является обязательным условием для осуществления селекционной работы с сельскохозяйственными животными. Изучение генетического полиморфизма белков позволяет контролировать генетическую структуру популяций и определить их идентичность [2, 3, 4].

В коневодстве маркерная селекция преимущественно используется для изучения генетической структуры и филогенеза пород и популяций лошадей, оценки степени разнообразия и определения генетического сходства. Она показывает высокую эффективность при проведении контроля применения родственного разведения, диагностике наследственных дефектов и заболеваний и особую значимость имеют маркеры, ассоциированные с хозяйственно-полезными признаками [5].

На современном этапе развития коневодства разведение большинства пород лошадей невозможно без генетической сертификации, которую осуществляет лаборатория генетики Всероссийского научно-исследовательского

института коневодства (ВНИИК). Сотрудниками лаборатории ежегодно тестируется более четырех тысяч лошадей [4, 5, 6].

Важное значение для местных пород лошадей имеет изучение их генетической структуры и их дифференциации, в связи с малочисленностью и генетической уникальностью. Сохранение и совершенствование местных пород лошадей требует комплексного подхода, в котором предусматривается систематический генетический мониторинг, необходимый для создания и совершенствования селекционных программ с целью защиты уникального аллелофонда лошадей, сохранения традиций каждого народа и их культурного наследия [7].

Все местные породы обладают уникальными, ценными качествами, что необходимо для их эффективного хозяйственного использования. Местные породы лошадей включают в себя породы, произошедшие от одного генетического корня: татарскую, якутскую, башкирскую, тувинскую, вятскую, имеющее общее генетическое происхождение. Все эти породы генетически близки, но имеют фенотипические и генетические различия по морфологическим признакам [8, 9].

Полиморфные системы белков крови при кодоминантном типе наследования, являются удобными генетическими маркерами для описания пород, линий и семейств. Полиморфизм белков представлен более чем одним аллелем,

контролируется серией таких генов, использование которых позволяет изучить межпородные и внутripородные дифференциации, филогенез и аллелофонд, внутripородный инбридинг, а также определить происхождение животных с точностью до 90%. Определение происхождения животных любых видов и особенно некоторых пород лошадей, является обязательным процессом при оценке племенной ценности.

Основными белками крови являются трансферрин и альбумин, которые выполняют транспортную функцию и служат маркерами для оценки генетического разнообразия. Наибольший интерес для генетических исследований представляет locus трансферрина, который представлен 12 аллелями. Роль трансферрина в организме прежде всего связывают с регулированием обмена железом тканями. В отличие от трансферрина, альбумин слабо полиморфен и имеет всего лишь два аллеля.

В связи с тем, что татарская порода по своему происхождению связана со многими аборигенными породами, целью проводимых исследований было изучение особенностей полиморфизма белков крови лошадей татарской и якутской породы для установления их генетических различий. Основной задачей исследования было изучение генетической структуры по полиморфным системам крови: трансферрину и альбумину.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования служили кобылы татарской породы из хозяйства-оригинатора ИП ГКФХ «Набиуллин С.Ф.» Лениногорского района Республики Татарстан в количестве 200 голов. Определение полиморфных вариантов белков проводилось методом электрофореза в полиакриламидном геле в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными ВНИИ коневодства [7]. Для характеристики якутской породы по этим белкам использовались данные научных исследований Додохова В.В., Филипповой Н.П., Степанова Н.П., исследования проводились в 2016 году у якутских лошадей в количестве 424 голов [10, 11, 12]. Для сравнительного анализа были использованы генетико-статистические показатели такие как, частота аллелей по каждому локусу и число генотипов, наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, а также количество эффек-

тивных аллелей.

Статистическую обработку данных проводили в соответствии с принятыми стандартами с использованием приложения MS Excel ПК (Меркурьева, Е.К. *Генетические основы селекции в скотоводстве*. М.: «Колос», 1977. 240 с.). При определении частот отдельных аллелей применялись следующие формулы:

$$p_A = (2n_{AA} + n_{AB}) / 2N \quad (1);$$

$$q_B = (2n_{BB} + n_{AB}) / 2N \quad (2),$$

где:

p_A – частота аллеля А,

q_B – частота аллеля В,

N – общее число особей.

Для определения частоты генотипов использовалась формула:

$$p = n / N \quad (3),$$

где:

p – частота соответствующего генотипа,

n – количество особей с данным генотипом,

N – общее число особей.

Фактическая гетерозиготность вычислялась по формуле:

$$H_o = N_2 / n \quad (4),$$

где:

H_o – фактическая гетерозиготность,

N_2 – число гетерозигот особей,

n – общее число особей.

Ожидаемую гетерозиготность рассчитывали по формуле:

$$H_e = 1 - (p_A^2 + q_B^2) \quad (5),$$

где:

H_e – ожидаемая гетерозиготность,

p_A^2 и q_B^2 – частоты соответствующих аллелей А и В.

При определении индекса фиксации использовалась формула:

$$F = H_e - H_o / H_e \quad (6),$$

где:

H_e – ожидаемая гетерозиготность,

H_o – фактическая гетерозиготность.

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что сравниваемые местные породы лошадей имеют типичный спектр аллелей и характеризуются достаточно высоким уровнем генетического разнообразия [13].

По системе локуса трансферрина у лошадей татарской и якутской породы выявлено одинаковое число аллелей – F, R, O, H, D (рис. 1).

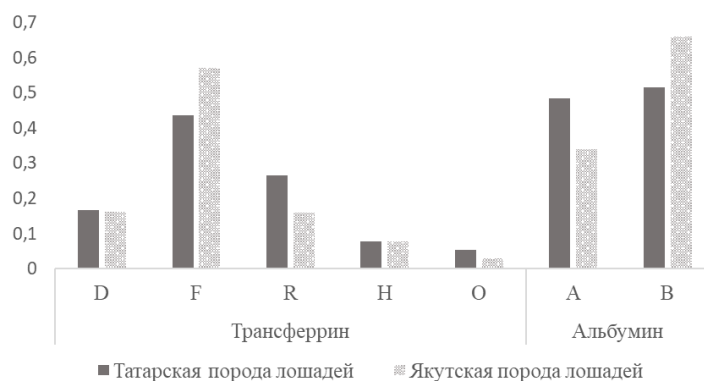


Рисунок 1 – Частота аллелей полиморфных белков крови

В генетической структуре обеих популяций преобладает аллель F, его частота у татарской и якутской пород лошадей составила соответственно 0,437 и 0,571, то есть встречаемость аллеля F у татарской породы оказалась значимо ниже, чем у якутской на 0,134 (рис. 2). К следующим наиболее часто встречающимся аллелями можно отнести R и D, частота которых у лошадей татарской породы составила соответственно – 0,265 и 0,168, а у

якутской – 0,159 и 0,161. То есть, в противоположность аллелю F, частота встречаемости этих двух аллелей была выше у лошадей татарской породы. Более значимые различия прослеживаются по аллелю R, частота встречаемости которого оказалась выше у лошадей татарской породы на 0,097, различия в частоте встречаемости аллеля D незначительные и не превышают 0,007.

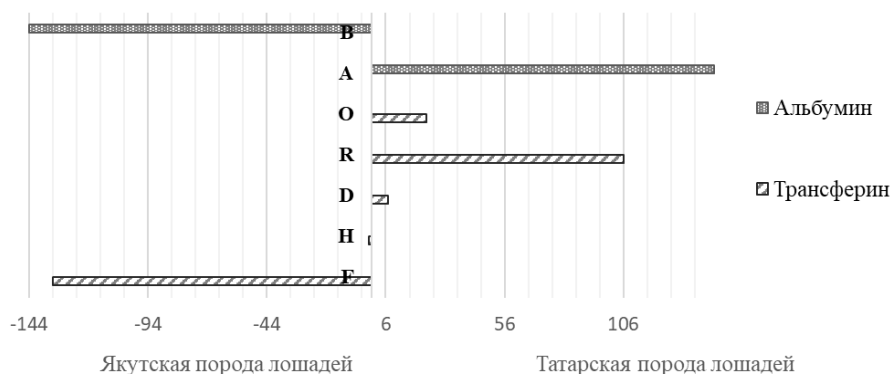


Рисунок 2 – Сравнение частоты аллелей трансферрина и альбумина у лошадей татарской и якутской пород

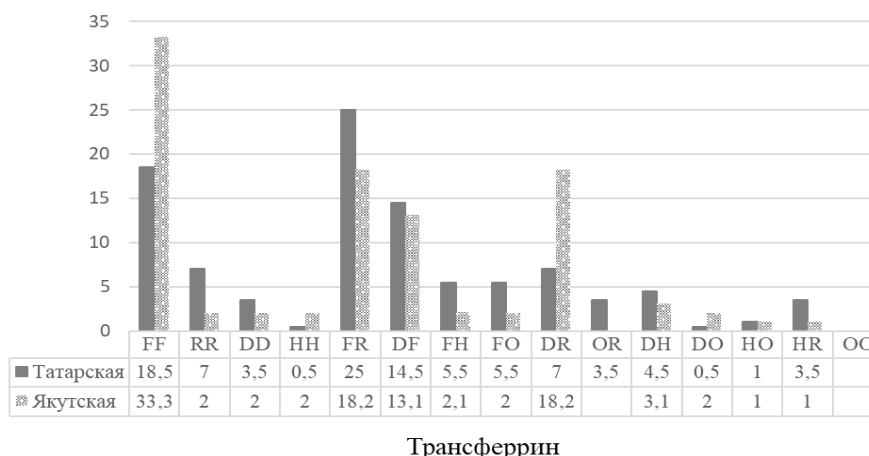
Небольшие различия, в пользу лошадей татарской породы, обнаружены также по частоте аллели O, а по аллелю H трансферрина существенных различий не выявлено.

Графическое изображение частоты встречаемости аллелей полиморфных белков крови у лошадей татарской породы в сравнении с якутской породой показало, что как по трансферрину, так и альбумину наблюдаются положительные и отрицательные отклонения в частоте встречаемости аллелей. При этом по локусу трансферрина наибольшие отклонение прослеживаются в отрицательную сторону по аллелю F, наименьшие отклонения, но тоже в отрицательную сторону – по аллелю H. По локусу альбумина выявленные различия в двух аллелях равнозначны, но противоположны по выраженности. По аллелю A прослеживается превышение частоты встречаемости, а по аллелю B такое же снижение частоты встречаемости.

Следовательно, основные различия между татарской и якутской породами по локусу трансферрина заключаются в том, что аллель F у татарской лошади выявлен с меньшей частотой, сходство пород по происхождению подтверждается практически одинаковой частотой встречаемости аллелей H и D.

Наличие в локусе трансферрина пяти аллелей позволяет выделить у лошадей татарской породы 14 генотипов, у лошадей якутской породы, несмотря на наличие тех же пяти аллелей, удалось выделить только 13 генотипов, что также позволяет дифференцировать эти породы между собой.

Наиболее высокую концентрацию у лошадей татарской породы имеют 3 генотипа, включающие аллель F в сочетании с другими аллелями, из которых два гетерозиготных - FR (25%) и DF (14,5%), а один гомозиготный - FF (18,5%) (рис. 3).



Трансферрин

Рисунок 3 – Распределение частот генотипов по локусу трансферрина

Также часто выявлялся гомозиготный генотип – RR (7%) и гетерозиготный - DR (7%), содержащие аллель R. Остальные генотипы имеют частоту от 0,5% до 5,5%, а гомозиготный генотип OO не выявлен вовсе. У якутской породы не были идентифицированы генотипы – OO и OR, из которых самыми распространенными по частоте оказались гомозиготный генотип FF (33,3%) и гетерозиготный генотип DF (13%), DR (18,2%).

В популяции лошадей данных пород locus альбумин представлен двумя аллелями – A и

B. Преобладающим по частоте аллелем оказался аллель B, средняя частота его у лошадей татарской породы составила 0,515, а у якутской соответственно – 0,659. Вторым по частоте был аллель A, по которому межпородные различия оказались выражены в большой степени и составили, соответственно 0,485 и 0,341. Два аллеля альбумина образовали 3 генотипа: AA, BB и AB, их частота у лошадей татарской породы составила в следующем соотношении: AB (49%) > BB (27%) > AA (24%) (рис. 4).

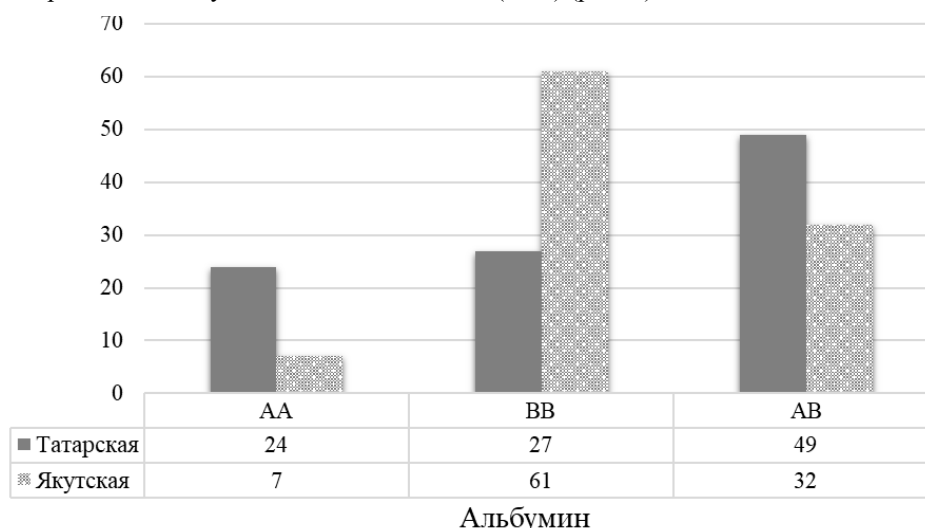


Рисунок 4 – Частота генотипов по локусу альбумина

Следовательно, каждая порода имеет свою характерную ей генетическую структуру с четко выраженными различиями по частотам отдельных аллелей полиморфных белков крови, несмотря на их историческую близость.

Определение уровня изменчивости и дифференциации лошадей татарской породы проводилось на основе общепринятых

показателей, которые представлены в таблице. Результаты исследования показали, что лошади татарской породы обладают высокой степенью полиморфизма. В изученных полиморфных системах крови уровень полиморфности в среднем на 2 локуса составил 2,676, что считается достаточно высоким показателем для местных пород лошадей.

Таблица – Генетико-популяционная характеристика лошадей татарской и якутской пород

Порода	Голов	Локус	Показатели			
			He	Ho	Ae	F
Татарская	200	Трансферрин	0,701	0,705	3,354	-0,004
		Альбумин	0,499	0,490	1,998	0,018
		В среднем	0,600	0,597	2,676	0,006
Якутская	217	Трансферрин	0,615	0,590	2,598	0,041
		Альбумин	0,449	0,221	1,816	0,508
		В среднем	0,532	0,406	2,207	0,274

Примечание: Ae – уровень полиморфности, He и Ho – ожидаемая и фактическая гетерозиготность, F – индекс фиксации

Показатель фактической гетерозиготности по полиморфным белкам крови характеризуется высокой степенью гетерозиготности, которая равна в среднем 0,597. Анализ фактической гетерозиготности по отдельным локусам показал, что максимальное значение наблюдается по локусу трансферрина – 0,705, а минимальное по альбумину – 0,490.

Ожидаемая гетерозиготность по локусу

трансферрина ниже, чем фактическая гетерозиготность, что свидетельствует о небольшом избытке гетерозигот. На это также указывает отрицательный индекс фиксации, который составил -0,004.

У якутской породы наблюдается дефицит гетерозигот по двум локусам полиморфной системы белков, так как индекс фиксации высокий 0,274. Это указывает на то, что в данной

популяции возможен инбридинг. Уровень полиморфности по двум исследуемым локусам оказалась несколько ниже и был равен в среднем 2,207.

Сравнительный анализ изученных пород лошадей показал, что они различаются между собой по уровню полиморфности (Ae) и степени гетерозиготности.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования показали, что татарская и якутская породы, несмотря на историческую близость, имеют разную генетическую структуру,

которая выразилась в более высоком уровне полиморфизма и богатом генофонде по изученным локусам белков крови у лошадей татарской породы. По локусам полиморфных белков крови выявили определенную межпородную дифференциацию по частотам встречаемости аллелей и степени гетерозиготности. Генетические исследования позволили выявить межпородные различия и сходства, они минимизировали ошибки, возникающие при осуждении генетического родства татарской и якутской пород.

Литература

1. Храброва Л. А., Алексеева Е. И. Прогресс ДНК-технологий в коневодстве // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 149-154. EDN UXWMEX.
2. Effect of BsaA I genotyped intronic SNP of leptin gene on production and reproduction traits in Indian dairy cattle / T. Yadav, A. Magotra, Y. C. Bangar [et al.] // Animal Biotechnology. 2021. V. 34 (2). P. 261-267. <http://doi.org/10.1080/10495398.2021.1955701>.
3. Эффективность контроля происхождения лошадей по полиморфным системам крови и микросателлитам ДНК / Л. А. Храброва, Р. М. Дубровская, Л. В. Калинкова [и др.] // Коневодство и конный спорт. 2012. № 2. С. 7-8. EDN OXNIZV.
4. Блохина Н. В., Храброва Л. А. Анализ генетической структуры 29 пород лошадей Российской селекции по STR-маркерам // Генетика. 2024. Т. 60. № 8. С. 54-65. <http://doi.org/10.31857/S0016675824080057>. EDN BFPWDI.
5. Zinovieva S. A., Khrabrova L. A., Markin S. S. Association of the ACTN3 Gene Polymorphisms with the Performance of Thoroughbred Horses // Russian Journal of Genetics. 2025. Vol. 61. No. 8. P. 1027-1030. <https://doi.org/10.1134/S1022795425700541>. EDN YIJJGG.
6. Assessment of line differentiation in the thoroughbred horse breed using DNA microsatellite loci / L. A. Khrabrova, N. V. Blohina, O. I. Suleymanov [et al.] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. 23 (5). P. 569-574. <https://doi.org/10.18699/VJ19.526>
7. Горбовская Т. М., Любченко Е. Н. Генетический метод контроля происхождения лошадей // Аграрный вестник Приморья. 2024. № 3 (35). С. 17-21. EDN WPLHDI
8. Итоги первой бонитировки лошадей татарской породы в Республике Татарстан / Р. А. Хаертдинов, М. А. Сушенцова, И. Н. Камалдинов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2022. Т. 250. № 2. С. 254-260. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-2-250-254>
9. Возрождение татарской породы лошадей / Р. А. Хаертдинов, М. А. Сушенцова, И. Н. Камалдинов [и др.] // Зоотехния. 2023. № 1. С. 22-25. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.33.52.006>. EDN WIHBGD.
10. Додохов В. В., Филиппова Н. П. Полиморфизм белков сыворотки крови лошадей якутской породы // Потенциал современной науки. 2015. № 4(12). С. 70-75. EDN TXNUWR.
11. Генетическая структура лошадей якутской породы по полиморфным белкам сыворотки крови / В. В. Додохов, Н. П. Филиппова, Н. П. Степанов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 100-102. EDN XRUVCL.
12. Морфологические и генетические особенности пород лошадей Якутии / Н. П. Филиппова, Н. П. Степанов, В. В. Додохов [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 60-64. <https://doi.org/10.31857/S2500262720040146>. EDN UZVEBH.
13. Блохина Н. В., Храброва Л. А. Генетическая характеристика лошадей местных пород по локусам микросателлитов ДНК // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2025. Т. 29. № 1. С. 113-121. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-13>. EDN KFSNKN.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторе:

Феткуллова Гульназ Иршатовна – аспирант, e-mail: gulnaz.fetkullova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1390-2323>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

GENETIC STRUCTURE OF TATAR AND YAKUT HORSE BREEDS BASED ON BLOOD POLYMORPHIC PROTEINS

G. I. Fetkullova

Abstract. This study presents the results of an analysis of allele pool of Tatar horse breed in comparison with the allele pool of Yakut breed. The obtained data can be used in further breeding work. The study established that local horse breeds have a wide spectrum of alleles for polymorphic blood proteins and a high level of genetic diversity. Transferrin locus is determined by five alleles in the studied horse breeds: F, D, R, H and O, while the albumin locus was weakly polymorphic and represented by only two alleles: A and B. Genetic analysis of Tatar and Yakut horses, respectively, identified 15 genotypes out of 15 possible allelic combinations. The most frequent allele in both populations was F allele. Its frequency in Yakut horse breed was significantly higher than that in Tatar horses by 0.134 ($p < 0.05$), indicating significant differentiation at this locus. In contrast, the O allele of transferrin was minimally represented: 0.053 in Tatar horse breed, while in Yakut breed it was 0.030, corresponding to a 1.77-fold decrease. This allele indicates statistical similarity between the two breeds for this polymorphism. In the polymorphic blood systems of the two breeds, the polymorphism level averaged 2.441, a result considered high for local horse breeds. Horses of Tatar breed are characterized by a high degree of

heterozygosity, averaging 0.597, which is 0.191 higher than the same indicator in Yakut breed. Consequently, distinct interbreed differences in allele frequencies, heterozygosity levels and the number of effective alleles are evident in Tatar and Yakut horse breeds' blood polymorphic protein loci, indicating a certain genetic distance between the studied horse breeds.

Key words: Tatar horse breed, Yakut horse breed, transferrin, albumin, allele frequency, genotype.

For citation: Fetkullova G.I. Genetic structure of Tatar and Yakut horse breeds based on blood polymorphic proteins. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 102-107 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_102.

References

1. Khrabrova LA, Alekseeva EI. [Progress of DNA technologies in horse breeding]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 39. 149-154 p. EDN UXWMEX.
2. Yadav T, Magotra A, Bangar YC. Effect of BsaA I genotyped intronic SNP of leptin gene on production and reproduction traits in Indian dairy cattle. Animal Biotechnology. 2021; V.34 (2). 261-267 p. <http://doi.org/10.1080/10495398.2021.1955701>.
3. Khrabrova LA, Dubrovskaya RM, Kalinkova LV. [Efficiency of horse origin monitoring using blood polymorphic systems and DNA microsatellites]. Konevodstvo i konnyy sport. 2012; 2. 7-8 p. EDN OXNIZV.
4. Blokhina NV, Khrabrova LA. [Analysis of the genetic structure of 29 horse breeds of Russian selection using STR markers]. Genetika. 2024; Vol.60. 8. 54-65 p. <http://doi.org/10.31857/S0016675824080057>. EDN BFPWDI.
5. Zinovieva SA, Khrabrova LA, Markin SS. Association of the ACTN3 gene polymorphisms with the performance of thoroughbred horses. Russian Journal of Genetics. 2025; Vol.61. No.8. 1027-1030 p. <https://doi.org/10.1134/S1022795425700541>. EDN YIJJGG.
6. Blokhina NV, Khrabrova LA, Suleymanov OI. Assessment of line differentiation in the thoroughbred horse breed using DNA microsatellite loci. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019; 23 (5). 569-574 p. <https://doi.org/10.18699/VJ19.526>
7. Gorbovskaia TM, Lyubchenko EN. [Genetic method for monitoring the origin of horses]. Agrarnyy vestnik Primor'ya. 2024; 3 (35). 17-21 p. EDN WPLHDI
8. Khaertdinov RA, Sushentsova MA, Kamaldinov IN. [Results of the first appraisal of Tatar horse breeds in the Republic of Tatarstan]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana. 2022; Vol.250. 2. 254-260 p. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-2-250-254>
9. Khaertdinov RA, Sushentsova MA, Kamaldinov IN. [Revival of Tatar horse breed]. Zootekhnika. 2023; 1. 22-25 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.33.52.006>. EDN WIHBGD.
10. Dodokhov VV, Filippova NP. [Polymorphism of blood serum proteins of Yakut horses breeds]. Potentsial sovremennoy nauki. 2015; 4(12). 70-75 p. EDN TXNUWR.
11. Dodokhov VV, Filippova NP, Stepanov NP. [Genetic structure of Yakut horse breeds according to polymorphic proteins of blood serum]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016; Vol.30. 11. 100-102 p. EDN XRUVCL.
12. Filippova NP, Stepanov NP, Dodokhov VV. [Morphological and genetic features of horse breeds of Yakutia]. Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. 2020; 4. 60-64 p. <https://doi.org/10.31857/S2500262720040146>. EDN UZ-VEBH.
13. Blokhina NV, Khrabrova LA. [Genetic characteristics of local horse breeds based on DNA microsatellite loci]. Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2025; Vol.29. 1. 113-121 p. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-13>. EDN KFSNKN.

Conflict of interest

The author declares no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Author:

Fetkullova Gulnaz Irshatovna – post-graduate student, e-mail: gulnaz.fetkullova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1390-2323>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ИЗУЧЕНИЕ АССОЦИАЦИЙ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА *KCNB1* С МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ И КАЧЕСТВОМ МОЛОКА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ В РАЦИОН ДРОЖЖЕВОЙ ДОБАВКИ «КЛЮВЕР ПРО»

Н. Д. Чевтаева

Реферат. Высокоудойный молочный скот особенно подвержен риску развития нарушений обмена веществ и алиментарно-обусловленных заболеваний, поскольку их физиология направлена преимущественно на синтез молока, даже при нехватке питательных веществ. Это обусловлено тем, что многолетний отбор по признаку удоя привёл к формированию лактационной доминанты, при которой организм направляет значительную долю ресурсов на продукцию молока, зачастую в ущерб другим системам. Включение в рацион дрожжевых пробиотиков, обладающих способностью поглощать кислород в рубце, способствует формированию благоприятной анаэробной среды для жизнедеятельности его нормофлоры. Генетические факторы играют немаловажную роль в устойчивом закреплении продуктивных признаков у крупного рогатого скота. Целью исследования являлось изучить взаимосвязь полиморфизма гена *KCNB1* (g.78216220G>A) на молочную продуктивность коров голштинской породы при скармливании пробиотической дрожжевой добавки «КЛЮВЕР ПРО» на основе штамма дрожжей *Kluyveromyces marxianus*. Объектами исследования являлись 120 лактирующих коров, сформированных по 60 голов в группе, в условиях СХПК племенного завода им. Ленина Атнинского района Республики Татарстан. Опытной группе дополнительно скармливали по 20 г на голову в сутки добавки «КЛЮВЕР ПРО» в течение 60 дней. В ходе исследования выявили, что по сравнению с контрольным поголовьем группа коров с генотипом *KCNB1 AA*, получавшая добавку, выгодно отличалась по показателям удоя в сутки в среднем на 6,94%, выходу молочного белка на 10,73%, сумме количества жира и белка на 11,32%, в том числе отмечено достоверное повышение количества молочного жира на 11,86% ($p \leq 0,05$). При том же сравнении поголовье с генотипом *KCNB1 GG* превосходило контрольное по среднесуточному удою на 5,96%, количеству молочного жира на 9,01%, сумме количества жира и белка на 8,83%, и достоверно превосходило по выходу молочного белка на 8,64% ($p \leq 0,05$).

Ключевые слова: дойные коровы, генотип, *KCNB1*, кормление, дрожжи, *Kluyveromyces*, молочная продуктивность.

Для цитирования: Чевтаева Н.Д. Изучение ассоциаций полиморфизма гена *KCNB1* с молочной продуктивностью и качеством молока при включении в рацион дрожжевой добавки «КЛЮВЕР ПРО» // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2025. Том 264 (4). С. 108-112. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_108.

Введение. К настоящему моменту в результате генетического улучшения маточного поголовья дойного крупного рогатого скота посредством селекционной работы наблюдается значительное увеличение молочной продуктивности. Однако такая интенсификация производства сопровождается ростом потребностей животных в энергии и питательных веществах, удовлетворение которых становится все более затруднительным.

У коров с высоким уровнем молочной продуктивности в различные периоды физиологического состояния нередко наблюдаются нарушения энергетического обмена. Эти расстройства обусловлены как несоответствием энергетической ценности рациона физиологическим потребностям животных, так и снижением потребления корма на фоне повышенной потребности в энергии для лактогенеза [1]. Возникающий дефицит энергии компенсируется за счёт мобилизации внутренних резервов организма, что провоцирует развитие патологий обмена веществ, таких как кетоз, остеодистрофия, ацидоз, стеатоз печени и др. [2].

Животные с высоким генетическим потенциалом продуктивности особенно подвержены риску развития подобных нарушений, поскольку их физиология направлена преимущественно на синтез молока, даже при нехватке питательных веществ. Это обусловлено тем,

что многолетний отбор по признаку удоя привёл к формированию лактационной доминанты, при которой организм направляет значительную долю ресурсов на продукцию молока, часто в ущерб другим системам [1].

Вдобавок, высокоуровневая продуктивность поддерживается посредством включения в рацион легкоусвояемых углеводистых кормов, что доказано ассоциируется с негативным воздействием на метаболические процессы в рубце жвачных. Исследования показывают, что при интенсивном потреблении крахмала увеличивается популяция амилолитических бактерий в рубце, что, в результате их жизнедеятельности, приводит к образованию значительного количества молочной кислоты, вызывающей снижение pH до значений ниже 6,0, тогда как для нормального функционирования руминальной микрофлоры необходим диапазон pH 6,5–7,2 [3]. В результате угнетается активность целлюлозолитических бактерий, перерабатывающих структурные углеводы, что приводит к снижению эффективности ферментативного расщепления корма. Угнетение нормофлоры рубца повышает вероятность развития нарушений обмена веществ и алиментарных заболеваний, что ведет, в том числе, к снижению репродуктивных показателей и, в конечном итоге, ограничивает продолжительность хозяйственного использования

коров до 2–3 лактаций [2].

Рационы кормления должны быть выстроены таким образом, чтобы полностью обеспечивать физиологические потребности коров, особенно в переходный период и начале лактации. В этой связи особенно актуальными становятся исследования, направленные на разработку и внедрение инновационных стратегий профилактики, способствующих стабилизации микробиологического сообщества рубца и поддержанию оптимального уровня pH его среды. Одним из перспективных направлений для решения этой проблемы является включение в рацион дрожжевых пробиотиков, обладающих способностью поглощать кислород, тем самым формируя благоприятную анаэробную среду для жизнедеятельности облигатных микробов рубца [4, 5, 6]. Активация популяции целлюлозолитических и лактатутилизующих микроорганизмов способствует, в свою очередь, эффективному расщеплению клетчатки, повышению биодоступности компонентов корма и улучшению усвоения питательных веществ [7, 8].

Наряду с этим, установлено, что генетические факторы играют немаловажную роль в устойчивом закреплении продуктивных признаков у крупного рогатого скота, что определяет уровень потребления ими питательных веществ [9]. В странах с развитой системой животноводства, наряду с внедрением сбалансированной и научно-обоснованной системы кормления наблюдается уклон на молекулярно-генетическую селекцию по генетическим маркерам [10].

Работа ионных каналов и межмембранный транспорт регулируют формирование компонентов молока, которые синтезируются либо в клетках эпителия молочной железы, либо поступают туда из крови, проходя через апикальную мембрану. Для большинства таких соединений требуются специализированные транспортные белки – пассивные или активные [11].

Локусы генов, кодирующих трансмембранные белки, зачастую ассоциированы с признаками молочной продуктивности. Особый интерес представляют калиевые каналы, кодируемые семейством генов *KCN*, играющие важную роль в поддержании мембранного потенциала и межклеточной сигнализации. В частности, ген *KCNB1*, относящийся к подсемейству потенциалзависимых калиевых каналов, вовлечён в процессы апоптоза, клеточной пролиферации и регенерации тканей молочной железы. Ген локализован на 13-й хромосоме крупного рогатого скота (BTA-13), имеет длину около 110,35 кб, включает два экзона и один интрон, и кодирует белок из 858 аминокислотных остатков. В интронной области данного гена был идентифицирован однонуклеотидный полиморфизм (g.78216220G>A). Ген *KCNB1* рекомендован в качестве маркерного гена, ассоциированного с продуктивными признаками молочного скота [11, 12].

Целью исследования являлось изучить

взаимосвязь полиморфизма гена *KCNB1* (g.78216220G>A) с молочной продуктивностью коров голштинской породы при скормлинии пробиотической добавки «КЛЮВЕР ПРО» на основе штамма дрожжей *Kluyveromyces marxianus*.

Условия, материалы и методы. В условиях СХПК племенного завода им. Ленина Атинского района Республики Татарстан отбрали 120 клинически здоровых голов из дойного поголовья коров голштинской породы, сформировали две группы-аналогов по 60 голов в каждой. Опытной группе дополнительно скормливали по 20 г на голову в сутки «КЛЮВЕР ПРО» – пробиотическую дрожжевую добавку – в смеси с монокормом в течение 60 дней.

Осуществлялось индивидуальное контрольное доение дважды в сутки ежемесячно. В лаборатории селекционного контроля качества молока АО «ГПП «Элита» биохимический анализ молока проводился системой CombiFoss™7.

Для генетического анализа отбирались пробы крови у всех объектов исследования. Термические условия амплификации фрагментов ДНК представляли собой: начальная денатурация при 94°C 3 мин, 34 цикла по 1 мин при 94°C, последующий отжиг при 62,2°C 1 мин, элонгация при 72°C 1 мин и заключительная элонгация при 72°C 7 мин [11].

Использовался следующий комплект однонуклеотидных праймеров (Евроген, Россия):

5'-TTCAAATCCCGACTCCACCA-3';

5'-TAACACACAAAAGTCGCCCC-3'.

Затем проводилась полимеразная цепная реакция (ПЦР) из 2 мкл ДНК-образца с компонентами ПЦР-смеси: смесь дезоксинуклеотидтрифосфатов (СибЭнзим, Россия), праймеры (Евроген, Россия), Taq-полимераза, буферный раствор Taq-полимеразы, вода деминерализованная общим объемом 20 мкл. При t +37°C в течение 16 ч ферментом *Msp I* (СибЭнзим, Россия) выполняли рестрикцию полученных в ходе реакции продуктов.

Локус SNP-*Msp I* (g.78216220G>A) располагался с нуклеотидной заменой G на A в интроне 1. После этапа рестрикции сформировались фрагменты длиной 225 и 280 п.н. у генотипа *KCNB1GG*, 505, 225 и 280 п.н. для генотипа *KCNB1GA* и 505 п.н. для генотипа *KCNB1AA* соответственно.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного исследования установлено, что из всего анализируемого поголовья 33 головы (27,50%) являлись носителями гомозиготного генотипа *KCNB1AA*, 52 головы (43,33%) – гетерозиготного генотипа *KCNB1GA* и 35 (29,17%) – гомозиготного генотипа *KCNB1GG*. Частота встречаемости аллеля *KCNB1G* – 0,51, *KCNB1A* – 0,49.

Суточный удой и качественный состав молока исследованного поголовья в разрезе полиморфизма гена *KCNB1* представлены в таблице.

ЗООТЕХНИЯ

Таблица - Продуктивные качества молока исследуемых коров в разрезе полиморфизма гена *KCNB1*

		Генотипы <i>KCNB1</i>	Суточный удой, кг	Массовая доля жира, %	Выход молочного жира, г	Массовая доля белка, %	Выход молочного белка, г	Сумма выхода жира и белка, г
Опытная группа	на начало опыта	AA (n=18)	25,52 ± 2,78	3,78 ± 0,32	958,73 ± 23,98	3,55 ± 0,28	900,77 ± 27,60	1859,50 ± 51,58
		GA (n=25)	26,39 ± 2,21	3,72 ± 0,24	978,17 ± 19,12	3,54 ± 0,23	930,82 ± 17,78	1908,99 ± 36,90
		GG (n=17)	26,93 ± 3,04	3,67 ± 0,34	981,44 ± 20,88	3,58 ± 0,29	958,22 ± 31,15	1939,66 ± 52,03
	на конец опыта	AA (n=18)	25,89 ± 2,72	4,02 ± 0,29	1035,52 ± 34,56*	3,62 ± 0,25	932,68 ± 33,97	1968,20 ± 68,53
		GA (n=25)	27,10 ± 1,98	3,88 ± 0,18	1049,11 ± 28,12	3,61 ± 0,19	975,80 ± 20,11	2024,91 ± 48,23
		GG (n=17)	28,45 ± 2,86	3,74 ± 0,25	1059,26 ± 36,08	3,67 ± 0,29	1038,59 ± 22,96**	2097,85 ± 59,04
Контрольная группа	на начало опыта	AA (n=15)	24,98 ± 2,17	3,81 ± 0,23	948,40 ± 25,39	3,55 ± 0,18	884,19 ± 32,15	1832,59 ± 57,54
		GA (n=27)	26,54 ± 2,14	3,70 ± 0,21	978,98 ± 23,59	3,52 ± 0,20	931,35 ± 22,38	1910,33 ± 45,97
		GG (n=18)	27,16 ± 2,63	3,62 ± 0,25	978,81 ± 27,57	3,60 ± 0,19	974,43 ± 43,17	1953,24 ± 70,74
	на конец опыта	AA (n=15)	24,21 ± 2,46	3,84 ± 0,24	925,73 ± 36,52	3,49 ± 0,16	842,31 ± 47,17	1768,04 ± 83,69
		GA (n=27)	26,43 ± 2,12	3,66 ± 0,19	964,65 ± 27,47	3,53 ± 0,18	930,44 ± 27,35	1895,09 ± 54,82
		GG (n=18)	26,85 ± 2,93	3,64 ± 0,29	971,68 ± 29,20	3,58 ± 0,27	955,96 ± 32,72	1927,64 ± 61,92

Примечание: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,05$

Характер изменений среднесуточного удоя и качественного состава молока в обеих группах учитывали по сравнению с данными, полученными в начале опытного периода. Так, в группе дойных животных с генотипом *KCNB1AA* повысились показатели среднесуточного удоя на 0,37 кг (1,45%), массовой доли жира (МДЖ, %) на 0,24%, выхода молочного жира (ВМЖ, г) на 76,79 г (8,01%) и суммы выхода молочного жира и белка на 108,70 г (5,85%), в то время как в контроле в разрезе этого же генотипа снижение среднесуточного удоя составило 0,77 кг (3,08%), ВМЖ – 22,67 г

(2,39%), выхода молочного белка (ВМБ, г) – 41,88 г (4,74%), а суммы выхода белка и жира – 64,55 г (3,52%).

Среди лактирующих коров опытного поголовья с гетерозиготным генотипом в том же сравнении улучшились значения суточного удоя 0,71 кг (2,69%), МДЖ на 0,16%, ВМЖ на 70,94 г (7,25%), ВМБ на 44,98 г (4,83%) и суммарного значения количества жира и белка на 115,92 г (6,07%). При этом же сравнении у контрольного поголовья показатели существенно не изменились.

В опытной группе гомозиготным

генотипом *KCNBIGG* по сравнению с данными, полученными в начале исследования, выявлено повышение среднесуточного удоя, которое составило 1,52 кг (5,64%), ВМЖ – 77,82 г (7,93%), ВМБ – 80,37 г (8,39%), суммы выхода жира и белка – 158,19 г (8,16%). В контрольной же группе отмечено незначительное снижение по всем показателям.

Существенные различия замечены в опытной и контрольной группах при их сравнительном анализе между собой в полученных итоговых результатах. Среди группы коров с гомозиготным генотипом *KCNBIAA* в опытном поголовье отмечено повышение показателей среднесуточного удоя по сравнению с контрольным поголовьем на 1,68 кг (6,94%), ВМБ г на 90,37 г (10,73%), суммы выхода молочного жира и белка на 200,16 г (11,32%). Установлено достоверное повышение ВМЖ на 109,79 г (11,86%; $p \leq 0,05$).

Отличались и продуктивные качества между поголовьем коров с гомозиготным генотипом *KCNBIGG*: опытная группа превосходила контрольную по удою на 1,60 кг (5,96 %), ВМЖ на 87,58 г (9,01 %), сумме выхода молочного жира и белка на 170,21 г

(8,83%). Отмечено достоверное повышение ВМБ на 82,63 г (8,64%; $p \leq 0,05$).

Схожую динамику по среднесуточному удою за контрольный день наблюдали Kumari Ragini et al. [12] при исследовании индийского скота породы Сахивал – *KCNBIGG* ($9,81 \pm 0,91$) показал значимо ($p \leq 0,05$) более высокие значения по сравнению с генотипами *KCNBIAA* ($7,46 \pm 0,66$) и *KCNBIAG* ($7,55 \pm 0,75$).

Выводы. Данное исследование является первым, оценивающим влияние полиморфизма гена *KCNBI* на продуктивные качества коров голштинской породы. В ходе опыта заключили, что по сравнению с контрольным поголовьем группа коров с генотипом *KCNBIAA* выгодно отличалась по показателям удоя в сутки в среднем на 6,94%, ВМБ на 10,73%, сумме количества жира и белка на 11,32%, в том числе отмечено достоверное повышение ВМЖ на 11,86% ($p \leq 0,05$). При том же сравнении поголовье с генотипом *KCNBIGG* превосходило контрольное по среднесуточному удою на 5,96%, ВМЖ на 9,01%, сумме количества жира и белка на 8,83%, и достоверно превосходило по ВМБ на 8,64% ($p \leq 0,05$).

Литература

1. Анализ нарушений обмена веществ у высокоудойных коров / В. А. Мищенко, А. В. Мищенко, И. В. Ермилов [и др.] // Ветеринария Кубани. 2012. № 6. С. 15-17. EDN PNFBVT.
2. Использование пробиотиков для коррекции нарушения обмена веществ у коров / О. В. Ковалева, Н. В. Санникова, О. В. Шулепова [и др.] // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2021. № 5(190). С. 47-53. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2105-06>. EDN ACAEFO.
3. Молочная продуктивность и качество молока высокопродуктивных коров при использовании инновационной дрожжевой добавки «КЛЮВЕР ПРО» / Н. Д. Чевтаева, И. Т. Бикчантаев, Ф. Ф. Зиннатов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2025. № 5. С. 72-78. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i5pp72-78>.
4. *Kluyveromyces marxianus* as a Probiotic Yeast: A Mini-review. / A. Homayouni, A. Azizi, P. Oroojzadeh [et al.] // Current Nutrition & Food Science. 2020. Vol. 16. No 8. <https://doi.org/10.2174/1573401316666200217113230>.
5. Effect of Supplemental *Kluyveromyces marxianus* and *Pichia kudriavzevii* on Aflatoxin M1 Excretion in Milk of Lactating Dairy Cows / M. Intanoo, M. B. Kongkeitkajorn, W. Suriyasathaporn [et al.] // Animals (Basel). 2020. Vol. 4. № 10. P. 709. <https://doi.org/10.3390/ani10040709>.
6. Дрожжевые микроорганизмы как пробиотики и источник белка / М. Г. Саубенова, Е. А. Олейникова, А. Ж. Алыбаева [и др.] // Микробиология және вирусология. 2023. Т. 42. №3. С. 13-18. <https://doi.org/10.53729/MV-AS.2023.03.01>.
7. Перспективы использования поликомпонентной буферной смеси с включением дрожжей в кормлении коров / Д. М. Фертикова, Е. М. Кислякова, Н. В. Селезнева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. Т. 180. № 3. С. 107-112. – <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-3-107-112>.
8. Чевтаева Н. Д., Зиннатов Ф. Ф., Бикчантаев И. Т. Влияние полиморфизма гена PIT-1 на продуктивные качества высокоудойных коров при скармливании пробиотической добавки «КЛЮВЕР ПРО» // Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли: Материалы международной научной конференции, посвященной 105-летию ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, 10–11 июля 2025 года. Санкт-Петербург: ООО Издательский дом "Сциентиа", 2025. С. 485-487. [https://doi.org/10.32415/scientia_978-5-907902-43-5\(485-487\)](https://doi.org/10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(485-487)). EDN DKXEGP.
9. Genomewide Association Analyses of Lactation Persistency and Milk Production Traits in Holstein Cattle Based on Imputed Whole-Genome Sequence Data / V. B. Pedrosa, F. S. Schenkel, S. Y. Chen [et al.] // Genes. 2021. Vol. 112. No 11. P. 1830. <https://doi.org/10.3390/genes12111830>.
10. Association of udder traits with single nucleotide polymorphisms in crossbred Bos indicus–Bos taurus cows / M. W. Tolleson, C. A. Gill, A. D. Herring [et al.] // Journal of Animal Science. 2017. Vol. 95. No 6. P. 2399–2407. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1475>.
11. Lopdell T. J. Using QTL to Identify Genes and Pathways Underlying the Regulation and Production of Milk Components in Cattle // Animals. 2023. Vol. 13. No 5. P. 911. <https://doi.org/10.3390/ani13050911>.
12. Novel polymorphisms of the *KCNBI* gene and their association with production traits in Indian Sahiwal cattle / R. Kumari, R. Kumar, B. Sinha [et al.] // The Indian Journal of Animal Sciences. 2022. Vol. 92. No 12. <https://doi.org/10.56093/ijans.v92i12.117454>.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Статья подготовлена в рамках государственного задания «Совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиоценозов и агроэкосистем для

производства экологической и функциональной продукции», зарегистрированного по номеру 125031003428-9.

Сведения об авторе:

Чевтаева Наталья Дмитриевна – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: chevtaeva_natasha@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3525-0651>

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

STUDY OF ASSOCIATIONS OF *KCNB1* GENE POLYMORPHISM WITH MILK PRODUCTIVITY AND MILK QUALITY WITH THE INCLUDING “KLYUVER PRO” YEAST ADDITIVE IN THE DIET N. D. Chevtaeva

Abstract. High-producing dairy cattle are particularly susceptible to metabolic disorders and nutrition-related diseases, as their physiology is primarily focused on milk synthesis, even in the face of nutrient deficiencies. This is due to the fact that years of selection for milk yield have led to the development of a lactation dominant system, in which the body devotes a significant portion of its resources to milk production, often to the detriment of other systems. Including yeast probiotics, which have the ability to absorb oxygen in the rumen, in the diet promotes the formation of a favorable anaerobic environment for the normal flora of the rumen. Genetic factors play a significant role in the stable establishment of productive traits in cattle. The aim of this study was to investigate the relationship between the *KCNB1* gene polymorphism (g.78216220G>A) and milk productivity in Holstein cows fed the probiotic yeast supplement “KLYUVER PRO”, based on *Kluyveromyces marxianus* yeast strain. The study involved 120 lactating cows, grouped into 60 cows at Lenin Agricultural Breeding Farm in Atninsky District of the Republic of Tatarstan. The experimental group was additionally fed 20 g of “KLYUVER PRO” per cow per day for 60 days. The study revealed that, compared to the control herd, the group of cows with the *KCNB1* AA genotype that received the supplement demonstrated an average daily milk yield improvement of 6.94%, milk protein yield of 10.73%, and the sum of fat and protein by 11.32%, including a significant increase in milk fat by 11.86% ($p<0.05$). In the same comparison, the herd with the *KCNB1* GG genotype outperformed the control herd in average daily milk yield by 5.96%, milk fat by 9.01%, the sum of fat and protein by 8.83%, and significantly exceeded the control herd in milk protein yield by 8.64% ($p<0.05$).

Key words: dairy cows, genotype, *KCNB1*, feeding, yeast, *Kluyveromyces*, milk productivity.

For citation: Chevtaeva N.D. Study of associations of *KCNB1* gene polymorphism with milk productivity and milk quality with the including “KLYUVER PRO” yeast additive in the diet. Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine. 2025; 264(4). 108-112 p. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_264_108.

References

- Mishchenko VA, Mishchenko AV, Ermilov IV. [Analysis of metabolic disorders in high-yielding cows]. Veterinariya Kubani. 2012; 6. 15-17 p. EDN: PNFBVT.
- Kovaleva OV, Sannikova NV, Shulepova OV. [The use of probiotics for the correction of metabolic disorders in cows]. Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo. 2021; 5(190). 47-53 p. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2105-06>. EDN: ACAEFO.
- Chevtaeva ND, Bikchantaev IT, Zinnatov FF. [Milk productivity and milk quality of highly productive cows when using the innovative yeast additive “KLYUVER PRO”]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2025; 5. 72-78 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i5pp72-78>.
- Homayouni A, Azizi A, Oroojzadeh P. *Kluyveromyces marxianus* as a probiotic yeast: a mini-review. Current Nutrition & Food Science. 2020; Vol.16. No.8. <https://doi.org/10.2174/1573401316666200217113230>.
- Intanoo M, Kongkeithajorn MB, Suriyasathaporn W. Effect of supplemental *Kluyveromyces marxianus* and *Pichia kudriavzevii* on aflatoxin M1 excretion in milk of lactating dairy cows. Animals (Basel). 2020; Vol.4. 10. 709 p. <https://doi.org/10.3390/ani10040709>.
- Saubenova MG, Oleynikova EA, Alybaeva AZh. [Yeast microorganisms as probiotics and a source of protein]. Mikrobiologiya zhane virusologiya. 2023; Vol.42. 3. 13-18 p. <https://doi.org/10.53729/MV-AS.2023.03.01>.
- Fertikova DM, Kislyakova EM, Selezneva NV. [Prospects for the use of a multicomponent buffer mixture with the inclusion of yeast in cow feeding]. Vestnik KrasGAU. 2022; Vol.180. 3. 107-112 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-3-107-112>.
- Chevtaeva ND, Zinnatov FF, Bikchantaev IT. [Influence of PIT-1 gene polymorphism on the productive qualities of high-yielding cows when fed “KLYUVER PRO” probiotic supplement. Priority areas for improving the efficiency, competitiveness and sustainability of agricultural sector]. Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu TatNIISKh FITs KazNTs RAN, Kazan, 10-11 iyulya 2025 goda. Saint-Petersburg: OOO Izdatelskiy dom Stsientia. 2025; 485-487 p. [https://doi.org/10.32415/scientia_978-5-907902-43-5\(485-487\)](https://doi.org/10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(485-487)). EDN DKXEGP.
- Pedrosa VB, Schenkel FS, Chen SY. Genomewide association analyses of lactation persistency and milk production traits in Holstein cattle based on imputed whole-genome sequence data. Genes. 2021; Vol.12. No.11. 1830 p. <https://doi.org/10.3390/genes12111830>.
- Tolleson MW, Gill CA, Herring AD. Association of udder traits with single nucleotide polymorphisms in crossbred *Bos indicus* – *Bos taurus* cows. Journal of Animal Science. 2017; Vol.95. No.6. 2399-2407 p. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1475>.
- Lopdell TJ. Using QTL to identify genes and pathways underlying the regulation and production of milk components in cattle. Animals. 2023; Vol.13. No.5. 911 p. <https://doi.org/10.3390/ani13050911>.
- Kumari R, Kumar R, Sinha B. Novel polymorphisms of the *KCNB1* gene and their association with production traits in Indian Sahiwal cattle. The Indian Journal of Animal Sciences. 2022; Vol.92. No.12. <https://doi.org/10.56093/ijans.v92i12.117454>.

Conflict of interest

The author declares no conflicts of interest. This article was prepared as part of the state contract “Improving integrated domestic technologies for breeding, crop production and livestock farming based on the identification of high-value genotypes, molecular genetic methods, biotechnology and construction of adaptive and highly productive agrobiocenoses and agroecosystems for the production of ecological and functional products”, registered under number 125031003428-9.

Author:

Chevtaeva Natalya Dmitrievna – post-graduate student, junior researcher, e-mail: chevtaeva_natasha@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3525-0651>

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – a separate structural division of Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.

**Требования к оформлению статьи в научно-практическом журнале
«УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ
ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА»**

Предоставляемые к публикации статьи, должны содержать результаты научных исследований в области ветеринарии и зоотехнии. Статьи проходят отбор на критерий актуальности и новизны рассматриваемых научных проблем.

Предполагается проверка предоставленного авторами материала в системе «Антиплагиат», при этом оригинальность должна быть **не менее 75%**. Рекомендуемый объем статьи, включая приложения, должен составлять не менее 10 и не более 14 страниц. Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, размер – 14 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля (обычные) сверху и снизу – 2 см, слева – 2,5 см справа – 1,5 см, абзац (отступ) – 0,5 см (не задавать пробелами), формат – книжный.

Если статья была или будет отправлена в другое издание, то она не может быть принята к рассмотрению в журнале

Оформление статьи

1. Слева в верхнем углу без абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского Института Научной и Технической Информации – ВИНТИ).

2. Ниже, по центру строки название статьи (название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом прописными буквами.

3. Затем жирными строчными буквами – фамилия и инициалы автора(-ов). Пропускается одна строка. **Количество авторов не более 5.** Список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

4. После этого через пробел – реферат статьи (**рекомендуемый объем – 200–250 слов**) отражает тематику статьи, ценность, новизну, основные положения и выводы исследований. Запрещается разбивка реферата на абзацы, использование вводных слов и оборотов. Реферат может публиковаться самостоятельно и, следовательно, должна быть понятной без обращения к тексту статьи. По реферату публикации читатель должен иметь возможность определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Реферат не должен содержать нерасшифрованных сокращений и/или терминов, которые ранее не были представлены.

5. С нового абзаца – ключевые слова (**не более 9 слов**).

Слева строчными буквами печатается «Ключевые слова:» (без кавычек) и через запятую приводятся ключевые слова или словосочетания. Пропускается одна строка.

6. С нового абзаца - «Для цитирования». Записываются выходные данные по статье.

7. При написании научной статьи необходимо придерживаться следующей структуры изложения: **«Введение», «Цель исследований», «Условия, материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».**

8. В случае если ваша статья подготовлена при поддержке и есть необходимость прописать данный источник, добавляем после выводов раздел **Сведения об источнике финансирования:** Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР № 0477–2019–0005 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Информация о конфликте интересов. Статья должна включать любой фактический или потенциальный конфликт интересов. Конфликт интересов – это условия, при которых у людей возникают вступающие в конфликт или конкурирующие интересы, способные повлиять на принятие редакторского решения. Конфликты интересов могут быть потенциальными или осознанными, а также реально существующими. На объективность могут повлиять личные, политические, финансовые, научные или религиозные факторы. Автор обязан уведомить редактора о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в соответствующий раздел статьи. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что «автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

В разделе «Введение» предлагается постановка проблемы, должна быть сформулирована и обоснована цель работы и, если необходимо, рассмотрена ее связь с важными научными и практическими направлениями, дается теоретическое обоснование исследования. Должны присутствовать ссылки на публикации последних лет, в данной области включая зарубежных авторов.

Далее необходимо четко сформулировать **цель исследований** (для чего проводятся исследования результаты, которых приводятся в статье?) без использования таких расплывчатых формулировок как «изучить», «определить» и др., которая будет раскрыта в последующем тексте.

В следующем разделе раскрываются особенности данного исследования, приводятся условия, материалы и методы исследований. Место исследования уточняется до области (края). Следует отразить время, место, методику и условия проведения опытов.

Главный раздел статьи посвящается представлению, анализу и обсуждению результатов. По-

лученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

В завершении представляются выводы и рекомендации.

Подзаголовки и заголовки набираются жирным шрифтом с заглавной буквы. Нумерация ссылок на библиографический список в тексте располагается в порядке упоминания источников. Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например: [1].

9. После основного текста статьи пропускается одна строка и по центру печатается заглавие «Литература» (без кавычек). Через одну строку помещается пронумерованный перечень источников в порядке ссылок по тексту.

Список литературы (**не менее 10 источников и не более 30**) оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и требованиями журнала, тщательно проверяется авторами и приводится в конце статьи. Нумерация ссылок в списке приводится в соответствии с порядком их упоминания в тексте. В одном пункте перечня следует указывать только один источник информации. Злоупотребление самоцитированием не допускается. Доля ссылок на собственные публикации авторов должна составлять **не более 25 %** списка литературы. Цитирование работ какого-либо одного автора, не входящего в состав авторского коллектива рукописи, также не должно превышать 25 %. Рекомендуется ссылаться не более чем на 2 публикации каждого из авторов. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна **превышать 25 %** списка литературы. Доля ссылок на публикации в журналах **из Белого списка** за последние 5 лет должна составлять **не менее 50 % списка литературы**. Ссылки на материалы конференций старше 3 лет не должны **превышать 20 %** списка литературы. **Ссылки на учебники, учебные пособия, авторефераты диссертаций не принимаются.** Число источников в «серийных» ссылках должно быть не более трех.

Все источники должны иметь ссылку в тексте статьи.

Необходимо правильно оформить ссылку на источник. Следует указать фамилии авторов, журнал, год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет (полный URL-адрес) и дата обращения. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Большинство цитируемых источников должны быть доступны через Интернет, либо полными текстами, либо их метаданными. Если источник не имеет DOI (то можно использовать EDN - eLIBRARY Document Number), но его полный текст доступен через Интернет, важно указывать адрес страницы доступа —URL: <https://....> (в таком случае и дату доступа).

Недопустимо использовать в выходных данных цитируемых источников транслитерацию выходных сведений, сопровождающих описание (Vol. (не Tom), страницы –p., pp. (не –s.,ss.), Изд-во – Publ. и т.д., Москва – Moscow и т.д.).

Все списки цитируемой литературы в журнале переводятся/транслитерируются на английский язык.

Примеры оформления ссылок в конце документа.

10. «Сведения об авторах» Ф.И.О. (полностью), ученая степень, должность, e-mail, ORCID, с новой строки, полное наименование организации.

Пропускается одна строка.

11. На английском языке печатается по центру печатается название статьи.

Так же на английском языке слева печатается реферат, затем ключевые слова.

12. «Authors:» – информация на английском языке.

Иллюстрации к статье (при наличии) в формате JPEG, PNG, TIF должны быть четко выполненными, хорошего качества, наглядно иллюстрирующими текст. В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Нумерация рисунков производится в порядке ссылок по тексту. Нумерационный заголовок набирается выравниванием по центру. Тематический заголовков в той же строке, сразу после нумерационного (например: Рис. 1 –. Ссылка на рисунок в основном тексте оформляется в скобках: (рис. 1), если в тексте только один рисунок, то не нумеруется.

Таблицы представляются в редакторе WORD. Нумерация таблиц производится в порядке ссылок по тексту. В тексте статьи обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные таблицы. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру (например: Таблица 1. ...). Ссылка на таблицу в основном тексте оформляется в скобках, например: (табл. 1), если в тексте только одна таблица, то не нумеруется.

Простые **формулы**, не содержащие специальных символов (отсутствующих на клавиатуре), должны быть набраны символами с клавиатуры без использования специальных редакторов. Формулы, содержащие специальные символы (отсутствующие на клавиатуре), а также сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 или Math Type equation. Не допускается набор части формулы символами, а части – в редакторе формул. Не рекомендуется вставлять в текст формулы в виде рисунков. Ссылка на формулы в основном тексте оформляется в скобках, например: (1). В тексте обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные формулы. Если в тексте статьи формулы нумеруются, то эту нумерацию следует выполнить ручным набором чисел. Автоматическая нумерация не

допускается.

Авторы предоставляют в редакцию (одновременно):

– **электронная версия статьи** (по электронной почте: **uch.zap1883@mail.ru**. Файл со статьей следует называть по фамилии первого автора (Иванов И.И. – Определение силы);

– **сведения об авторах** (в электронном виде): Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, полное наименование организации, телефон и адрес для связи, e-mail; эти же сведения на английском языке.

– **сопроводительное письмо** на имя главного редактора журнала, с подписями всех авторов.

Поступившие и принятые к публикации статьи не возвращаются.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию, предоставленная автором рукопись статьи рецензируется, согласно установленного порядка рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлегией в целом.

Редакция оставляет за собой право не регистрировать статьи, не отвечающие настоящим требованиям, а также право на воспроизведение материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража. Рукописи статей подвергаются редакционной обработке. Редакция оставляет за собой право вносить изменения, имеющие редакционный характер и не затрагивающие содержания статьи. Все статьи проходят институт рецензирования (экспертной оценки), по результатам которого редакционная коллегия принимает окончательное решение о целесообразности опубликования. За содержание статей юридическую и иную ответственность несут авторы. В случае отклонения статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

Нельзя использовать в написании статьи чат-боты ChatGPT (искусственный интеллект) – в частности «Текст, сгенерированный с помощью крупномасштабной языковой модели (LLM), такой как ChatGPT, запрещен, если созданный текст не представлен как часть экспериментального анализа статьи». А также нельзя включать в соавторы статьи искусственный интеллект (GPT).

Не допускается публикация более одной статьи одного и того же автора в одном номере журнала.

REQUIREMENTS FOR AUTHORS IN JOURNAL OF RESEARCH AND PRACTICE «SCIENTIFIC NOTES KAZAN BAUMAN ACADEMY OF VETERINARY MEDICINE»

Articles submitted for publication must contain the results of scientific research in the field of veterinary science and animal husbandry. Articles are selected based on the criterion of relevance and novelty of the scientific problems under consideration.

It is assumed that the material provided by the authors will be checked in the Antiplagiat system, and the originality must be at least 75%. The recommended length of the article, including appendices, should be no less than 10 and no more than 14 pages. Articles must be formatted on A4 sheets, font – Times New Roman, size – 14 pt, line spacing – 1.0. Margins (regular) at the top and bottom – 2 cm, on the left – 2.5 cm, on the right – 1.5 cm, paragraph (indent) – 0.5 cm (do not set spaces), format – portrait.

If the article has been or will be sent to another publication, then it cannot be accepted for consideration in the journal

Article design

1. In the upper left corner, without a paragraph, the UDC of the article is printed (check the correctness of the selected UDC on the website of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information - VINITI).

2. Below, in the center of the line, the title of the article (the title of the article should reflect the main idea of the research performed, and be as short as possible) in bold capital letters.

3. Then in bold lowercase letters – the surname and initials of the author(s). One line is missing. The number of authors is no more than 5. The list of authors contains only actual authors and does not include those who are not related to this work, and also that all co-authors have read and approved the final version of the article and agreed to its publication.

4. After this, separated by a space, the abstract of the article (recommended length is 200–250 words) reflects the topic of the article, value, novelty, main provisions and conclusions of the research. It is prohibited to split the abstract into paragraphs and use introductory words and phrases. The abstract can be published independently and, therefore, should be understandable without referring to the text of the article. Based on the abstract of the publication, the reader should be able to determine whether it is worth accessing the full text of the article to obtain more detailed information of interest. The abstract should not contain undefined abbreviations and/or terms that have not previously been presented.

5. From the new paragraph - keywords (no more than 9 words).

On the left, “Key words:” is printed in lowercase letters (without quotes) and key words or phrases are given separated by commas. One line is skipped.

6. From a new paragraph - “For quotation.” The output of the article is recorded.

7. When writing a scientific article, you must adhere to the following structure of presentation: “Introduction”, “Purpose of research”, “Conditions, materials and methods”, “Results and discussion”, “Conclusions”.

8. If your article was prepared with support and there is a need to specify this source, add the section Information about the source of funding after the conclusions: The work was carried out under the state assignment R&D No. 0477–2019–0005 with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Conflict of Interest Information. The article must include any actual or potential conflict of interest. Conflicts of interest are conditions in which people have conflicting or competing interests that could influence editorial decisions. Conflicts of interest may be potential or perceived, as well as real. Objectivity may be affected by personal, political, financial, scientific, or religious factors. The author must notify the editor of any actual or potential conflict of interest by including information about the conflict of interest in the appropriate section of the article. If there is no conflict of interest, then it should be written that “the author declares that there is no conflict of interest.”

In the “Introduction” section, a statement of the problem is proposed, the purpose of the work should be formulated and justified and, if necessary, its connection with important scientific and practical areas should be considered, and a theoretical justification for the study should be given. There must be links to publications of recent years, in this area, including foreign authors.

Next, it is necessary to clearly formulate the purpose of the research (why are the research results being carried out, the results of which are presented in the article?) without using such vague formulations as “study”, “determine”, etc., which will be disclosed in the subsequent text.

The next section reveals the features of this study, provides conditions, materials and research methods. The location of the study is specified to the region (edge). The time, place, methodology and conditions of the experiments should be reflected.

The main section of the article is devoted to the presentation, analysis and discussion of the results. The results obtained should be highlighted from the point of view of their scientific novelty and compared with the corresponding known data.

Finally, conclusions and recommendations are presented.

Subheadings and headings are typed in bold and capitalized. The numbering of references to the bibliographic list in the text is arranged in the order in which the sources are mentioned. References to

literature in the text are given in square brackets, for example: [1].

8. After the main text of the article, one line is skipped and the title "Literature" (without quotes) is printed in the center. After one line, a numbered list of sources is placed in the order of references in the text.

The list of references (at least 10 sources and no more than 30) is drawn up in accordance with GOST R 7.0.5–2008 and the requirements of the journal, is carefully checked by the authors and is given at the end of the article. The numbering of references in the list is given in accordance with the order in which they are mentioned in the text. Only one source of information should be indicated in one entry in the list. Excessive self-citation is not allowed. The share of references to the authors' own publications should not exceed 25% of the list of references. Citations of the works of any one author who is not a member of the authors' collective of the manuscript should also not exceed 25%. It is recommended to cite no more than 2 publications by each of the authors. The share of references to sources older than 10 years should not exceed 25% of the list of references. The share of references to publications in journals from the White List over the past 5 years should be at least 50% of the list of references. References to conference materials older than 3 years should not exceed 20% of the list of references. References to textbooks, teaching aids, dissertation abstracts are not accepted. The number of sources in "serial" references should not exceed three.

All sources must have a link in the text of the article.

It is necessary to properly format the link to the source. You should indicate the names of the authors, journal, year of publication, volume (issue), number, pages, DOI or Internet access address (full URL) and date of access. An interested reader should be able to find the specified literary source as quickly as possible.

Most cited sources should be available online, either in full text or with metadata. If the source does not have a DOI (then you can use EDN - eLIBRARY Document Number), but its full text is available via the Internet, it is important to indicate the access page address -URL: <https://....> (in this case, the date of access).

It is unacceptable to use in the output of cited sources transliteration of the output information accompanying the description (Vol. (not Tom), pages –p., pp. (not –s., ss.), Publisher – Publ., etc. ., Moscow - Moscow, etc.).

All lists of cited literature in the journal are translated/transliterated into English.

Examples of formatting links at the end of a document.

9. "Information about the authors" Full name (in full), academic degree, position, e-mail, ORCID, starting on a new line, full name of the organization. An asterisk indicates the name of the author with whom correspondence should be conducted.

One line is skipped.

10. In English, the title of the article is printed in the center.

Also in English, the abstract is printed on the left, then the keywords.

11. "Authors:" – information in English.

Illustrations for the article (if available) in JPEG, PNG, TIF format must be clearly executed, of good quality, and clearly illustrate the text. The text of the article must contain links to the presented drawings. The figures are numbered in the order of references in the text. The numbered heading is typed by center alignment. Thematic heading in the same line, immediately after the numbering (for example: Fig. 1 -. The link to the figure in the main text is in brackets: (Fig. 1), if there is only one figure in the text, then it is not numbered.

Tables are presented in the WORD editor. The tables are numbered in order of references in the text. The text of the article must contain links to all tables presented. The numbered heading is typed with center alignment (for example: Table 1. ...). A reference to a table in the main text is in parentheses, for example: (Table 1), if there is only one table in the text, it is not numbered.

Simple formulas that do not contain special characters (not on the keyboard) must be typed using symbols from the keyboard without using special editors. Formulas containing special characters (not available on the keyboard), as well as complex and multi-line formulas must be entirely typed in the Microsoft Equation 2.0, 3.0 or Math Typeequation formula editor. It is not allowed to type part of a formula using symbols, and parts – in the formula editor. It is not recommended to insert formulas into the text in the form of pictures. References to formulas in the main text are given in parentheses, for example: (1). The text must contain references to all presented formulas. If formulas are numbered in the text of the article, then this numbering should be done by manually typing numbers. Automatic numbering is not allowed.

The authors provide to the editor (at the same time):

- electronic version of the article (by email: uch.zap1883@mail.ru). The template is below. The file with the article should be named after the surname of the first author (Ivanov I.I. - Definition of power);

- information about the authors (in electronic form) Template below: Full name. (in full), academic degree, academic title, position, full name of the organization, telephone number and contact address, e-mail; the same information is in English. An asterisk indicates the name of the author with whom it is necessary to correspond;

- a covering letter addressed to the editor-in-chief of the journal, with the signatures of all authors.

Template below

– graduate students provide a certificate confirming their place of study.

Articles received and accepted for publication will not be returned.

Provided that the formal requirements for materials for publication are met, the manuscript of the article provided by the author is reviewed in accordance with the established procedure for reviewing manuscripts submitted to the editorial office of the journal. The decision on the advisability of publication after review is made by the editor-in-chief (deputy editors-in-chief), and, if necessary, by the editorial board as a whole.

The editors reserve the right not to register articles that do not meet these requirements, as well as the right to reproduce materials (publication, circulation) without limiting the circulation. Manuscripts of articles are subject to editorial processing. The editors reserve the right to make changes that are editorial in nature and do not affect the content of the article. All articles undergo peer review (expert assessment), based on the results of which the editorial board makes a final decision on the advisability of publication. The authors bear legal and other responsibility for the content of articles. If the article is rejected, the editors send a reasoned refusal to the author.

You cannot use ChatGPT (artificial intelligence) chatbots in writing an article - in particular, "Text generated using a large-scale language model (LLM) such as ChatGPT is prohibited unless the generated text is presented as part of the experimental analysis of the article." And also you cannot include artificial intelligence (GPT) as co-authors of an article.

Publishing articles in the magazine is free.

Articles must be sent to the email address: agrobiotech@kazgau.com

The cost of publishing an article in the journal depends on its volume (information is being clarified. Based on the cost: 1 page of the article (in M. Publisher format) 1500 rubles, review 3000 rubles, translator (proofreader 500 rubles). Articles provided by the author (authors) with violations of any publication requirements or with an incomplete package of documents will not be registered and published in the journal "Scientific notes Kazan Bauman academy of veterinary medicine".

Научно-практический журнал

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КАЗАНСКОЙ АКАДЕМИИ ВЕТЕРИНАРНОЙ
МЕДИЦИНЫ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
Том 264 (4), 2025 г.**

**Редактор – Шайдуллин Р.Р.
Технический редактор – Алишева Е.А.
Коррекция переводов – Галлямова Н.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.**

Формат 60x84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 29.12.2025 год
Печать офсетная. Усл. п. л. 15. Заказ 40. Цена свободная.
Издательство Казанского ГАУ / 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Лицензия на издательскую деятельность код 221 ИД № 06342 от 28.11.2001.
Отпечатано в типографии Казанского ГАУ.
420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Казанский государственный аграрный университет