

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА



Tom Vol. 16 No No 1/2026

Аграрный вестник Северного Кавказа

Том 16 № 1/2026

Периодичность издания — 4 номера в год

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Vol. 16 No 1/2026

The publication is released quarterly

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет

ТЕРРИТОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ:

Российская Федерация, зарубежные страны

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Квочко Андрей Николаевич

доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, заведующий кафедрой физиологии, хирургии и акушерства, Ставропольский государственный аграрный университет

ORCID: 0000-0003-4445-7638

(Ставрополь, Россия)

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Самойленко И. В. – ответственный редактор

Агаркова М. М. – технический редактор

Рязанова М.Н. – выпускающий редактор

Шулякова Е. А. – корректор

АДРЕС: 355017, г. Ставрополь,

пер. Зоотехнический, 12

ТЕЛ. +7 (906) 479-05-79

ЭЛ. ПОЧТА: vapk@stgau.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ УЧРЕДИТЕЛЯ: www.stgau.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ РЕДАКЦИИ: www.vapk26.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-85520 от 11.07.2023

ТИРАЖ: 300 экз.

Индекс журнала в Объединенном каталоге «ПРЕССА РОССИИ».

Газеты и журналы:

Э83308

FOUNDER:

Stavropol State Agrarian University

AREA DISTRIBUTION:

Russia and other countries

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey V. Kvochko

Dr. Sci. (Biol.), Prof., Head of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Stavropol State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-4445-7638
(Stavropol, Russia)

EDITORIAL TEAM

Samoylenko I. V. – Executive Editor

Agarkova M. M. – Technical Editor

Ryazanova M. N. – Publishing Editor

Shulyakova E. A. – Corrector

ADDRESS: 355017, Stavropol, Zootechnical Lane, 12

TEL. +7 (906) 479-05-79

E-MAIL: vapk@stgau.ru

FOUNDER WEBSITE: www.stgau.ru

JOURNAL WEBSITE: www.vapk26.ru

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate PI № FS77-85520 July 11, 2023

CIRCULATION: 300 copies

Index of the subscription to the Combined Catalog. «PRESS OF RUSSIA».

Newspapers and journals:

E83308

Аграрный вестник Северного Кавказа

Научный рецензируемый журнал

Аграрный вестник Северного Кавказа является рецензируемым научным журналом открытого доступа.

Предметное поле журнала охватывает направления, связанные с устойчивым развитием сельского хозяйства, включая:

- разведение, селекцию и генетику животных;
- ветеринарную медицину;
- технологии кормления и производства продукции животноводства;
- инновационные разработки в области агрохимии, почвоведения, садоводства и земледелия;
- экологические аспекты производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;
- селекцию и генетику агрокультур;
- применение интеллектуальных технологий и цифровых решений в сельском хозяйстве.

Особое внимание уделяется адаптации этих направлений к специфическим условиям Северного Кавказа как региона с уникальным агроклиматическим потенциалом, требующим особых подходов к обеспечению устойчивости сельского хозяйства.

Целью журнала является публикация оригинальных исследований и обзорных статей, направленных на изучение новых технологий и методов по решению комплексных задач, способствующих устойчивому развитию аграрного сектора.

Журнал нацелен на российских и зарубежных ученых, практиков, специалистов, аспирантов и студентов для публикации фундаментальных и прикладных региональных, национальных и международных исследований, направленных на повышение уровня знаний и практических навыков в области сельского хозяйства.

Индексируется в базе открытого доступа Directory of Open Access Journals (DOAJ).

Является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ)

и Agricultural Research Information System (AGRIS).

Входит в Белый список научных журналов России (3-й уровень).

Зарегистрирован в перечне Высшей аттестационной комиссии рецензируемых научных изданий (Категория 2).

Индексируется и архивируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная



Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Peer-Reviewed Scientific Journal

Agrarian Bulletin of the North Caucasus is an open-access peer-reviewed journal.

The subject area covers fields related to sustainable agricultural development, including:

- animal breeding, selection and genetics;
- veterinary medicine; feeding technologies and livestock production;
- innovative technologies in agrochemistry, soil science and horticulture;
- environmental aspects of agricultural production, storage and processing;
- crop selection and genetics;
- smart technologies and digital solutions in agriculture.

Special attention is paid to adapting these areas to the specific conditions of the North Caucasus as a region with unique agroclimatic potential, requiring specific approaches to ensuring agricultural sustainability.

The purpose of the journal is to publish reviews and original research articles aimed at studying new technologies and methods for sustainable development of the agricultural sector.

The journal is aimed at scientists, practitioners, specialists, postgraduates and students for the publication of fundamental and applied regional, national and international research aimed at improving the level of knowledge and practical skills in agriculture.

The journal is included in Directory of Open Access Journals (DOAJ), Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP) and Agricultural Research Information System (AGRIS).

Included in Russian White List of journals (3 level).

The journal is registered in the list of the Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications (Category 2).

Indexed and archived in the Russian Index Science Citation.

The materials are available under license Creative Commons «Attribution»
4.0 International



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Квочко Андрей Николаевич доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, заведующий кафедрой физиологии, хирургии и акушерства, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0003-4445-7638 (Ставрополь, Россия)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Самойленко Ирина Владимировна кандидат технических наук, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0001-6907-1403 (Ставрополь, Россия)

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Агаркова Маргарита Михайловна Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0009-0000-9307-3804 (Ставрополь, Россия)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Белова Лариса Михайловна доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины ORCID: 0000-0003-4473-1940 (Санкт-Петербург, Россия)

Белоус Оксана Геннадьевна доктор биологических наук, доцент, федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» ORCID: 0000-0001-5613-7215 (Сочи, Россия)

Гулюкин Михаил Иванович академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко РАН ORCID: 0000-0002-7489-6175 (Москва, Россия)

Епимахова Елена Эдугартовна доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0003-4216-1286 (Ставрополь, Россия)

Есаулко Александр Николаевич доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0003-0441-9055 (Ставрополь, Россия)

Зеки Байрамоглу Dr., PhD, профессор, Сельскохозяйственный факультет, Сельчукский университет ORCID: 0000-0003-3258-3848 (Сельчук, Турция)

Злыднев Николай Захарович доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0001-5216-8559 (Ставрополь, Россия)

Ильина Лариса Александровна доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0003-2789-4844 (Санкт-Петербург, Россия)

Кочиш Иван Иванович академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина ORCID: 0000-0001-8892-9858 (Москва, Россия)

Кощаев Андрей Георгиевич академик РАН, доктор биологических наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина ORCID: 0000-0002-3904-2860 (Краснодар, Россия)

Морозов Виталий Юрьевич	доктор ветеринарных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0002-3688-1546 (Санкт-Петербург, Россия)
Ожередова Надежда Аркадьевна	доктор ветеринарных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0002-1939-5925 (Ставрополь, Россия)
Олейник Сергей Александрович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0002-6003-4777 (Ставрополь, Россия)
Племяшов Кирилл Владимирович	член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины ORCID: 0000-0002-3658-5886 (Санкт-Петербург, Россия)
Подколзин Олег Анатольевич	доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, Центр агрохимической службы «Краснодарский» ORCID: 0000-0002-4962-7678 (Краснодар, Россия)
Ражабов Тошпулот Файзуллоевич	кандидат биологических наук, доцент, Самаркандский государственный университет им. Шарофа Рашидова ORCID: 0000-0003-2859-5694 (Самарканд, Узбекистан)
Скрипкин Валентин Сергеевич	доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0001-8492-0282 (Ставрополь, Россия)
Сотникова Лариса Федоровна	доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) ORCID: 0000-0001-7138-6463 (Москва, Россия)
Сунайна Сингх	PhD, Индийское общество генетических ресурсов растений, Европейская ассоциация научных редакторов ORCID: 0000-0002-3514-6806 (Индия)
Сычев Виктор Гаврилович	академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова ORCID: 0000-0002-2146-5646 (Москва, Россия)
Трухачев Владимир Иванович	академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева ORCID: 0000-0002-4650-1893 (Москва, Россия)
Цховребов Валерий Сергеевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет (Ставрополь, Россия)
Шкуратова Ирина Алексеевна	член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН ORCID: 0000-0003-0025-3545 (Екатеринбург, Россия)
Шутко Анна Петровна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет ORCID: 0000-0002-3517-257X (Ставрополь, Россия)

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey N. Kvochko Dr. Sci. (Biol.), Prof., Head of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0003-4445-7638 (Stavropol, Russia)

EXECUTIVE EDITOR

Irina V. Samoylenko Cand. Sci. (Tech.), Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0001-6907-1403 (Stavropol, Russia)

EDITOR

Margarita M. Agarkova Stavropol State Agrarian University ORCID: 0009-0000-9307-3804 (Stavropol, Russia)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

Zeki Bayramoğlu PhD, Dr., Prof., Faculty of Agriculture, Selçuk University ORCID: 0000-0003-3258-3848 (Selçuk, Turkiye)

Larisa M. Belova Dr. Sci. (Biol.), Prof., Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine ORCID: 0000-0003-4473-1940 (Saint-Petersburg, Russia)

Oksana G. Belous Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences ORCID: 0000-0001-5613-7215 (Sochi, Russia)

Mikhail I. Gulyukin Academician of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Il-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K. I. Skryabin and Ya. R. Kovalenko RAS ORCID: 0000-0002-7489-6175 (Moscow, Russia)

Elena E. Epimakhova Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0003-4216-1286 (Stavropol, Russia)

Aleksandr N. Esaulko Dr. Sci. (Agric.), Prof. of RAS, Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0003-0441-9055 (Stavropol, Russia)

Nikolay Z. Zlydnev Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0001-5216-8559 (Stavropol, Russia)

Larisa A. Ilina Dr. Sci. (Biol.), Prof., Saint-Petersburg State Agrarian University ORCID: 0000-0003-2789-4844 (Saint-Petersburg, Russia)

Ivan I. Kochish Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Prof., Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin ORCID: 0000-0001-8892-9858 (Moscow, Russia)

Andrey G. Koshchaev Academician of RAS, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilina ORCID: 0000-0002-3904-2860 (Krasnodar, Russia)

Vitaly Yu. Morozov Dr. Sci. (Vet.), Assoc. Prof., Saint-Petersburg State Agrarian University ORCID: 0000-0002-3688-1546 (Saint-Petersburg, Russia)

Nadezhda A. Ozheredova Dr. Sci. (Vet.), Prof., Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0002-1939-5925 (Stavropol, Russia)

- Sergey A. Oleynik** Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0002-6003-4777 (Stavropol, Russia)
- Kirill V. Plemyashov** Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine ORCID: 0000-0002-3658-5886 (Saint-Petersburg, Russia)
- Oleg A. Podkolzin** Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Krasnodar Center for Agrochemical Service ORCID: 0000-0002-4962-7678 (Krasnodar, Russia)
- Toshpulot F. Rajabov** Cand. Sci. (Biol.), Samarkand State University named after Sharof Rashidov ORCID: 0000-0003-2859-5694 (Samarkand, Uzbekistan)
- Valentin S. Skripkin** Dr. Sci. (Biol.), Prof., Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0001-8492-0282 (Stavropol, Russia)
- Larisa F. Sotnikova** Dr. Sci. (Vet.), Prof., Russian Biotechnological University (BIOTECH University) ORCID: 0000-0001-7138-6463 (Moscow, Russia)
- Sunaina Singh** PhD, Indian Society of Plant Genetic Resources, European Association of Science Editors ORCID: 0000-0002-3514-6806 (India)
- Viktor G. Sychev** Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Prof., All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov ORCID: 0000-0002-2146-5646 (Moscow, Russia)
- Vladimir I. Trukhachev** Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Dr. Sci. (Econ.), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev ORCID: 0000-0002-4650-1893 (Moscow, Russia)
- Valery S. Tskhovrebov** Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University (Stavropol, Russia)
- Irina A. Shkuratova** Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS ORCID: 0000-0003-0025-3545 (Ekaterinburg, Russia)
- Anna P. Shutko** Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University ORCID: 0000-0002-3517-257X (Stavropol, Russia)

Животноводство и ветеринария

- Е.О. Крупин, А.А. Оздемиров, М.Г. Зухрабов*
Тепловой стресс при разведении крупного рогатого скота на Северном Кавказе: анализ и опыт Республики Дагестан 10
- С.П. Сляров, Р.А. Крылов, Л.А. Ильина, К.С. Савенков, Е.С. Пономарева, В.А. Заикин, Г.Ю. Лаптев*
Влияние подкислителей на микробиоту кишечника и зоотехнические показатели при выращивании свиней на откорме 27
- М.М. Агаркова, Н.В. Агарков, А.Н. Квочко, В.С. Скрипкин, О.В. Дилекова*
Импрессионная цитология в оценке динамики регенерации роговицы после кислотного ожога при лечении биостимулирующими пленками 41
- М.И. Сложенкина, И.Ф. Горлов, Н.И. Мосолова, Т.А. Антипова, О.В. Кудряшова, Е.А. Мосолова, О.В. Сычева*
Влияние породной принадлежности коров на молочную продуктивность, состав молока и показатели качества мягких сыров. 55
- А.А. Усачева, Е.Н. Борхунова, М.А. Кузнецова, А.И. Довгий*
Макроскопические и сонографические корреляции в оценке регенерации ожогового повреждения кожи морских свинок под действием секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток. 69

Агрономия

- Н.Ш. Жумакулова, Ф.Д. Кабулова, К.Т. Истоилов*
Морфологические и биохимические ответные реакции сортов ежевики (*Rubus spp.*) в агроклиматических условиях Самаркандского региона 82
- А.В. Чернов, Е.В. Ченикалова*
Адаптация комплекса вредителей нута к погоднo-климатическим условиям неустойчивого увлажнения Ставропольского края. 91

Экология и биосберегающие технологии

- И.А. Халявин, Е.С. Осина, М.Р. Мурашкин, А.В. Новикова*
Определение пестицидов в подморе пчел с применением газовой хромато-масс-спектрометрии 101

Animal Husbandry and Veterinary Medicine

- Evgeny O. Krupin, Alimsoltan A. Ozdemirov, Mirzabek G. Zukhrabov*
Thermal stress in cattle breeding in the North Caucasus:
Analysis and experience of the Republic of Dagestan 10
- Sergey P. Sklyarov, Ravil A. Krylov, Larisa A. Ilina, Konstantin S. Savenkov, Ekaterina S. Ponomareva,
Vasily A. Zaikin, Georgy Y. Laptev*
Impact of acidifiers on the intestinal microbiota and zootechnical indicators in growing fattening pigs 27
- Margarita M. Agarkova, Nikolai V. Agarkov, Andrei N. Kvochko, Valentin S. Skripkin, Olga V. Dilekova*
Impression cytology in assessing the dynamics of corneal regeneration after acid burn treated
with biostimulating films 41
- Marina I. Slozhenkina, Ivan F. Gorlov, Natalya I. Mosolova, Tatyana A. Antipova, Olga V. Kudryashova,
Elizaveta A. Mosolova, Olga V. Sycheva*
Assessment of the productive qualities of dairy cows of different breeds and their impact
on the quality of soft cheeses 55
- Angelina A. Usacheva, Elena N. Borkhunova, Maria A. Kuznetsova, Andrei I. Dovgii*
Macroscopic and sonographic correlations in the assessment of burn injury regeneration
in guinea pig skin under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells 69

Agronomy

- Noila Sh. Jumakulova, Flora D. Kabulova, Komiljon T. Ismoilov*
Morphological and biochemical responses of blackberry (*Rubus* spp.) cultivars under agro-climatic
conditions of the Samarkand region 82
- Alexander V. Chernov, Elena V. Chenikalova*
Adaptation of the chickpea pest complex to weather and climatic conditions
of the unstable moisture zone in Stavropol krai 91

Ecology and Sustainable Technologies

- Ilya A. Khalyavin, Ekaterina S. Osinova, Michael R. Murashkin, Alla V. Novikova*
Determination of pesticides in bee mortality using gas chromatography-mass spectrometry. 101

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26>

Тепловой стресс при разведении крупного рогатого скота на Северном Кавказе: анализ и опыт Республики Дагестан

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Евгений Олегович Крупин
E-mail: evgeny.krupin@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Крупин Е.О., Оздемиров А.А., Зухрабов М.Г.
Тепловой стресс при разведении крупного рогатого скота на Северном Кавказе: анализ и опыт Республики Дагестан. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):10-26. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26> EDN HADFYE

ПОСТУПИЛА: 15.12.2025

ДОРАБОТАНА: 05.03.2026

ПРИНЯТА: 13.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Крупин Е.О., Оздемиров А.А., Зухрабов М.Г.



Е.О. Крупин ¹ , А.А. Оздемиров ² , М.Г. Зухрабов ³

¹ Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

² Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

³ Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях высоких температур организм крупного рогатого скота самостоятельно регулирует свои физиологические и поведенческие реакции для поддержания внутренней температуры тела в безопасном диапазоне. Температурно-влажностный индекс (ТВИ или ТНІ) является важным экологическим показателем и может помочь определить степень теплового стресса. При этом остается недостаточно изученным влияние факторов внешней среды на развитие скотоводства в специфических агроклиматических условиях регионов Северного Кавказа, в частности Республики Дагестан, где высокая тепловая нагрузка может быть существенным лимитирующим фактором.

ЦЕЛЬ. Получить новые знания о воздействии факторов внешней среды на развитие скотоводства в регионе и установлении их взаимосвязи с достижением производственных показателей на примере разведения крупного рогатого скота в разрезе градации значений ТВИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В качестве объектов анализа были использованы источники баз научного цитирования, статистические данные сельхозпредприятий всех категорий Республики Дагестан и климатические данные. Оценка включала расчет ТВИ, анализ производства скота на убой в живом и убойном весе, объемов выращивания скота в расчете на 1 голову, производства молока и надоя на 1 корову, а также расхода всех кормов.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В регионе выявлены условия, характерные для теплового стресса у крупного рогатого скота (38,67 % значений индекса ТВИ от общего количества проанализированных). Наибольшая тепловая нагрузка на скот отмечается в июле. С увеличением доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, наблюдали определенное снижение производства скота на убой в живом и убойном весе, производства молока, надоя молока на одну корову, увеличение выращивания скота в расчете на 1 голову, расхода кормов для всех половозрастных групп крупного рогатого скота. Величина ТВИ имела достоверную отрицательную средней силы (умеренную) взаимосвязь с показателями объемов производства крупного рогатого скота на убой в живом и убойном весе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты заполняют существовавший пробел в оценке влияния климатических факторов на продуктивность скотоводства в условиях Дагестана и могут служить основой для разработки адаптационных технологий содержания крупного рогатого скота в регионе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: температурно-влажностный индекс, ТВИ, крупный рогатый скот, скотоводство, производство скота, производство молока, надой, расход кормов

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26>

Thermal stress in cattle breeding in the North Caucasus: Analysis and experience of the Republic of Dagestan

CORRESPONDENCE:

Evgeny O. Krupin
E-mail: evgeny.krupin@gmail.com

FOR CITATION:

Krupin E.O., Ozdemirov A.A.,
Zukhrabov M.G.
Thermal stress in cattle breeding
in the North Caucasus: Analysis
and experience of the Republic
of Dagestan. *Agrarian Bulletin of the
North Caucasus*. 2026;16(1):10-26.
(In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26>

RECEIVED: 15.12.2025

REVISED: 05.03.2026

ACCEPTED: 13.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Krupin E.O.,
Ozdemirov A.A.,
Zukhrabov M.G.



Evgeny O. Krupin ¹ , Alimsoltan A. Ozdemirov ² ,
Mirzabek G. Zukhrabov ³

¹ Tatar Research Institute of Agriculture, a branch of the Federal Research Center
“Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia

² Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala,
Russia

³ Dagestan State Agricultural University named after M.M. Dzhambulatov,
Makhachkala, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Under high-temperature conditions, the bovine organism independently regulates its physiological and behavioral responses to maintain internal body temperature within a safe range. The Temperature-Humidity Index (THI) is an important ecological indicator, which can help to determine the degree of thermal stress. However, the impact of environmental factors on the development of cattle breeding in the specific agroclimatic conditions of the North Caucasus regions, particularly the Republic of Dagestan, where high thermal load may be a significant limiting factor, remains insufficiently studied.

AIM. To obtain new knowledge regarding the impact of environmental factors on the development of cattle breeding in the Dagestan region and to establish their relationship with the achievement of production indicators using the example of cattle breeding in the context of THI value gradations.

MATERIALS AND METHODS. The study is based on sources from scientific databases, statistical data from agricultural enterprises of all categories in the Republic of Dagestan, and climatic data. The assessment included calculating the THI, analyzing livestock production for slaughter in live and carcass weight, livestock rearing volumes per head, milk production and milk yield per cow, as well as total feed consumption.

RESULTS. Conditions characteristic of heat stress in cattle were identified in the region (38.67% of the analyzed THI index values). The highest thermal load on livestock is observed in July. With an increase in the proportion of THI index values corresponding to heat stress, a certain decrease was observed in livestock production for slaughter in live and carcass weight, milk production, and milk yield per cow, alongside an increase in livestock rearing per head and feed consumption for all age and sex groups of cattle. The THI value had a significant, moderate negative correlation with the production volumes of cattle for slaughter in live and carcass weight.

CONCLUSION. The obtained results fill the existing gap in assessing the impact of climatic factors on livestock productivity in the conditions of Dagestan and can serve as a basis for developing adaptive technologies for cattle management in the region.

KEYWORDS: temperature-humidity index, THI, cattle, cattle breeding, livestock production, milk production, milk yield, feed consumption

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное потепление, связанное с изменением климата, скорее всего, продолжится, несмотря на все меры по смягчению последствий, принимаемые человечеством. Потепление атмосферы может влиять на мировое животноводство напрямую, ухудшая здоровье, благополучие и продуктивность животных, а также косвенно – снижая качество и количество кормов. В условиях высоких температур организм крупного рогатого скота самостоятельно регулирует свои физиологические и поведенческие реакции для поддержания внутренней температуры тела в безопасном диапазоне. Однако при более интенсивном и продолжительном воздействии высоких температур этого может быть недостаточно. Наиболее тяжело переживают тепловой стресс животные, которых кормят вволю, чтобы добиться максимальной скорости роста, что приводит к значительному повышению температуры их тела. Животные перестают пастись, ищут тень, тяжело дышат и проводят больше времени у поилок. Кроме того, у животных сокращается время жвачки, изменяется как уровень продуктивности, так и физико-химические показатели получаемого молока [1–3].

Отмечается ухудшение общего состояния, слабость, умеренное повышение температуры, тахипноэ и тахикардия. Зачастую метаболические изменения отражают дефицит субстратов основного обмена, которые наиболее выражены у коров новотельного периода и позднего сухостоя – достоверное снижение показателей белкового, липидного и углеводного обмена. Во время теплового стресса (как при легком, так и при стрессе средней и тяжелой степени по сравнению с термонейтральным периодом) у скота наблюдается увеличение значений внеклеточного белка теплового шока 70 (eHsp70), фактора некроза опухоли α , кортизола, инсулина, мочевины, креатинина, общего билирубина, аспаратаминотрансферазы, гамма-глутамилтрансферазы, лактатдегидрогеназы, креатинкиназы, а также снижение значений трийодтиронина, тироксина, неэтерифицированных жирных кислот, глюкозы, β -гидроксibuтирата, кальция, фосфора, общего белка, альбумина, триглицеридов и холестерина. На величину изменения перечисленных показателей оказывает влияние стадия лактации. Отдельные нозологии и сезон обуславливают особенности изменения биомаркеров при тепловом стрессе. Так, у здоровых коров происходит повыше-

ние протеинового спектра крови, а у животных с гепатопатологией, наоборот, наблюдается ингибирование белкового метаболизма. Установлена более высокая активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы в сыворотке крови коров в летний период относительно весеннего [4–6].

Казалось, измерение таких показателей, как уровень кортизола в плазме крови и температуры в прямой кишке, влагалище или рубце, могут быть полезны в части оценки теплового стресса, но являются достаточно инвазивными. Их измерение может вызвать дополнительный стресс у животных из-за манипуляций, которые сами по себе могут исказить результаты. Желательно внедрять не инвазивные альтернативы. Инфракрасная термометрия, например, является оптимальным решением. Предложена термометрия в подмышечной впадине. Считается, что этот метод более чувствителен к температурному режиму окружающей среды, чем ректальная температура. Температура в подмышечной впадине отражает температуру внутренних органов. Кроме того, лоб является относительно надежным участком для оценки теплового стресса, отражающего ректальную температуру, по сравнению с глазами, ушами, щеками, боками, крупом, передней и задней частью вымени [3; 7; 8].

Последствия и тяжесть теплового стресса зависят не только от климатических условий, но и генотипа животных. Установлено, что суточное потребление корма снижается на 0,45 кг в день при каждом увеличении индекса, отражающего тяжесть теплового стресса. Описано влияние систем содержания стада, систем вентиляции, способов доения и утилизации навоза на различия в величинах потерь молока, обусловленных тепловым стрессом. В моделях с экстремально жаркими условиями, вызывающими тепловой стресс, установлено, что средняя относительная погрешность прогнозирования надоев от каждой коровы составляет около 18 % от суточного удоя и всего 2 % от общего надоя [9–11].

Кроме того, сообщалось, что значительно влияние тепловой нагрузки на уровень соматических клеток и белка в молоке. Так, существует взаимосвязь между компонентами молока и соматическими клетками, с одной стороны, и не только температурой, но и влажностью окружающей среды – с другой. При повышении температуры с 6,2 до 31,3 °С содержание молочного белка, жира, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) и соматических клеток значительно снижалось. При этом количе-

ство микроорганизмов в молоке значительно увеличивалось – примерно на 13,7 %. При повышении влажности с 54 до 82 % содержание молочного белка, жира, СОМО и соматических клеток значительно повышалось. Однако при таком же повышении влажности количество микроорганизмов в молоке снижалось на 16,3 % [12; 13].

Для количественной оценки тяжести теплового стресса у молочных коров было разработано множество тепловых индексов, о чем упоминали выше. Температурно-влажностный индекс (ТВИ или THI) является важным экологическим показателем и может помочь определить степень теплового стресса, но не отражает физиологические изменения, происходящие в организме молочных коров при этом. Однако одновременное измерение ТВИ и физиологических показателей (например, температуры тела) было бы полезным для повышения молочной продуктивности скота. Успешная разработка методов автоматического определения показателей позволяет сочетать ТВИ с другими физиологическими показателями (например, температурой тела и двигательной активностью), что поможет комплексно оценивать тепловой стресс у молочных коров и окажет важную техническую поддержку в его предотвращении [14; 15].

Причем микроклиматические параметры (температура, относительная влажность, величины индекса) следует измерять во время доек, в различных точках помещения и достаточно длительно, чтобы накопить существенный массив данных для глубокой аналитики. Существует и скорректированный индекс ТВИ (THI_{adj}), индекс тепловой нагрузки (HLI) и индекс (THIPST), в котором вместо температуры воздуха используется температура поверхности загона. Системы мониторинга параметров микроклимата позволили создать и эффективно использовать в работе информационную модель влияния температурно-влажностных режимов в коровнике на молочную продуктивность животных. Модель позволяет контролировать физиологическое состояние лактирующих коров и с учетом метеопрогноза заблаговременно выполнять организационно-технологические мероприятия для создания комфортных условий для животных [16–18].

Индекс ТВИ широко используется для оценки теплового стресса как в условиях умеренной, так и высокой температуры у молочного скота. Однако исследователи по-разному определяют подходящий диапазон значений ТВИ для обозначения различных уров-

ней стресса. При ТВИ = 72 у животных происходит мало или почти не происходит никаких изменений, но при ТВИ = 74 наблюдаются значительные физиологические изменения. В диапазоне ТВИ от 74 до 79 резких изменений этих параметров не происходит, что позволяет предположить, что в этом диапазоне животные проходят через временную акклиматизацию для поддержания гомеостаза. Как только индекс ТВИ достигает 80 и превышает это значение, гомеостаз нарушается, и у животных снова происходят серьезные физиологические изменения. В целом исследование показывает, что значения индекса ТВИ, указывающие на уровень теплового стресса, зависят от географического положения и вида животного. В другом исследовании также отмечалось, что значения ТВИ ниже 72 означают, что организм коровы находится в благоприятных условиях окружающей среды и не подвержен тепловому стрессу. При индексе ТВИ от 75 до 78 организм животного испытывает тепловой стресс, но механизмы терморегуляции все еще справляются со своей задачей. А вот при индексе ТВИ выше 78 стресс настолько силен, что механизмы терморегуляции не могут поддерживать нормальную температуру тела, а сам показатель существенно ниже пороговых значений, приведенных выше. Отличны и нижеследующие результаты: так, описано, что утром коровы находятся в термонейтральной зоне (индекс ТВИ = 69,59), в полдень испытывают умеренный тепловой стресс (индекс ТВИ = 79,61), а во второй половине дня – сильный (индекс ТВИ = 91,69). Дополнительно установлено, что при сильном тепловом стрессе ректальная температура у стельных лактирующих коров выше аналогичного показателя у нестельных лактирующих коров. Кроме того, температура не влияет на частоту дыхания, равно как и индекс влажности. При умеренном стрессе у стельных коров частота дыхания все-таки несколько (на 1,9 и 2,0 %) выше по сравнению с таковой у нестельных коров при умеренном и сильном стрессе соответственно. В целом, на молочных фермах в регионах с умеренным климатом выявлены оптимальные значения температуры, влажности и индекса ТВИ: 14–18,5 °С, 65–70 % и 52,5–64,5 соответственно [19–22].

Лишь в нескольких исследованиях приводятся пороговые значения температурно-влажностного индекса (ТВИ) для температуры поверхности тела. Средняя температура головы, глаз, щек, ушей, шеи, туловища, вымени, передних и задних конечностей более подходит для определения пороговых значений, чем максимальная. Пороговое значение для щек (ТВИ = 69,1) было самым низким среди поро-

говых значений. На сегодняшний день недостаточно изучено совокупное влияние климата, времени года и расположения фермы на продуктивность различных пород крупного рогатого скота. ТВИ оказал значительное влияние на молочную продуктивность, индекс упитанности и индекс здоровья, а ТВИ = 75 был определен как порог теплового стресса в другом исследовании. Его результаты показывают, что для улучшения первичных и функциональных породных признаков молочного скота, выращиваемого в сложных условиях, необходимо учитывать не только экологические, социальные и климатические факторы одновременно. Значения ТВИ внутри и снаружи коровника сильно коррелировали ($P < 0,001$), а регрессия, предсказывающая значение ТВИ внутри коровника на основе значения ТВИ снаружи, была статистически значимой ($P < 0,001$). Однако регрессии для конкретных ферм имели существенно различающиеся точки пересечения с осью ординат. Включение в регрессию типа отела (осенью или круглый год) и календарного месяца по отдельности или вместе улучшило результаты. Доверительный интервал (CI) 95 % для прогноза составил 10,8 единицы ТВИ для простой однокомпонентной модели (ТВИ снаружи) и 7,8 для трехкомпонентной модели (ТВИ снаружи, календарный месяц, тип отела). Учитывая, что одна единица индекса ТВИ соответствует снижению надою у коров, испытывающих тепловой стресс, примерно на 200 мл, такие ошибки будут иметь биологическое и коммерческое значение [23–25].

Использование данных местных метеостанций для оценки условий на фермах могут привести к недооценке уровня теплового стресса у молочных коров. Адаптация расчета индекса ТВИ с учетом максимальной температуры и минимальной относительной влажности воздуха, полученных с местной метеостанции, вместо их средних значений позволила лучше оценить микроклимат в коровнике. Однако разница между индексом ТВИ, измеренным на ферме, и адаптированным индексом ТВИ, рассчитанным на основе данных метеостанции, оставалась значительной. Несмотря на то, что адаптация индекса ТВИ позволила приблизить его к условиям на ферме, индекс ТВИ, рассчитанный на основе данных метеостанции, следует использовать для оценки уровня теплового стресса у молочных коров только в том случае, если пороговые значения теплового стресса адаптированы с учетом этих данных. Согласно результатам метаанализа, при индексе ТВИ > 72 средний размер эффекта для надоев составляет 50 %,

а степень влияния частоты дыхания и ректальной температуры – примерно 65 и 38 % соответственно. Все три параметра оказывают значительное влияние при тепловом стрессе ($P < 0,0001$). Доказана линейная зависимость между индексом ТВИ, надоем и физиологическими показателями. Что касается других характеристик, то частота дыхания была определена как основной параметр реакции на повышение индекса ТВИ [26; 27].

Несмотря на то, что сухостойные коровы более устойчивы к высоким температурам, чем лактирующие, из-за того, что они не дают молоко, для оценки степени теплового напряжения и потребности в охлаждении в настоящее время используются те же пороговые значения. Пороговые значения температурно-влажностного индекса, при которых у сухостойных коров начинали меняться частота дыхания и ректальная температура, были определены при ТВИ = 77. Значительных пороговых значений ТВИ для потребления сухого вещества выявлено не было. На практике установлено, что у сухостойных коров частота дыхания и ректальная температура резко возрастают при ТВИ = 77. Таким образом, при отсутствии активного охлаждения за сухостойными коровами необходимо тщательно наблюдать, когда индекс ТВИ = 77 или приближается к этому значению, чтобы избежать дальнейших нарушений, связанных с тепловым стрессом, во время сухостойного периода и последующей лактации, а также смягчить возможные последствия для потомства [28].

Тепловой стресс – серьезная проблема при разведении молочного скота даже в высокогорных районах, которые обычно ассоциируются с более прохладным климатом. Интегрированные системы растениеводства, животноводства и лесного хозяйства могут быть использованы для обеспечения более благоприятного микроклимата на пастбищах. Мясной скот, например, выигрывает от более мягкой окружающей среды, что способствует производству продуктов питания и рациональному использованию природных ресурсов. У молодняка порог, при котором частота дыхания и частота сердечных сокращений начинали повышаться, был установлен на уровне 69 для обоих показателей или при температуре сухого термометра 21,0 или 21,5 °C соответственно. Порог для температуры тела установлен не был. В совокупности эти результаты свидетельствуют о том, что температура сухого термометра является подходящим показателем для определения теплового дискомфорта в условиях умеренного летнего климата при индивидуальном содержании

в стойлах. Необходимо следить за состоянием молодняка до тех пор, пока температура окружающей среды не достигнет 21,0 °С, что соответствует частоте дыхания 40 вдохов в минуту и ректальной температуре 38,5 °С. Это обеспечит животным комфортные условия и снизит риск ухудшения их состояния и снижения продуктивности из-за гипертермии [29–31].

Цель исследования – получить новые знания о воздействии факторов внешней среды на развитие скотоводства в регионе и установлении их взаимосвязи с достижением производственных показателей на примере разведения крупного рогатого скота в разрезе градации значений температурно-влажностного индекса (ТВИ, THI).

Формулируется гипотеза, что ежегодные различия в достижении величин тех или иных производственных показателей молочного скотоводства (на примере разведения крупного рогатого скота) в регионе могут быть отчасти обусловлены влиянием условий внешней среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследование основано на глубоком и всестороннем изучении доступных литературных данных по обозначенной выше проблеме и затрагивают различные аспекты развития молочного скотоводства, отраженные как в российских, так и международных базах цитирования – НЭБ eLIBRARY, Google-Scholar, ScienceDirect, Springer Nature.

Отправными точками исследования служили:

- 1) массив ретроспективных сведений статистического учета интересующих нас показателей в разрезе Республики Дагестан за 2011–2022 гг. Выполнен анализ следующих показателей: производство скота на убой в живом весе (тыс. т) – производство скота на убой в убойном весе (тыс. т) – выращено скота в расчете на 1 голову (кг) (2016–2022 гг., см. раздел «Результаты») – производство молока (тыс. т) – надой молока на 1 корову (кг) – расход всех кормов (тыс. т к. ед.);
- 2) массив ретроспективных климатических данных, полученных на 4 метеостанциях Республики Дагестан, расположенных на равнине (2 метеостанции), предгорье (1 метеостанция) и высокогорье (1 метеостанция) за летние месяцы (июнь, июль, август) 2009–2024 гг. в 6, 9,

12 и 15 синоптические сроки по Гринвичскому меридиану (10, 13, 16 и 19 часов по местному времени соответственно). Выполнен анализ следующих показателей: средняя скорость ветра (м/с), максимальная скорость ветра (м/с), температура воздуха по сухому термометру (°С), температура воздуха по влажному термометру; относительная влажность воздуха (%), температура точки росы (°С).

Поскольку данные статистического учета представляются только в разрезе субъекта Российской Федерации в целом и не содержат пространственной градации (равнина, предгорье, высокогорье), то этот фактор нами не рассматривался.

Методы

Проанализированы сведения статистического учета в разрезе хозяйств всех категорий (хозяйства населения (граждане), сельскохозяйственные организации (все сельхозпредприятия), крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели).

Анализ климатических данных лег в основу вычисления температурно-влажностного индекса (ТВИ, Temperature-Humidity Index (THI)) по методикам E. C. Thom (1959), W. Bianca (1962), H. N. Kibler (1964), NRC (1971), M. K. Yousef (1985), T. L. Mader et al. (2006), A. Berman et al. (2016). Для интерпретации и визуализации использованы средние значения установленных величин индексов, которые совокупно дают устойчивую (робастную) агрегированную оценку за счет большего охвата климатических метрик, используемых при вычислении величины индекса в зависимости от той или иной вышеперечисленной методики. Степень комфортности внешней среды для крупного рогатого скота оценили, соотнеся величину температурно-влажностного индекса (ТВИ) со значениями единых, независимо от методики, критериев по соответствующей шкале G. L. Hahn et al. (2009) [32].

Данные заносили в электронные таблицы. С электронными таблицами работали в программах Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics.

Анализ данных

Вычисленные значения индекса ТВИ рассматривали с позиции соответствия или несоответствия критерию «тепловой стресс» в разрезе шкалы G. L. Hahn et al. (2009). В случае, если значение индекса ТВИ соответствовало критерию «тепловой стресс», то на основании градации значений их относили к одной

из следующих степеней тяжести теплового стресса: умеренный, тяжелый и крайне тяжелый. При визуализации взаимосвязи теплового стресса с тем или иным изучаемым производственным показателем применяли не абсолютные значения индекса ТВИ, а их долю за 2011–2022 гг., в совокупности отражающую все степени тяжести теплового стресса. Карту корреляции построили на основании вычисленных значений коэффициентов корреляции Спирмена с учетом нормальности распределения данных и влияния номинальных данных в виде «третьей переменной» – года получения результата за период с 2011 по 2022 г. (2016–2022 гг. для показателя «выращено скота в расчете на 1 голову (кг)»), причем в этом случае использованы фактические значения индекса ТВИ вместо долей.

Статус материалов

Все рисунки являются авторскими построениями, полученными на основании интерпретации и визуализации первичных данных.

Источники данных

- российские и международные базы цитирования;
- отчеты Федеральной службы государственной статистики в разрезе хозяйств всех форм собственности Республики Дагестан за 2011–2022 гг.;
- массивы климатических данных метеостанций Республики Дагестан за 2009–2024 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ величин значений индекса ТВИ за летние месяцы 2009–2024 гг. показал, что в Республике

Дагестан условия внешней среды соответствуют критерию «тепловой стресс» (рисунок 1). За 4 синоптических срока суммарно доля таковых значений составила 38,67 %, тогда как 61,33 % значений указывали на его отсутствие. Причем установлены значения индекса ТВИ, характерные для всех трех степеней тяжести теплового стресса: умеренного, тяжелого и крайне тяжелого. В структуре значений наибольшую долю занимали значения, характерные для умеренного теплового стресса – 27,74 %, тогда как доля значений тяжелого теплового стресса была на 17,75 % ниже и составила 9,99 %. Минимальная доля значений была характерна для крайне тяжелого теплового стресса – 0,94 %.

В каждый из летних месяцев, но в разной доле, были представлены величины индекса ТВИ, соответствующие всем трем выявленным степеням тяжести теплового стресса у крупного рогатого скота (рисунок 2). Наиболее благоприятным для скота являлся июнь с минимальной долей значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, – 23,79 %, а наименее благоприятным – июль с максимальной долей значений ТВИ, характерных для теплового стресса, – 48,83 %. В августе аналогичная доля значений индекса ТВИ составила 45,96 %. В июле и августе наблюдается не только увеличение доли значений ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, но в их структуре увеличивается доля значений, соответствующих умеренному тепловому стрессу на 14,31 и 9,97 %, тяжелому тепловому стрессу – на 9,45 и 10,72 % и крайне тяжелому тепловому стрессу – на 1,28 и 1,48 % соответственно. В целом же преобладает доля значений, свойственных умеренному тепловому стрессу в каждый из летних месяцев: 20,26 % в июне, 34,57 и 30,23 % в июле и августе соответственно.

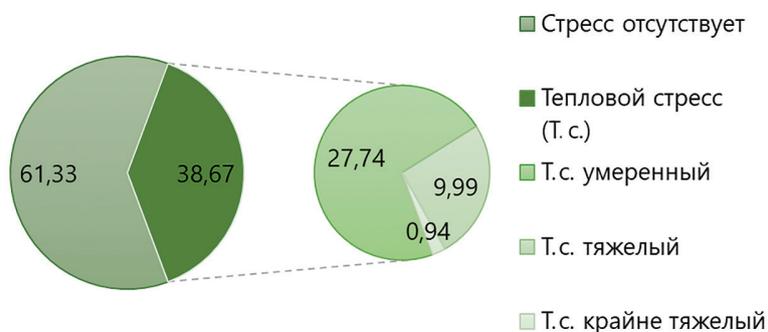


Рисунок 1

Градации теплового стресса по степени тяжести в зависимости от величины индекса ТВИ за летние месяцы 2009–2024 гг., %

Figure 1

Gradation of heat stress by severity level based on the THI index value for the summer months of 2009–2024, %

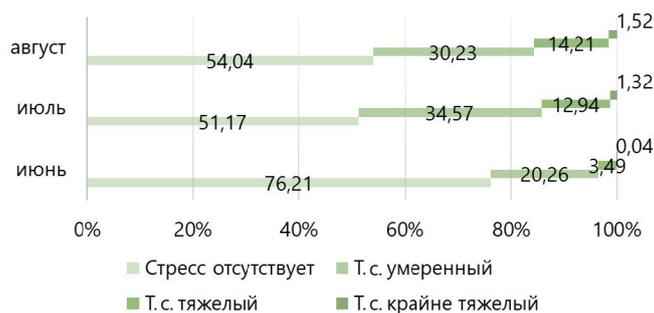


Рисунок 2

Градации теплового стресса по степени тяжести в зависимости от величин индекса ТВИ по месяцам, %

Figure 2

Gradation of heat stress by severity level based on the THI values by month, %

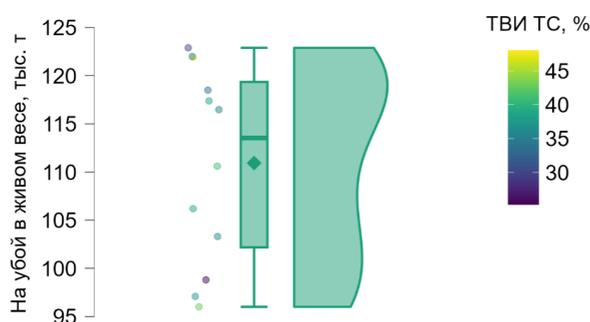


Рисунок 3

Производство скота на убой в живом весе в зависимости от градаций ТВИ

Figure 3

Production of livestock for slaughter in live weight depending on THI gradations

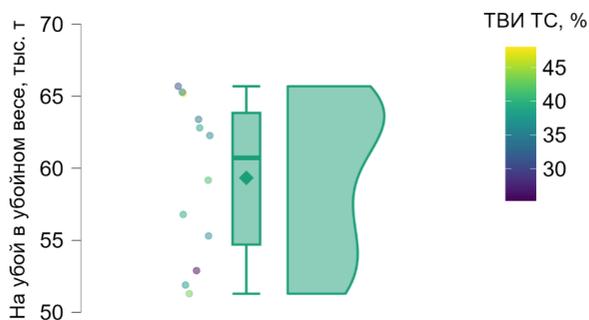


Рисунок 4

Производство скота на убой в убойном весе в зависимости от градаций ТВИ

Figure 4

Slaughter production in slaughter weight, depending on the THI gradations

Производство скота на убой в живом весе за изучаемый период имело восходящий тренд ($y = -0,1208x^2 + 4,3363x + 89,28$, $R^2 = 0,9619$). Среднегодовое значение составило 110,93 тыс. т. При этом медиана превышала среднее значение на 2,35 % и составила 113,54 тыс. т. Нижний и верхний квартили боксплота расположились в диапазоне от 102,18 до 119,35 тыс. т с размахом усов от 96,00 (2012 г.) до 122,89 (2020 г.) тыс. т. С увеличением доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, наблюдали некоторое снижение производства скота на убой в живом весе (рисунок 3).

Производство скота на убой в убойном весе в период с 2011 по 2022 г. имело положительную динамику ($y = -0,0653x^2 + 2,3294x + 47,723$, $R^2 = 0,9632$). Средняя величина и медиана за год при этом соответствовали 59,33 и 60,72 тыс. т, т. е. медиана оказалась выше среднего значения на 2,34 %. Межквартильный размах боксплота составил от 54,70 до 63,84 тыс. т с варьированием значений усов от 51,29 (2012 г.) до 65,69 (2020 г.) тыс. т. Наблюдали аналогичное снижение производства скота на убой в убойном весе по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу (рисунок 4).

В рамках выполняемого исследования нами также было изучено выращивание скота в расчете на 1 голову. Однако стоит оговориться, что имеются некоторые особенности статистического учета данного показателя в отдельные отрезки времени. В полном объеме на протяжении всего периода были представлены данные по сельскохозяйственным предприятиям. А вот сведения о величинах данного показателя в разрезе хозяйств населения (граждан), сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей в период с 2011 по 2015 г. в имеющихся формах отсутствовали, тогда как начиная с 2016 г. они были представлены, что существенно увеличило значения анализируемого показателя в разрезе хозяйств всех форм собственности. Было принято решение пойти по пути исключения наблюдений по списку. Изначально выполнили анализ в разрезе «длинного ряда» – сельскохозяйственных предприятий за период 2011–2022 гг. Было установлено значение $p < 0,001$, что указывало на наличие тренда к увеличению данного показателя с точки зрения данной категории хозяйств. Предположили, что «усеченные» ряды значений с 2016 по 2022 г. могут в полной мере отразить закономерные тенденции изменения изучаемого показателя по региону, исключая «длинные». Далее, применяя повторные измерения, рассмотрели в разрезе каждой из категории хозяйств значения в период с 2016 по 2022 г. с точки зрения величины непараметрического критерия Фридмана ($\chi^2_F = 9,96$), дополнительно установив значение $p < 0,05$, что указало на наличие статистически значимых различий между измерениями в каждой из категорий хозяйств и потребовало дополнительного проведения пост-хок тестов. Парные апостериорные сравнения с помощью критерия Коновера с поправкой Холма установили

достоверные ($p < 0,05$) взаимосвязи только между показателями в разрезе хозяйств населения (граждан), сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей. Это дало основания использовать значения только этих трех категорий хозяйств за период 2016–2022 гг., как критерии, отражающие значимые изменения выращивания скота в расчете на 1 голову по Республике Дагестан в целом за указанный период. Итак, наблюдался тренд к увеличению данного показателя ($y = 0,3968x^2 - 2,3651x + 94,714$, $R^2 = 0,3982$). Среднегодовое значение показателя в разрезе трех категорий хозяйств составило 93,19 кг, тогда как медиана была ниже на 2,35 % и составляла 91,00 кг. Границы нижнего и верхнего квартилей боксплота соответствовали 90,34 и 96,50 кг, тогда как максимальные значения и размах усов находились в диапазоне от 89,67 (2016 г.) до 98,00 кг (2022 г.). Показатели были сконцентрированы в районе верхней и нижней границы боксплота, с наибольшей плотностью – в нижней части диаграммы. Отметим, что по мере увеличения доли значений ТВИ, характерных для теплового стресса, изучаемый показатель выращивания скота в расчете на 1 голову возрастал (рисунок 5).

Производство молока за исследуемый период имело повышающийся тренд ($y = -2,1032x^2 + 52,457x + 612,78$, $R^2 = 0,9891$). Среднее значение показателя за год составило 839,83 тыс. т, в то время как медиана превзошла его на 2,46 %, до уровня 860,53 кг. Нижний и верхний квартили боксплота укладывались в диапазон 782,74–918,00 тыс. т, при размахе усов от 643,38 (2011 г.) до 940,08 (2022 г.) тыс. т. Производство молока имело тренд к снижению по мере того, как возрастала доля значений индекса ТВИ, свойственная тепловому стрессу (рисунок 6).



Рисунок 5

Выращено скота в расчете на 1 голову в зависимости от градаций ТВИ

Figure 5

Livestock production per livestock unit by THI category



Рисунок 6
Производство молока в зависимости от градаций ТВИ

Figure 6
Milk production by Temperature-Humidity Index (THI) categories

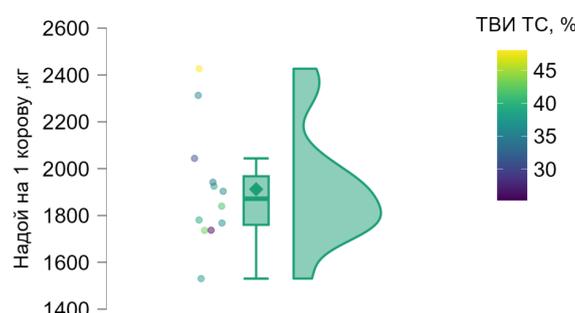


Рисунок 7
Надой молока на одну корову в зависимости от градаций ТВИ

Figure 7
Milk yield per cow depending on THI categories

Надой молока на 1 корову имел тенденцию к увеличению в период с 2011 по 2022 г. ($y = 4,4217x^2 + 6,6259x + 1629,5$, $R^2 = 0,8839$). Среднегодовое значение уровня молочной продуктивности составило 1912,10 кг, при более низком (на 2,12 %) значении медианы – 1871,50 кг. Границы нижнего и верхнего квартилей боксплота соответствовали 1760,06 и 1967,44 кг, тогда как размах усов составил от 1530,50 (2011 г.) до 2043,75 кг (2021 г.). Форма кривой плотности имела выраженный пик, расположенный ниже среднего значения и медианы. Имелись отдельные выбросы значений, расположенных выше верхнего уса. Надой молока на одну корову при этом (без учета выбросов) имел тенденцию к снижению при возрастании доли значений ТВИ, характерных для теплового стресса (рисунок 7).

Годовой расход кормов крупному рогатому скоту (без коров молочного стада, быков-производителей, рабочих волов) имеет нисходящий тренд ($y = -0,7543x^2 + 5,375x + 100,12$, $R^2 = 0,5579$) за период 2011–2022 г. Среднее значение показателя составило 94,20 тыс. т к. ед., тогда как медиана превосходила это значение на 7,86 %, достигая уровня 101,60 тыс. т к. ед. Нижний и верхний квартили охватывали диапазон значений от 73,90 до 113,33 тыс. т к. ед. с варьированием значений усов от 61,10 (2018 г.)

до 131,10 (2016 г.) тыс. т к. ед. Увеличение доли значений индекса ТВИ, свойственных тепловому стрессу, сопровождалось увеличением расхода кормов для крупного рогатого скота (без коров молочного стада, быков-производителей и рабочих волов) (рисунок 8).

Годовой расход кормов коровам молочного стада и быкам производителей также характеризовался отрицательной динамикой ($y = -8,3936x + 254,3$, $R^2 = 0,2692$), снижаясь в период с 2011 по 2022 г. Средняя величина изучаемого показателя составила 199,74 тыс. т к. ед. Медиана же оказалась ниже данного значения на 7,46 % – 184,85 тыс. т к. ед. Межквартильный размах составил от 157,40 до 255,82 тыс. т к. ед., значения варьировали от 121,50 (2020 г.) до 282,89 (2015 г.) тыс. т к. ед. Для коров молочного стада и быков-производителей расход кормов увеличивался по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, характерных для теплового стресса (рисунок 9).

Рассматривая тепловую карту корреляций между изучаемыми показателями, отметим, что величина ТВИ имеет достоверную отрицательную средней силы (умеренную) взаимосвязь с показателями объемов производства крупного рогатого скота на убой в живом и убойном весе.

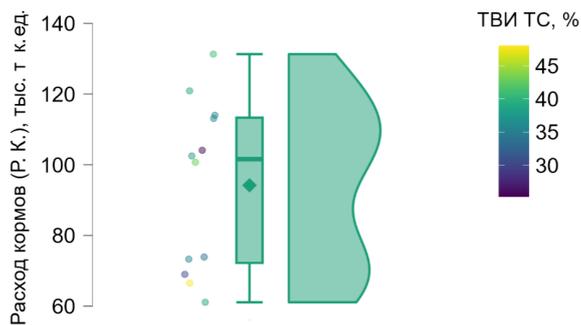


Рисунок 8

Расход кормов для крупного рогатого скота (без коров молочного стада, быков-производителей, рабочих волов) в зависимости от градаций ТВИ

Figure 8

Daily feed intake for cattle excluding dairy cows, breeding bulls, and draft oxen, grouped by THI categories

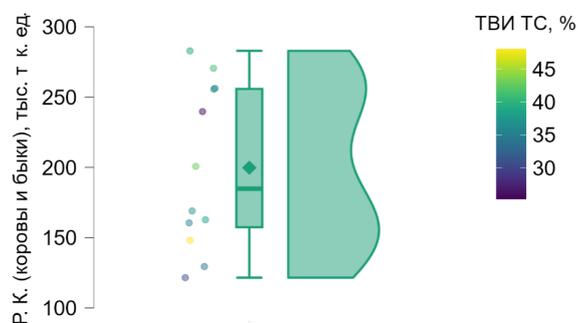


Рисунок 9

Расход кормов для коров молочного стада и быков-производителей в зависимости от градаций ТВИ

Figure 9

Feed intake for dairy cows and breeding bulls depending on THI categories

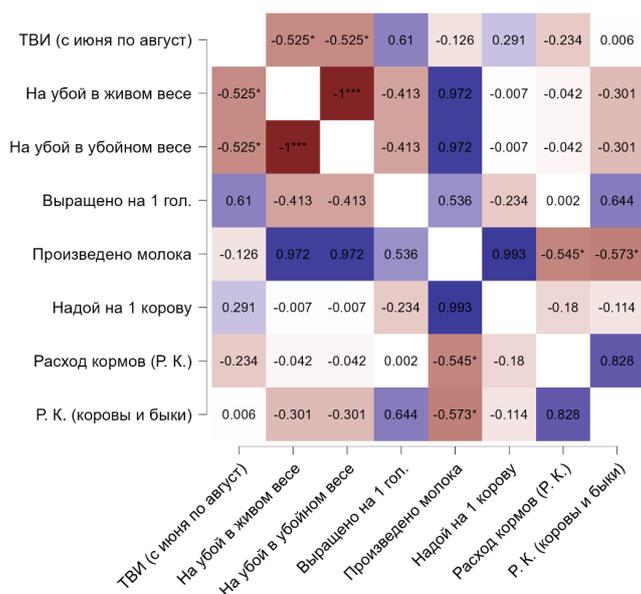


Рисунок 10

Карта корреляций между анализируемыми показателями

Figure 10

Correlation map of the analyzed parameters

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Климатические условия являются одними из основных и решающих факторов, ограничивающих развитие животноводства в регионах с теплым климатом. Тепловой стресс является следствием сочетания нескольких климатических факторов, таких как высокая температура окружающей среды, влажность, солнечная радиация и скорость ветра. Его влияние негативно не только в части ветеринарного благополучия животных, но и уровня их продуктивности. В зависимости от вида и породы крупный рогатый скот может испытывать тепловой стресс при температуре выше 20 °С. Тепловой стресс нарушает баланс свободных радикалов, что приводит к окислительному повреждению клеток и митохондрий. Он меняет характер использования ресурсов организма, в том числе жиров, белков, энергии. Тепловой стресс снижает скорость метаболизма так, что рост, продуктивность, репродуктивная функция и здоровье отходят на второй план и не являются для организма приоритетными факторами [33–35].

Сообщалось, что оценку тепловой нагрузки на организм крупного рогатого скота эффективно проводить на основании вычисления значений индекса, именуемого температурно-влажностным (ТВИ) [36]. Указанные подходы нами также были использованы.

Проблема теплового стресса имеет ярко выраженный региональный аспект и проявляется с различной интенсивностью в зависимости от географического расположения регионов и их природно-климатических особенностей [37]. Мы рассчитали значения вышеуказанного индекса, но применительно к Республике Дагестан и на основании климатических данных, полученных на метеостанциях, расположенных на территории данного субъекта Российской Федерации. Результаты показали наличие 38,67 % значений индекса ТВИ от общего числа рассчитанных, которые в той или иной степени соответствуют критерию «тепловой стресс» за летние месяцы исследуемого периода, причем большая доля из них соответствовала умеренному тепловому стрессу. Июль оказался месяцем с наибольшей долей значений ТВИ, соответствующих тепловому стрессу. В своей работе нами применен подход, когда рассчитывались значения ТВИ для нескольких синоптических сроков, а окончательный результат формулировался исходя из суммирования значений и выделения из общего количества доли каждого, соответствующего различной степени тяжести теплового стресса.

Причем различные авторы используют отличающиеся друг от друга пороговые значения индекса ТВИ. Например, могут применяться более широкие шкалы значений (нижний порог 68, а верхний – 84) и большее число градаций индекса в зависимости от степени тяжести теплового стресса по сравнению с используемой нами [38].

В отличие от дойных коров влияние теплового стресса на скот, разводимый с целью производства мяса, не всегда можно оценить сразу, поскольку его влияние не сиюминутно отражается на таких ежедневных показателях, как надой, и может быть в разной степени выраженным в зависимости от комплексного влияния нескольких факторов [39]. Нами установлено, что в Республике Дагестан наблюдается снижение производства скота на убой в живом и убойном весе по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу. Не исключено и накопительное влияние, обусловленное протяженным по времени воздействием стрессового фактора на организм животных. Вероятное влияние может быть обусловлено изменением в потреблении корма, направленным на снижение теплопродукции, а также менее продуктивным, на этом фоне, действию основных кормов, коих расходуется больше на производство единицы продукции [40]. Видится возможным и снижение генетического потенциала продуктивности скота, полученного от матерей, испытывающих тепловой стресс в период внутриутробного развития плода, что сказывается в дальнейшем на снижении у потомства величин среднесуточных приростов живой массы. Однако в основе этого – также снижение потребления корма. Хотя в целом полного согласия с данным утверждением в литературе нет [41]. Несмотря на это, в нашей работе также отмечалось, что у всех половозрастных групп крупного рогатого скота возрастает расход кормов по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, характерных для теплового стресса. Это может быть следствием прохождения корма транзитом через отделы желудочно-кишечного тракта, направленным на снижение образования тепла в организме жвачных, тогда как большинство исследователей сообщают о снижении потребления корма, отмечая, что коровы, которые потребляют больше корма и менее продуктивны, более подвержены тепловому стрессу. В целом корректировки в кормлении могут смягчить некоторые негативные последствия для здоровья и продуктивности животных, но по сравнению с изменением окружающей среды манипуляции с рационом коров для адаптации к тепловому стрессу слабо влияют

на изменения продуктивности [42; 43]. Не исключаем и большую потерю веса скотом в период теплового стресса в момент транспортировки на убойный пункт, о чем сообщалось в работе В. Теке [44; 45].

Сообщалось, что у коров с повышенной температурой тела снижается потребление сухого вещества. По меньшей мере 40 % снижения молочной продуктивности может быть связано именно с этим. Но имеет место и прямое влияние на общий обмен веществ и термоустойчивость клеток. Имеются и более конкретные данные. В период теплового стресса у коров, находящихся в разгаре лактации, при каждом увеличении ТВИ на единицу потребление сухого вещества снижается на 4,13 %, а выход скорректированного по энергии молока – на 3,25 % [46; 47].

Вышеизложенное помогает понять динамику изменения молочной продуктивности и в какой-то мере дает объяснение наблюдаемому, в том числе и в нашем исследовании, снижению производства молока в целом и надоя молока в частности на фоне роста показателей ТВИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом отметим, что установленная нами структура стресс-условий для молочного скота в разрезе лет имеет сезонную неоднородность, хотя неизменно включает как умеренные, так и тяжелые и крайне тяжелые эпизоды. Представленный в данной работе анализ тепловых индексов (ТВИ) отразил интенсивность воздействия стрессора на эффективность разведения крупного рогатого скота в Республике Дагестан и может быть полезен для выработки плана профилактических мероприятий по защите скота от теплового стресса в хозяйствах всех форм собственности и его реализации в наиболее критические месяцы лета – июль и август. Очевидно, что в ответ на тепловую нагрузку

Вклад авторов

Е. О. Крупин: концептуализация, методология, верификация данных, создание рукописи и ее редактирование, руководство исследованием.

А. А. Оздемиров: программное обеспечение, формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация.

М. Г. Зухрабов: методология, верификация данных, создание рукописи и ее редактирование.

организм крупного рогатого скота включает адаптационные реакции, направленные на поддержание теплового баланса, изменяя поведенческие, усиливая конкуренцию за энергию между поддержанием гомеостаза и продуктивностью. Тепловой стресс может сопровождаться перестройкой регуляторных систем и иммуновоспалительного гомеостаза, включая усиление окислительного стресса и функциональные изменения иммунной реактивности. В прикладном смысле это может проявляться не только явными клиническими событиями, но и ростом доли субклинических потерь и повышенной чувствительности к неблагоприятным сочетаниям факторов внешней среды и технологий (содержания, кормления и эксплуатации), что побуждает проводить мониторинговые мероприятия по анализу климатических данных и вычисления ТВИ на протяжении всего летнего сезона.

Исследованиями подчеркнули наличие условий, характерных для теплового стресса у скота на территории Республики Дагестан, установленных величинами ТВИ в объеме 38,67 % от общего количества анализированных вычислений индекса. Апробированная на примере Республики Дагестан шкала градации индекса ТВИ, разработанная G. L. Hahn et al. (2009), в зависимости от степеней тяжести теплового стресса показала свою валидность и результативна при использовании на Северном Кавказе.

Наибольшая тепловая нагрузка на скот отмечается в июле. С увеличением доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, наблюдали определенное снижение производства скота на убой в живом и убойном весе, производства молока, надоя молока на одну корову, увеличение расхода кормов для всех половозрастных групп крупного рогатого скота. Величина ТВИ имеет достоверную отрицательную средней силы (умеренную) взаимосвязь с показателями объемов производства крупного рогатого скота на убой в живом и убойном весе.

Contributions

E. O. Krupin: conceptualization, methodology, validation, writing-review & editing, project administration.

A. A. Ozdemirov: software, formal analysis, investigation, writing-original draft, visualization.

M. G. Zukhrabov: methodology, validation, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Islam M.A., Lomax S., Doughty A. et al. Automated monitoring of cattle heat stress and its mitigation. *Frontiers in Animal Science*. 2021;2:737213. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.737213>
2. Osei-Amponsah R., Dunshea F.R., Leury B.J. et al. Heat stress impacts on lactating cows grazing Australian summer pastures on an automatic robotic dairy. *Animals*. 2020;10(5):869. <https://doi.org/10.3390/ani10050869>
3. Idris M., Uddin J., Sullivan M. et al. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*. 2021;11(1):71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
4. Белоусов А.И., Шкуратова И.А., Красноперов А.С. и др. Влияние теплового стресса на коров в сухостойный и послеродовой период. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022;(3):93-101. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-93-101>
Belousov A.I., Shkuratova I.A., Krasnoperov A.S. et al. Influence of heat stress on cows during the dry and postpartum period. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022;(3):93-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-93-101>
5. Blond B., Majkić M., Spasojević J. et al. Influence of heat stress on body surface temperature and blood metabolic, endocrine, and inflammatory parameters and their correlation in cows. *Metabolites*. 2024;14(2):104. <https://doi.org/10.3390/metabo14020104>
6. Кузьмина Е.В., Рудь Е.Н., Семенов М.П., Абрамов А.А. Состояние биохимического профиля крови и уровня эндогенной интоксикации у коров с гепатопатиями в условиях теплового стресса. *Ветеринария сегодня*. 2022;11(2):135-141. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-135-141>
Kuzminova E.V., Rud E.N., Semenenko M.P., Abramov A.A. Biochemical blood parameters and level of endogenous intoxication in cows suffering from hepatopathies under heat stress. *Veterinary Science Today*. 2022;11(2):135-141. (In Russ.) <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-135-141>
7. Shu H., Wang W., Guo L., Bindelle J. Recent advances on early detection of heat strain in dairy cows using animal-based indicators: A review. *Animals*. 2021;11(4):980. <https://doi.org/10.3390/ani11040980>
8. Peng D., Chen S., Li G. et al. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *International Journal of Biometeorology*. 2019;63(3):327-336. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01666-x>
9. Chang-Fung-Martel J., Harrison M.T., Brown J.N. et al. Negative relationship between dry matter intake and the temperature-humidity index with increasing heat stress in cattle: a global meta-analysis. *International Journal of Biometeorology*. 2021;65(12):2099-2109. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02167-0>
10. Муханина Е.Н., Шакиров Ш.К., Сафина Н.Ю., Гайнутдинова Э.Р. Изучение негативного влияния теплового стресса на показатели молочной продуктивности коров при различных способах содержания. *Международный вестник ветеринарии*. 2024;(4):509-517. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.4.509>
Mukhanina E.N., Shakirov Sh.K., Safina N.Yu., Gainutdinova E.R. Study of the negative effect of heat stress on dairy productivity of cows under different housing methods. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2024;(4):509-517. (In Russ.) <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.4.509>
11. Bovo M., Agrusti M., Benni S. et al. Random forest modelling of milk yield of dairy cows under heat stress conditions. *Animals*. 2021;11(5):1305. <https://doi.org/10.3390/ani11051305>
12. Bokharaeian M., Toghdory A., Ghoorchi T. et al. Quantitative associations between season, month, and temperature-humidity index with milk yield, composition, somatic cell counts, and microbial load: A comprehensive study across ten dairy farms over an annual cycle. *Animals*. 2023;13(20):3205. <https://doi.org/10.3390/ani13203205>
13. Toghdory A., Ghoorchi T., Asadi M. et al. Effects of environmental temperature and humidity on milk composition, microbial load, and somatic cells in milk of Holstein dairy cows in the northeast regions of Iran. *Animals*. 2022;12(18):2484. <https://doi.org/10.3390/ani12182484>

14. Yan G., Li H., Shi Z. Evaluation of Thermal Indices as the Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a Temperate Climate. *Animals*. 2021;11(8):2459. <https://doi.org/10.3390/ani11082459>
15. Liu J., Li L., Chen X. et al. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress – A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019;32(9):1332. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0743>
16. Dimov D., Penev T., Marinov I. Thermal microclimate assessment in dairy cow milking parlors: Seasonal variations in temperature-humidity index and implications for heat stress. *Veterinary World*. 2025;18(7):2024. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2024-2030>
17. Arias R.A., Mader T.L. Evaluation of four thermal comfort indices and their relationship with physiological variables in feedlot cattle. *Animals*. 2023;13(7):1169. <https://doi.org/10.3390/ani13071169>
18. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Информационная модель влияния теплового стресса на молочную продуктивность коров. *Аграрный научный журнал*. 2022;(2):69-72. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp69-72>
Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Information model of heat stress effect on lactation performance of cows. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2022;(2):69-72. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp69-72>
19. Jeelani R., Konwar D., Khan A. et al. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. *Journal of Thermal Biology*. 2019;82:99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.017>
20. Dimov D., Penev T., Marinov I. Temperature-humidity index—an indicator for prediction of heat stress in dairy cows. *Veterinarija ir Zootechnika*. 2020;78(100):10-15.
21. Valdivia-Cruz J.C., Reyes-González J.J., Valdés-Paneque G.R. Effect of temperature and humidity index (THI) on the physiological responses of grazing dairy cows. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2021;55(1):21-29.
22. Kibar M., Aytekin İ., Özkan İ.A. Fuzzy logic model for determining optimal Temperature-Humidity index values in dairy farms in temperate climate. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2025;28(1):61-73. <https://doi.org/10.1080/10888705.2024.2400137>
23. Yan G., Shi Z., Li H. Critical temperature-humidity index thresholds based on surface temperature for lactating dairy cows in a temperate climate. *Agriculture*. 2021;11(10):970. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100970>
24. Mullakkalparambil Velayudhan S., Brügemann K., Pinto A. et al. Effects of heat stress across the rural-urban interface on phenotypic trait expressions of dairy cattle in a tropical savanna region. *Sustainability*. 2022;14(8):4590. <https://doi.org/10.3390/su14084590>
25. Chamberlain A.T., Powell C.D., Arcier E., Aldenhoven N. The relationship between on-farm environmental conditions inside and outside cow sheds during the summer in England: can Temperature Humidity Index be predicted from outside conditions? *Animal – Open Space*. 2022;1(1):100019. <https://doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100019>
26. Ouellet V., Bellavance A.L., Fournel S., Charbonneau É. Summer on-farm environmental condition assessments in Québec tiestall farms and adaptation of temperature-humidity index calculated with local meteorological data. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(8):7503-7508. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16159>
27. Kulaz E., Ser G. A meta-analysis of heat stress in dairy cattle: The increase in temperature humidity index affects both milk yield and some physiological parameters. *Czech Journal of Animal Science*. 2022;67(6). <https://doi.org/10.17221/1/2022-CJAS>
28. Ouellet V., Toledo I.M., Dado-Senn B. et al. Critical temperature-humidity index thresholds for dry cows in a subtropical climate. *Frontiers in Animal Science*. 2021;2:706636. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.706636>
29. Ratni E., Islam D., Rachman K.I. Temporal and Spatial Variations of Temperature-Humidity Index Related to Heat Stress in High-Altitude Dairy Cattle Farms. *Andalasian Livestock*. 2025;2(1):98-106. <https://doi.org/10.25077/alive.v2.n1.p98-106.2025>
30. Giro A., Pezzopane J.R.M., Junior W.B. et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of the Total Environment*. 2019;684:587-596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>

31. Dado-Senn B., Ouellet V., Lantigua V. et al. Methods for detecting heat stress in hutch-housed dairy calves in a continental climate. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(2):1039-1050. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22237>
32. Крупин Е.О. Оценка теплового стресса на основе анализа параметров внешней среды и микроклимата животноводческих помещений. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021;(3):68-71. <https://doi.org/10.31857/S2500262721030133>
Krupin E.O. Heat stress evaluation based on the analysis of external environment parameters and microclimate of livestock buildings. *Russian Agricultural Science*. 2021;(3):68-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2500262721030133>
33. Renaudeau D., Collin A., Yahav S. et al. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 2012;6(5):707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
34. Herbut P., Angrecka S., Godyń D., Hoffmann G. The physiological and productivity effects of heat stress in cattle—a review. *Annals of Animal Science*. 2019;19(3):579-593. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0011>
35. Belhadj Slimen I., Najar T., Ghram A., Abdrabba M. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2016;100(3):401-412. <https://doi.org/10.1111/jpn.12379>
36. Ekine-Dzivenu C.C., Mrode R., Oyieng E. et al. Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science*. 2020;242:104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
37. Крупин Е.О. Тепловой стресс у молочного скота в Приволжском федеральном округе Российской Федерации: миф или реальность (ретроспективный анализ с 1970 по 2024 г.). *Аграрная наука*. 2025;(12):59-67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67>
Krupin E.O. Heat stress in dairy cattle in the Volga Federal District of the Russian Federation: myth or reality (a retrospective analysis from 1970 to 2024). *Agrarian science*. 2025;(12):59-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67>
38. Leliveld L.M.C., Lovarelli D., Riva E., Provolo G. Dairy cow behaviour and physical activity as indicators of heat stress. *Italian Journal of Animal Science*. 2025;24(1):772-783. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2471545>
39. Summer A., Lora I., Formaggioni P., Gottardo F. Impact of heat stress on milk and meat production. *Animal Frontiers*. 2019;9(1):39-46. <https://doi.org/10.1093/af/vfy026>
40. Mitlöchner F.M., Galyean M.L., McGlone J.J. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *Journal of Animal Science*. 2002;80(8):2043-50. <https://doi.org/10.2527/2002.8082043x>
41. Tao S., Dahl G.E. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(7):4079-4093. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6278>
42. Nascimento B.M., Parker Gaddis K.L., Koltes J.E. et al. Impact of heat stress on dry matter intake and residual feed intake in mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(7):7345-7353. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26574>
43. Глазков А.В., Валошин А.В. Стратегии кормления дойных коров красно-пестрой породы в условиях теплового стресса. *Промышленность и сельское хозяйство*. 2020;(12):9-12.
Glazkov A.V., Valoshin A.V. Feeding strategies for red-and-white cows under heat stress. *Industry and Agriculture*. 2020;(12):9-12. (In Russ.)
44. Teke B. Shrink and mortality of beef cattle during long distance transportation. *Animal Welfare*. 2013;22(3):379-384. <https://doi.org/10.7120/09627286.22.3.379>
45. Correa-Calderón A., Avendaño-Reyes L., López-Baca M., Macías-Cruz U. Heat stress in dairy cattle with emphasis on milk production and feed and water intake habits. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2022;13(2):488-509. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>
46. West J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(6):2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
47. Chen L., Thorup V.M., Kudahil A.B., Ostergaard S. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(5):3207-3218. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059>

Сведения об авторах

Крупин Евгений Олегович –

доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

SPIN-код: 5341-0386

evgeny.krupin@gmail.com

Оздемиров Алимсолтан Ахмедович –

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

SPIN-код: 4308-1664

alim72@mail.ru

Зухрабов Мирзабек Гашимович –

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой терапии и клинической диагностики, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

SPIN-код: 1355-0461

terapia.daggau@mail.ru

About the authors

Evgeny O. Krupin –

Dr. Sci. (Vet.), Senior Researcher, Department of Animal Physiology, Biochemistry, Genetics and Nutrition, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Science», Kazan, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

evgeny.krupin@gmail.com

Alimsoltan A. Ozdemirov –

Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding, Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

alim72@mail.ru

Mirzabek G. Zukhrabov –

Dr. Sci. (Vet.), Prof., Head of the Department of Therapy and Clinical Diagnostics, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia

terapia.daggau@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-27-40>

Влияние подкислителей на микробиоту кишечника и зоотехнические показатели при выращивании свиней на откорме

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Сергей Павлович Скляр
E-mail: ssklyar@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Скляр С.П., Крылов Р.А., Ильина Л.А., Савенков К.С., Пономарева Е.С., Заикин В.А., Лаптев Г.Ю.
Влияние подкислителей на микробиоту кишечника и зоотехнические показатели при выращивании свиней на откорме. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):27-40. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-27-40> EDN HGQWXT

ПОСТУПИЛА: 23.12.2025

ДОРАБОТАНА: 25.02.2026

ПРИНЯТА: 10.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Скляр С.П., Крылов Р.А., Ильина Л.А., Савенков К.С., Пономарева Е.С., Заикин В.А., Лаптев Г.Ю.



С.П. Скляр¹ , Р.А. Крылов¹, Л.А. Ильина¹ , К.С. Савенков¹ , Е.С. Пономарева² , В.А. Заикин² , Г.Ю. Лаптев¹ 

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В настоящее время поиск технологий, способных увеличить сохранность, продуктивность, иммунитет поголовья и воспрепятствовать развитию резистентности микробиоты к антибиотикам, является приоритетным в свиноводстве. Основными современными средствами профилактики являются антибиотики, которые, вызывая гибель нормофлоры и развитие дисбиозов, способствуют распространению резистентности, в связи с чем представляют угрозу для здоровья человека. Для решения обозначенной проблемы широкую перспективу имеют подкислители, воздействующие на микробиоту кишечника, метаболизм и продуктивные качества животных.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние подкислителей на микробиоту кишечника и зоотехнические показатели при выращивании свиней на откорме.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объектом исследований служили свиньи на откорме, в рацион которых в возрасте 78 суток вводили подкислители. Эксперимент проводили на базе комплекса АО «Свинокомплекс «Приозерный» (Ленинградская область, Россия). Для проведения эксперимента формировали 3 группы животных-аналогов: контрольная группа с применением стандартного рациона, опытная группа 1 с применением нового подкислителя МетаБак, опытная группа 2 с применением подкислителя Продактив Ацид SE. Эксперимент длился в течение трех недель, после чего проводили отбор содержимого кишечника животных для исследования микробиоты кишечника с применением метода NGS-секвенирования. По окончании периода оторма оценивали зоотехнические показатели, включая живую массу, сохранность и конверсию корма.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено позитивное влияние применения обоих подкислителей на исследуемые показатели. Наилучшие результаты по сохранности и приросту живой массы достигнуты при использовании в рационах подкислителя нового МетаБак: показатель среднесуточного прироста составил 953 г (+4,27 %), сохранность – 99,07 %. Применение обоих препаратов способствовало нормализации микробиоты кишечника – повышению содержания микроорганизмов, связанных с метаболическими свойствами. Наименьшее содержание условно-патогенных и нежелательных бактерий выявлено в результате использования нового подкислителя МетаБак, на фоне которого происходило снижение количества микроорганизмов семейств *Burkholderiales* в 2,25, *Campylobacteriales* в 1,4 раза, *Mycoplasma* – до полного вытеснения из микробного сообщества кишечника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании результатов эксперимента можно заключить, что исследуемые подкислители в рационах свиней на откорме нормализуют микробиоту кишечника и улучшают зоотехнические показатели выращивания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микробиота кишечника, свиньи, откорм, подкислители

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-10-23>

Impact of acidifiers on the intestinal microbiota and zootechnical indicators in growing fattening pigs

CORRESPONDENCE:

Sergey P. Sklyarov

E-mail: ssklyar@mail.ru

FOR CITATION:

Sklyarov S.P., Krylov R.A., Ilina L.A., Savenkov K.S., Ponomareva E.S., Zaikin V.A., Laptev G.Y.
Impact of acidifiers on the intestinal microbiota and zootechnical indicators in growing fattening pigs. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(1):27-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-27-40>

RECEIVED: 23.12.2025

REVISED: 25.02.2026

ACCEPTED: 10.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Sklyarov S.P., Krylov R.A., Ilina L.A., Savenkov K.S., Ponomareva E.S., Zaikin V.A., Laptev G.Y.



Sergey P. Sklyarov ¹ , Ravil A. Krylov ¹, Larisa A. Ilina ¹ , Konstantin S. Savenkov ¹ , Ekaterina S. Ponomareva ² , Vasily A. Zaikin ² , Georgy Y. Laptev ¹ 

¹ Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

² BIOTROF, LLC, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Currently, the search for technologies that can improve the survival, productivity, and immunity of livestock and prevent the development of antibiotic resistance in the microbiota is a priority. Antibiotics, which destroy normal flora and develop dysbiosis, contribute to the spread of resistance, and therefore pose a threat to human health, are the primary preventative measures. Acidifiers, which affect the intestinal microbiota, metabolism, and productive performance of animals, hold great promise for solving this problem.

AIM. To study the effect of acidifiers on the intestinal microbiota and zootechnical performance in fattening pigs.

MATERIALS AND METHODS. The study involved fattening pigs, whose diets were supplemented with acidifiers at 78 days of age. The experiment was conducted at the Priozerny Pig Complex (Leningrad oblast, Russia). For the experiment, three groups of animals were formed: a control group fed a standard diet, experimental group 1 fed the new acidifier MetaBak, and experimental group 2 fed the acidifier Productiv Acid SE. The experiment lasted two weeks, after which intestinal contents were sampled for microbiota analysis using NGS sequencing. At the end of the fattening period, zootechnical parameters, including live weight, livability, and feed conversion, were assessed.

RESULTS. A positive effect of both acidifiers on the parameters studied was established. The best results in livability and live weight gain were achieved with the use of the new acidifier MetaBak in the diets: the average daily gain was 953 g (+4.27%), and livability was 99.07%. The use of both products contributed to the normalization of the intestinal microbiota, increasing the content of microorganisms associated with metabolic properties. The lowest levels of opportunistic and undesirable bacteria were detected with the use of the new MetaBak acidifier, which resulted in a 2.25-fold reduction in the number of *Burkholderiales*, a 1.4-fold reduction in *Campylobacteriales*, and a complete elimination of *Mycoplasma* from the intestinal microbial community.

CONCLUSION. Based on the experimental results, it can be concluded that the studied acidifiers in fattening pig diets normalize the intestinal microbiota and improve zootechnical performance.

KEYWORDS: intestinal microbiota, pigs, fattening, acidifiers

ВВЕДЕНИЕ

Свиноводство является важной сельскохозяйственной экономически значимой отраслью. При промышленной технологии животные с самого рождения попадают под воздействие неблагоприятных промышленных факторов, вызывающих стресс и развитие вторичных иммунодефицитов [1]. У свиней снижается резистентность организма, замедляется обмен веществ, изменяется состав микробиома кишечника, что приводит к развитию вторичных бактериальных инфекций, падению темпов роста живой массы молодняка, повышению уровня выбраковки поголовья [2]. В частности, Дж. Куан и др. [3] выявили высокую представленность различных патогенов в кишечнике свиней, в т. ч. представителей *Escherichia-Shigella* (23,1 %), *Clostridium sensu stricto* 1 (12,9 %) в подвздошной кишке и *Clostridium* (8,0 %) – в толстой кишке.

Как правило, основными специфическими средствами профилактики в такой ситуации являются антибактериальные препараты [4; 5]. Однако антибиотики не только негативно влияют на поросят, вызывая гибель нормофлоры и развитие дисбиозов, но и способствуют распространению резистентности патогенных микроорганизмов, а также, накапливаясь в органах и тканях животных, снижают качество мяса и представляют опасность для здоровья человека [6; 7]. Поэтому вопрос о поиске и применении безопасных средств, способных, с одной стороны, увеличить сохранность и продуктивность поголовья, повысить иммунный статус и устойчивость животных к жестким производственным факторам, а, с другой стороны, воспрепятствовать развитию резистентности условно патогенной и патогенной флоры к антибактериальным препаратам, является приоритетным на сегодняшний день.

Широкий интерес представляет изучение влияния подкислителей на основе органических кислот в качестве натуральной альтернативы антибиотикам при выращивании свиней на их микробиологические и зоотехнические показатели [8]. Использование современных подходов молекулярно-генетических исследований, таких как NGS-секвенирование (next generation sequencing), количественная ПЦР (polymerase chain reaction), открывает большие возможности для оценки на уровне ДНК отдельных микроорганизмов в составе микробиоты кишечника [9–11]. Поэтому использование современных молекулярно-генети-

ческих исследований является перспективным для изучения влияния различных кормовых добавок на микробиоту кишечника и связь этих изменений с зоотехническими показателями выращивания животных. В настоящее время действие подкислителей на микробиоту кишечника свиней на откорме под влиянием подкислителей с применением NGS-секвенирования практически не изучено.

Цель настоящих исследований заключалась в изучении влияния подкислителей на микробиоту кишечника и зоотехнические показатели при выращивании свиней на откорме. В рамках исследований проведен анализ микробиоты кишечника животных в период откорма с применением метода NGS-секвенирования и учет зоотехнических показателей выращивания животных (прирост живой массы, сохранность, конверсия корма) при использовании в рационе подкислителей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Условия проведения исследования

Эксперимент по изучению влияния подкислителей при выращивании свиней на откорме проводили в 2025 г. на производственной площадке АО «Свинокомплекс «Приозерный» (Ленинградская область, Россия). Исследования микробиоты кишечника животных осуществляли в молекулярно-генетической лаборатории научно-производственной компании ООО «БИОТРОФ» (Ленинградская область, Россия).

Материалы

Объектом исследований служили свиньи трехпородного гибрида (породы крупная белая, ландрас, дюрок) в возрасте 78 дней. Подбор животных в группы осуществляли с учетом пола, физиологического состояния и живой массы.

Методы

В ходе выполнения эксперимента учитывали зоотехнические показатели общепринятыми методами. Живую массу животных учитывали при постановке и снятии с откорма. Откормочные качества животных определяли по абсолютному приросту (АП), среднесуточному приросту (СП)¹. Проводили учет показателей сохранности и конверсии корма.

¹ ГОСТ 25954–83. Животные племенные сельскохозяйственные. Методы определения параметров продуктивности свиней. М.: Изд-во стандартов, 1983. 8 с.

Анализ количества микроорганизмов в содержимом кишечника свиней проводили с применением метода NGS-секвенирования (next generation sequencing). Образцы для исследований замораживали при -20°C и транспортировали в лабораторию компании ООО «БИОТРОФ» для дальнейшего анализа. Выделение тотальной ДНК из образцов кормов осуществлялось с использованием набора Genomic DNA Purification Kit («Thermo Fisher Scientific, Inc.», США) в соответствии с инструкциями производителя.

NGS-секвенирование проводили на платформе второго поколения MiSeq («Illumina, Inc.», США) с праймерами для региона V3-V4 16S рРНК; прямой праймер 5'-TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGC-CTACGGGNGGCWGCAG-3'; обратный праймер 5'-GTCTCGTGGGC-TCCGAGATGTGTATAAGAGACAGGACTACHVGGGTATCTAATCC-3'. Для приготовления библиотек применяли Nextera® XT IndexKit («Illumina, Inc.», США), для очистки ПЦП-продуктов – Agencourt AMPure XP («Illumina, Inc.», США), для проведения секвенирования – MiSeq® ReagentKit v2 (500 cycle) («Illumina, Inc.», США). Обработку полученных ридов (перекрывание, фильтрация по качеству Q30, триммирование праймеров) выполняли с помощью биоинформатической платформы Illumina («Illumina, Inc.», США). Контроль качества, оценку таксономического состава бактерий проводили в программе QIIME2 v.2019.10 (<https://docs.qiime2.org>) с использованием базы данных Green-Genes версии 13.5 (<https://greengenes.secondgenome.com>).

Процедура исследования

Подбор животных в группы осуществляли по принципу аналогов с учетом пола, физиологического состояния и живой массы. Свиньи были разделены на 3 группы в сектора по 1600 каждый. Контрольная группа получала основной рацион, принятый в хозяйстве, опытная группа 1 в дополнение к основному рациону получала новый комплексный подкислитель МетаБак, содержащий метаболиты бактерий *E.faecium* и комплекс лимонной, молочной и сорбиновой кислот (дозировка препарата 1,6 л/т корма, кафедра на производстве «Биотехнология кормов» ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет – научно-производственное предприятие «БИОТРОФ»); опытная группа 2 – дополнительно к основному рациону получала подкислитель Продактив Ацид SE, содержащий муравьиную, пропионовую, молочную, уксусную и лимонную кислоты (дозировка препарата 0,5 л/т корма производства «ВИК – здоровье животных»). Дозировку

препаратов рассчитывали таким образом, чтобы рН жидкого корма составила 5,5. Для достижения оптимального уровня кислотности корма до уровня рН 5,5 новый препарат МетаБак дополняли лимонной кислотой с учетом кислото-связывающей способности корма. Продолжительность эксперимента составила три недели в период откорма. Условия содержания были идентичными. На протяжении всего технологического периода кормление свиней осуществлялось жидкими полнорационными комбикормами СК5, СК-7 с учетом массы животных.

По окончании эксперимента проводили отбор содержимого кишечника животных для исследования микробиоты с применением метода NGS-секвенирования, по окончании периода откорма оценивали зоотехнические показатели выращивания: прирост живой массы, сохранность, конверсия корма.

Анализ данных

Статистическая обработка проведена с использованием *t*-критерия Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$. Результаты исследований в таблицах представлены в формате «среднее значение \pm стандартная ошибка среднего» (Mean \pm SEM).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований зоотехнических показателей выращивания животных представлены в таблице 1. Согласно полученным данным, применение обоих препаратов МетаБак и Продактив Ацид SE в рационах животных оказало положительное влияние на показатели живой массы свиней – относительный и абсолютный прирост за период эксперимента.

Показатели живой массы являются ключевыми в оценке продуктивных качеств свиней, которые достоверно характеризуют их рост и развитие. Полученные нами результаты по завершении периода откорма свидетельствуют о том, что в опытных группах, где применялись подкислители, отмечаются наиболее высокие показатели средней живой массы свиней по сравнению с контролем (таблица 1). В опытной группе 1 показатель средней живой массы кондиционных животных при реализации был выше на 0,1 кг, в опытной группе 2 – ниже на 1,7 кг по сравнению с контрольной группой. При этом показатель абсолютного прироста за период эксперимента при использовании в рационе подкислителей был выше на 2,12 % в опытном варианте 1 и на 1,09 % в опытном варианте 2.

Таблица 1

Зоотехнические показатели выращивания свиней на откорме при использовании комплексного и химического подкислителей

Table 1

Zootechnical indicators of growing fattening pigs using complex and chemical acidifiers

Показатель	Контроль	Опытная 1	Опытная 2
Количество животных при постановке на опыт, гол.	1658	1661	1660
Живая масса при постановке на опыт (среднее значение), 78 дней	37,1	36,3	34,2
Дней на откорме, дн.	110	107	108
Средняя живая масса при реализации (кондиция), кг	124,2	124,3	122,5
Реализация кондиционных свиней, %	94,2	95,39	94,99
Сохранность, %	98,14	99,07	98,03
Абсолютный прирост, кг	140384	143361	141911
Среднесуточный прирост (без учета падежа), г	914	953	932
Конверсия корма	2,9	2,8	2,8

Показатель среднесуточного прироста (без учета падежа) был наиболее высоким в опытной группе 1 – 953 г (+4,27 % в сравнении с контролем), где в рационе животных применяли новый препарат МетаБак, содержащий метаболиты бактерий и комплекс кислот, что свидетельствует о высокой энергии роста откормочного молодняка. Аналогичный показатель для опытной группы 2, где в рацион вводили подкислитель Продактив Ацид SE, составил 932 г (+1,97 % по сравнению с контролем).

За весь анализируемый период откорма в опытной группе 1 была зарегистрирована наиболее высокая сохранность молодняка свиней – 99,07 %, наименьшим был показатель сохранности в опытной группе 2 – 98,03 против 98,14 % в контрольной группе.

Показатель конверсии корма был ниже в опытных группах животных, рацион которых содержал подкислители.

Выявленные отличия между группами могли быть обусловлены изменением микробиоты желудочно-кишечного тракта исследованных животных на фоне введения в их рацион препаратов-подкислителей.

Результаты оценки состава микробиоты кишечника свиней представлены на рисунке 1. Согласно результатам NGS-секвенирования, применение обоих испытываемых препаратов приводило к существенной

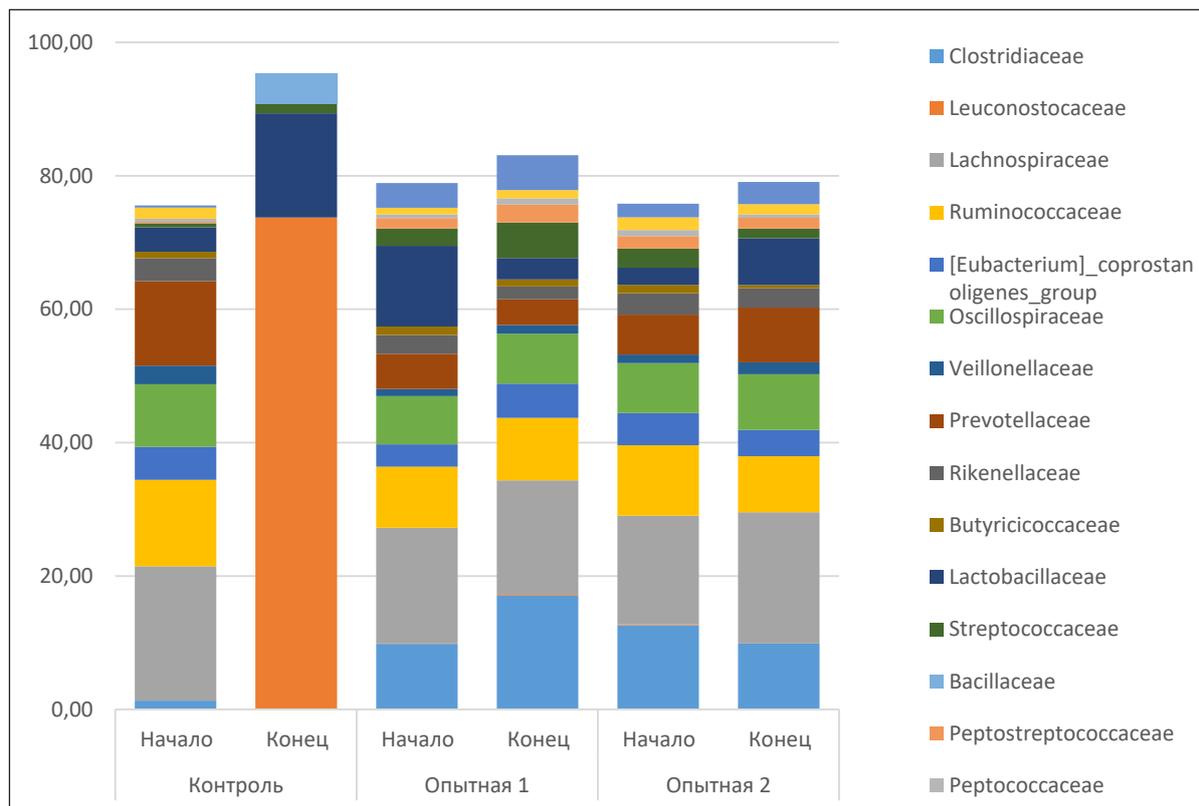
модификации микробиоты кишечника животных по сравнению с контрольным вариантом без добавок.

Согласно результатам, приведенным на рисунке 1А, основную долю микроорганизмов кишечника у животных составили бактерии, связанные с процессами ферментации растительных кормов и антимикробной защитой против нежелательных и патогенных видов.

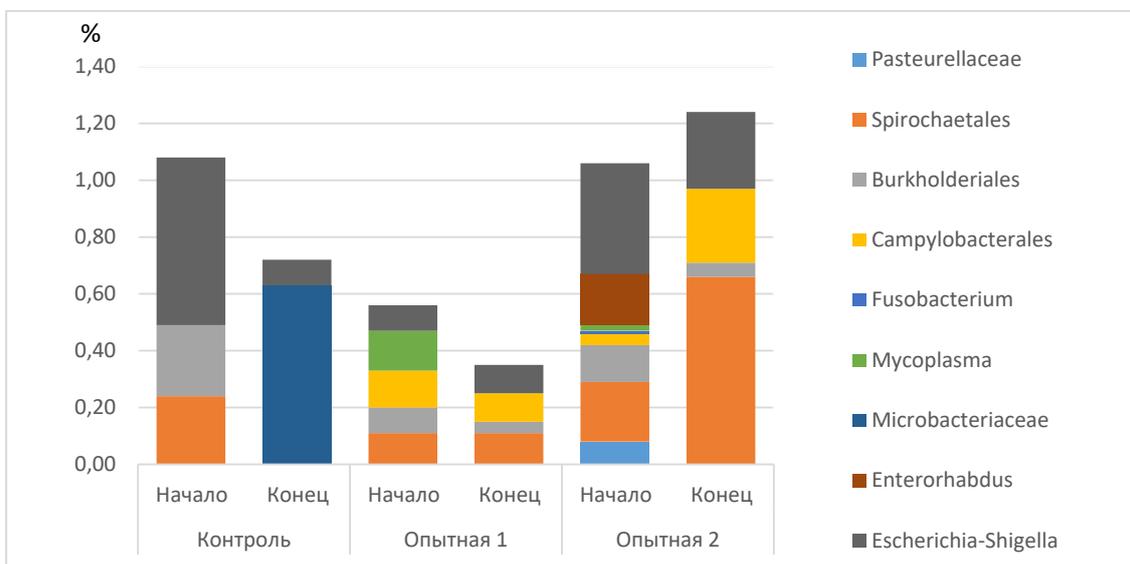
Преобладающими в содержимом кишечника свиней в начале эксперимента у животных всех группы были представители семейств *Lachnospiraceae*, *Eubacteriaceae*, *Oscillospiraceae*, *Prevotellaceae*, *Rikenellaceae*, обладающие высокой ферментативной активностью, в т. ч. амилолитическими, целлюлолитическими, протеолитическими свойствами. Данные микроорганизмы относятся к наиболее важным таксонам вследствие их активного участия в деструкции полисахаридов и протеина кормов в результате синтеза ферментов [12; 13].

По окончании эксперимента, после трехнедельного использования в рационах животных подкислителей, в содержимом кишечника подопытных свиней были выявлены существенные изменения, которые различались в зависимости от типа препарата.

В кишечнике животных контрольной группы по окончании эксперимента преобладающими были молочнокислые бактерии семейства *Leuconostocaceae* (73,77±17,10 %), деятельность которых связана с антимикробной активностью [13]. Представленность данного таксона в кишечнике



А



Б

Рисунок 1

Представленность нежелательных и условно-патогенных микроорганизмов в кишечнике свиней на откорме в начале и конце применения в рационе подкислителей:

- А) бактерии с ферментативными и антимикробными свойствами;
- Б) нежелательные и условно-патогенные таксоны

Figure 1

Prevalence of undesirable and opportunistic microorganisms in the intestines of fattening pigs at the start and the end feeding acidifiers in the diet:

- A) bacteria with enzymatic and antimicrobial properties;
- B) undesirable and opportunistic taxa

ке животных обеих опытных групп была достоверно ниже ($p = 0,001$). Вторыми по количеству у животных контрольной группы были семейства *Lactobacillaceae* – $15,62 \pm 13,61$ %, обладающие антимикробными свойствами.

У животных опытных групп в результате использования в рационах подкислителя в конце эксперимента наблюдалось заметное изменение микробиоты кишечника по сравнению с контролем, связанное с замещением молочнокислых бактерий семейства *Leuconostocaceae* и *Lactobacillaceae* бактериями с высокими ферментативными свойствами. Так, в кишечнике особей из опытных групп 1 и 2 в сравнении с контролем увеличивалась доля бакетрий, ассоциированных с ферментацией углеводов и протеина кормов, которые относятся к таксонам *Clostridiaceae* на $17,06$ ($p = 0,008$) и $9,87$ % ($p = 0,09$), *Clostridia_UCG-014* на $5,23$ ($p = 0,001$) и $3,33$ %, *Eubacteriaceae* на $5,13$ ($p = 0,0005$) и $3,92$ % ($p = 0,0005$), *Ruminococcaceae* на $9,37$ ($p = 0,002$) и $8,42$ % ($p = 0,02$), *Peptostreptococcaceae* на $2,69$ ($p = 0,008$) и $1,61$ %, соответственно.

Необходимо отметить, что содержание некоторых бактерий, ассоциированных с ферментацией сложных полисахаридов, несколько снижалась у животных опытных групп после применения в рационах подкислителя по сравнению с началом опыта. В частности, в результате применения в рационах подкислителей у животных опытной группы 2 отмечено некоторое снижение доли семейства *Ruminococcaceae*, на $2,14$ %, опытной группы 1 – *Prevotellaceae* на $1,45$ %.

У животных опытных групп по сравнению с контролем наблюдалось повышение содержания микроорганизмов, ассоциированных с образованием летучих жирных кислот (ЛЖК) – продуктов ферментации углеводов кормов, необходимых для обеспечения организма энергией и антимикробной защиты [14–17]. Отмечено увеличение в кишечнике свиней опытных групп 1 и 2 в сравнении с контролем доли семейств *Oscillospiraceae* на $7,49$ ($p = 0,003$) и $8,35$ % ($p = 0,002$), *Veillonellaceae* на $1,32$ ($p = 0,03$) и $1,78$ % ($p = 0,03$) и *Selenomonadaceae* на $1,22$ ($p = 0,02$) и $1,54$ % ($p = 0,04$) соответственно.

Согласно результатам, представленным на рисунке 1Б, наименьшее количество бактерий, которые относятся к нежелательным и условно-патогенным таксонам, выявлено у животных опытной группы по сравнению с другими вариантами. После приме-

нения подкислителя МетаБак у животных наблюдалось снижение количества микроорганизмов семейств *Burkholderiales* в $2,25$, *Campylobacterales* в $1,4$ раза, *Mycoplasma* – до полного вытеснения из микробного сообщества кишечника.

Применение подкислителя Продактив Ацид SE в рационах животных приводило к снижению представителей семейств *Burkholderiales* в $2,6$, *Escherichia-Shigella* в $1,4$ раза, *Enterorhabdus* и *Pasteurellaceae* – до полного вытеснения из микробного сообщества кишечника. Вместе с тем у животных опытной группы 2 наблюдалось возрастание содержания бактерий родов, которые могут вызывать заболевания, в частности *Spirochaetales* в $3,14$ и *Campylobacterales* в $6,5$ раза.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о позитивном влиянии подкислителей на профиль микробиома, в частности, повышение его потенциала к ферментации компонентов кормов, антимикробной защите, и соответственно на метаболические процессы в кишечнике. При этом выявленные изменения в микробном сообществе кишечника положительно соотносятся с показателями повышения продуктивных показателей животных. Наиболее позитивные результаты отмечены при использовании в рационах комплексного подкислителя МетаБак, связанные с подавлением нежелательной микробиоты кишечника и стимуляцией развития нормофлоры, участвующей в ферментации растительных полисахаридов, протеина кормов, а также с улучшением зоотехнических показателей выращивания животных.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют об улучшении зоотехнических показателей выращивания животных на откорме и улучшении микробиоты кишечника у свиней в период откорма на фоне применения подкислителей в рационах.

Ранее было показано, что такие кормовые добавки, как органические кислоты и эфирные масла, способствуют улучшению усвояемости питательных веществ, показателей роста, морфологии и структуры микробиома кишечника, качества мяса и его химического состава у свиней [18–20]. В связи с этим потенциал органических кислот и эфирных

масел для улучшения продуктивности свиней и качества продукции оценивается довольно высоко. Тем не менее информация о механизме влияния органических кислот в настоящее время все еще ограничена и требует проведения исследований.

В нашем эксперименте в условиях промышленного предприятия в период откорма было проведено сравнительное исследование эффективности влияния двух подкислителей – МетаБак (на основе метаболитов *E.faecium* и комплекса кислот) и Продактив Ацид SE (на основе композиции кислот, включая муравьиную, пропионовую, молочную, уксусную и лимонную) на состав микробиоты кишечника и зоотехнические показатели выращивания свиней.

Было установлено, что использование в рационах животных препаратов – подкислителей способствовало улучшению показателей живой массы свиней, в т. ч. по абсолютному и относительному приросту. Помимо этого, в опытных группах отмечено улучшение показателей сохранности животных и конверсии корма.

Улучшение зоотехнических показателей выращивания исследованных нами животных сопровождалось изменением микробиоты кишечника, связанным с повышением в кишечнике содержания микроорганизмов, ассоциированных с ферментативным расщеплением сложных полисахаридов и протеина кормов, что указывает на увеличение переваримости и усвояемости питательных веществ рациона животными. Известно, что нормализация микробиома кишечника животных способствует дополнительному расщеплению компонентов корма, таких как сложные углеводы, протеин, жиры, что приводит к высвобождению большего количества питательных веществ [21]. Коррекция микробиома в значительной степени приводит к нормализации гомеостаза у растущих животных [22].

В частности, в кишечнике животных опытных групп на фоне применения подкислителей отмечено более высокое содержание бактерий *Clostridiaceae*, *Clostridia_UCG-014*, *Eubacteriaceae*, *Ruminococcaceae*, *Peptostreptococcaceae*. Ранее было показано, что данные микроорганизмы тесно связаны с биосинтезом ЛЖК, которые выступают в качестве источника энергии в кишечнике [23]. Повышение содержания указанных микроорганизмов может быть связано с поддержанием гомеостаза

микробиоты ЖКТ за счет повышения активности ферментов, расщепляющих сложные растительные полисахариды кормов и других метаболических путей.

Аналогичные результаты были получены и другими авторами при использовании органических кислот в рационах свиней. Сообщалось, что подкислители улучшают суточный прирост массы тела, коэффициент конверсии корма, вес при рождении, вес при отъеме и толщину подкожного жира у свиней [24]. Например, добавление фульвово-кислоты в рацион свиней способствовало повышению среднесуточного прироста массы тела и росту за счет улучшения метаболизма белков и углеводов [25]. Использование комплекса органических кислот способствовало улучшению показателей роста у более взрослых свиней и недавно отнятых от матери [26; 27].

К основным механизмам улучшения зоотехнических показателей исследователи, прежде всего, относят повышение усвоения питательных веществ животными при использовании органических кислот. В частности, выявлено, что подкисление среды в желудке способствует активации превращения предшественника фермента пепсиногена в пепсин, связанного с перевариванием белков [28; 29]. Также сообщалось, что органические кислоты повышают содержание секретина в сыворотке крови, стимулируя экзокринную секрецию поджелудочной железы и приводя к улучшению усвояемости питательных веществ в двенадцатиперстной кишке [30]. Обнаружено, что анионы органических кислот способны образовывать комплексы с такими микроэлементами, как кальций, фосфор, магний и цинк, улучшая их усвоение [4]. Показано, что органические кислоты улучшают усвоение минералов, выступают в качестве источника энергии, стимулируют секрецию эндогенных ферментов, повышают иммунитет и антиоксидантную стабильность [4].

В нашем исследовании наилучшие результаты по зоотехническим и микробиологическим показателям достигнуты при использовании нового препарата МетаБак, содержащего метаболиты пробиотических бактерий и комплекс кислот (лимонная, сорбиновая, молочная кислоты). Оценивая потенциальные механизмы антимикробного воздействия препаратов, которые были использованы в нашем исследовании, следует отметить

некоторые различия в действии исследованных подкислителей.

В состав нового комплексного подкислителя МетаБак входят метаболиты пробиотической бактерии *E.faecium* и органические кислоты: молочная, лимонная и сорбиновая. Влияние пробиотических микроорганизмов на организм животного может быть связано с их способностью синтезировать антимикробные метаболиты [31]. В последнее время активно обсуждается антагонистическая активность молочнокислых бактерий, обусловленная не только синтезом органических кислот, но и биологически активных веществ, в частности, бактериоцинов. Воздействие пробиотиков на иммунитет организма-хозяина, с одной стороны, может достигаться за счет подавления пробиотиком патогенов в кишечнике (первый уровень защиты), а с другой – благодаря стимуляции врожденных и приобретенных иммунных функций за счет активации соответствующих воспалительных или иммунных механизмов при развитии инфекции (второй уровень защиты) [32; 33].

Органические кислоты, входящие в состав препарата, относятся к разным функциональным классам. Лимонная и молочная кислоты относятся к среднецепочечным жирным кислотам и представляют собой важный источник энергии с более высокой антимикробной активностью благодаря их более высокому рКа. Сорбиновая кислота относится к трикарбоновым кислотам, которые являются промежуточными продуктами цикла Кребса и участвуют в энергетическом обмене [34; 35].

Согласно полученным ранее результатам действия различных органических кислот на организм животных было выявлено, что лимонная кислота способствует повышению усвояемости белка, кальция и фосфора в пищеварительном тракте у свиноматок [36]. Кроме того, она способствует снижению pH в ЖКТ, разрушая при этом клеточные стенки грамотрицательных бактерий, таких как *E. coli*, и усиливает действие ряда других органических кислот, а также участвует в метаболических процессах, связанных с образованием энергии. Молочная кислота также имеет высокие бактерицидные свойства, действуя в том числе на бактерии рода *Salmonella* и стимулируя развитие в кишечнике кислотоустойчивых микроорганизмов. В свою очередь, сорбиновая кислота, как природный консервант, может активно противодействовать

следующему ряду возбудителей: дрожжам, плесени и грибам.

Эффективность подкислителя Продактив Ацид SE может быть обусловлена действием комплекса кислот, входящих в его состав. В частности, одним из основных действующих компонентов данного препарата является муравьиная кислота, которая снижает pH ЖКТ, что повышает активность пищеварительных ферментов [37]. Так, ранее было показано, что органические кислоты улучшают переваривание белка [38]. Уксусная кислота относится к короткоцепочечным жирным кислотам, синтезируемым в нижнем отделе кишечника путем микробной ферментации неперевариваемых сахаров и аминокислот.

Среди механизмов положительного влияния подкислителей на организм животных выделяют положительное влияние органических кислот и эфирных масел на рост высоты ворсинок двенадцатиперстной кишки [4]. Среднецепочечные и короткоцепочечные жирные кислоты могут использоваться энтероцитами в качестве источников энергии [36]. В частности, у поросят-отъемышей бензойная кислота способствовала увеличению соотношения высоты ворсинок к глубине крипт [38].

Доказано, что добавление органических кислот и эфирных масел в рацион свиней оказывает влияние на иммунную систему и регулирует окислительный стресс. В одном из исследований [39] выявлено, что добавление масляной кислоты и эфирного масла снижало количество лейкоцитов у растущих свиней.

Одним из важнейших механизмов действия подкислителей на организм животных считается подавление нежелательной микробиоты в желудочно-кишечном тракте. Согласно полученным нами в ходе исследования результатам, на фоне применения подкислителя МетаБак в кишечнике исследованных животных наблюдалось наименьшее общее количество условно-патогенных бактерий, в т. ч. снижение представителей *Burkholderiales*, *Campylobacteriales*, *Mycoplasma*. Применение препарата Продактив Ацид SE в рационах животных способствовало снижению бактерий *Burkholderiales*, *Escherichia-Shigella*, *Enterorhabdus* и *Pasteurellaceae*.

Снижение представленности нежелательных и условно-патогенных видов в кишечнике животных

на фоне применения в рационах подкислителей в нашем исследовании потенциально могло быть связано с созданием кислой среды при попадании в организм органических кислот [40]. Известно, что некоторые бактерии, например, *E. coli* и *Salmonella* чувствительны к низкому уровню pH [41]. Сообщалось, что под влиянием органических кислот и эфирных масел снижалась частота случаев возникновения диареи у животных, в т. ч. вызванной *E. coli* [2; 24]. Влияние органических кислот на микроорганизмы обусловлено их проникновением в бактериальные клетки в недиссоциированной форме и нарушению их нормальной физиологии [41]. Было показано, что органические кислоты и смеси эфирных масел работают в синергии, подавляя рост патогенных микробов и способствуя росту полезных микроорганизмов [42]. Так, например, комплекс муравьиной, фумаровой и лимонной кислот способствовал снижению частоты и тяжести диареи, количества *E. coli*, одновременно стимулируя повышение микробного разнообразия и количества лактобацилл в ЖКТ [42].

Таким образом, положительное влияние исследованных нами подкислителей в рационах свиней на откорме могло быть обусловлено комплексом факторов. Основной эффект связан с нормализацией микробного сообщества кишечника животных и вытеснением нежелательных и условно-патогенных бактерий. Выявленные изменения в составе микробиоты кишечника способствовали улучшению метаболических функций, что благоприятно отразилось на зоотехнических показателях выращивания животных.

Вместе с тем механизмы действия подкислителей требуют дальнейшего исследования. В будущем перспективным направлением является изучение влияния подкислителей на показатели пищеварения, профиль жирных кислот в ЖКТ, экспрессию генов иммунной системы и продуктивности животных. Это позволит получить детальную и целостную картину изменений, происходящих при использовании комплексов органических кислот в рационах свиней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего исследования показали эффективность нового комплексного подкислителя МетаБак и химического подкислителя

Продактив Ацид SE при выращивании свиней на откорме. Оба подкислителя оказали положительное влияние на течение физиологических процессов в организме, живую массу, абсолютный и среднесуточный прирост живой массы выращиваемых свиней, их сохранность и конверсию корма.

Лучшие производственные показатели были получены при использовании в рационах животных комплексного препарата МетаБак. Так, показатель среднесуточного прироста при использовании указанного продукта был наиболее высоким в опытной группе 1 – 953 г (+4,27 % в сравнении с контролем). За весь анализируемый период откорма в опытной группе при использовании подкислителя была зарегистрирована наиболее высокая сохранность молодняка свиней – 99,07 % против опытной 2 и контрольной групп.

В кишечнике животных при использовании обоих подкислителей увеличивалась доля бактерий, ассоциированных с ферментацией углеводов и протеина кормов, и образования летучих жирных кислот (ЛЖК). Наименьшее содержание условно-патогенных и нежелательных бактерий также выявлено после применения подкислителя МетаБак. На фоне данного препарата у животных наблюдалось снижение количества микроорганизмов семейств *Burkholderiales* в 2,25, *Campylobacteriales* в 1,4 раза, *Mycoplasma* – до полного вытеснения из микробного сообщества кишечника.

В целом, действие обоих подкислителей было направлено на нормализацию микробиоты пищеварительного тракта животных, что способствовало улучшению метаболизма и зоотехнических показателей животных. Наиболее выраженным оказалось влияние нового комплексного препарата МетаБак, который способствовал снижению представленности нежелательных и условно-патогенных микроорганизмов в кишечнике животных, а также повышению содержания микроорганизмов, связанных с метаболическими свойствами, что в совокупности приводило к более высоким показателям продуктивности животных. На дальнейшем этапе перспективным является использование молекулярно-генетических исследований для оценки эффективности биопрепаратов в свиноводстве.

Вклад авторов

С. П. Скляр: концептуализация, методология, написание и редактирование рукописи.

Р. А. Крылов: проведение исследования, программное обеспечение, ресурсы, руководство исследованием, редактирование рукописи.

Л. А. Ильина: методология, анализ и визуализация результатов, подготовка и редактирование рукописи.

К. С. Савенков: проведение исследования, подготовка и редактирование рукописи.

Е. С. Пономарева: статистическая обработка, анализ и визуализация результатов, программное обеспечение, ресурсы.

В. А. Заикин: проведение экспериментальных анализов и верификация данных.

Г. Ю. Лаптев: методология, ресурсы, руководство исследованием.

Contributions

S. P. Sklyarov: conceptualization, methodology, manuscript writing and editing.

R. A. Krylov: study execution, software, resources, study supervision, manuscript editing.

L. A. Ilina: methodology, analysis and visualization of results, manuscript preparation and editing.

K. S. Savenkov: research, manuscript preparation and editing.

E. S. Ponomareva: statistical processing, analysis and visualization of results, software, resources.

V. A. Zaikin: experimental analysis and data verification.

G. Yu. Laptev: methodology, resources, study supervision.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Королев А.В. «Био-Халквинол» вместо кормовых антибиотиков. *Свиноводство*. 2018;1:21-23. Korolev A.V. "Bio-Halkvinol" instead of feed antibiotics. *Pigbreeding*. 2018;1:21-23. (In Russ.)
2. Калюга В.В., Трифанов А.В., Базыкин В.И. Обоснование пятифазного бесстрессового способа содержания свиней на малых фермах. *Свиноводство*. 2018; 8:17-20. Kalyuga V.V., Trifanov A.V., Bazykin V.I. Justification of a five-phase stress-free method of keeping pigs on small farms. *Pigbreeding*. 2018; 8:17-20. (In Russ.)
3. Quan J., Wu Z., Ye Y. et al. Metagenomic Characterization of Intestinal Regions in Pigs With Contrasting Feed Efficiency. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:32. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00032>
4. Liu Y., Espinosa C.D., Abelilla J.J. et al. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*. 2018;4:113-125. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.007>
5. Cromwell G.L. Why and how antibiotics are used in swine production. *Animal Biotechnology*. 2002;13:7-27. <https://doi.org/10.1081/ABIO-120005767>
6. Han Y.S., Tang C.H., Zhao Q.Y. et al. Effects of dietary supplementation with combinations of organic and medium chain fatty acids as replacements for chlortetracycline on growth performance, serum immunity, and faecal microbiota of weaned piglets. *Livestock Science*. 2018;216:210-218. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.013>
7. Kuppusamy S., Kakarlab D., Venkateswarluc K. et al. Agriculture, Ecosystems and Environment Veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global agro-ecological issue: A critical view. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2018;257:47-59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.026>
8. Long S.F., Xu Y.T., Pan L. et al. Mixed organic acids as antibiotic substitutes improve performance, serum immunity, intestinal morphology and microbiota for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;235:23-32. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.018>
9. Holman D.B., Kommadath A., Tingley J.P., Abbott D.W. Novel Insights into the Pig Gut Microbiome Using Metagenome-Assembled Genomes. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(4):e0238022. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02380-22>
10. Yi L., Cheng W., Song G. et al. Integrating Machine Learning to Identify Key Microbiota of Gut Community Changes Across Different Stages in Dahe Black Pigs. *Microorganisms*. 2025;13(9):2038. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13092038>
11. Koloskova E.M., Ostrenko K.S., Ezersky V.A. et al. Study of the scar microbiome in sheep using molecular genetic methods (review). *Problems of Biology of Productive Animals*. 2020;4:5-26. <https://doi.org/10.25687/1996-6733>

12. Söllinger A., Tveit A.T., Poulsen M. et al. Holistic assessment of rumen microbiome dynamics through quantitative metatranscriptomics reveals multifunctional redundancy during key steps of anaerobic feed degradation. *Msystems*. 2018;3:e00038-18. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00038-18>
13. Wu I.W., Lee C.C., Hsu H.J. et al. Compositional and functional adaptations of intestinal microbiota and related metabolites in CKD patients receiving dietary protein restriction. *Nutrients*. 2020;12:nu12092799. <https://doi.org/10.3390/nu12092799>
14. Chen L., Shen Y., Wang C. et al. *Megasphaera elsdenii* lactate degradation pattern shifts in rumen acidosis models. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:162. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00162>
15. Cabral L.d.S., Weimer P.J. *Megasphaera elsdenii*: Its Role in Ruminant Nutrition and Its Potential Industrial Application for Organic Acid Biosynthesis. *Microorganisms*. 2024;12(1):219. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010219>
16. Rhouma M., Braley C., Thériault W. et al. Evolution of Pig Fecal Microbiota Composition and Diversity in Response to Enterotoxigenic *Escherichia coli* Infection and Colistin Treatment in Weaned Piglets. *Microorganisms*. 2021;9(7):1459. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071459>
17. Rodrigues L.M., Neto T.O.D.A.L., Garbossa C.A.P. et al. Benzoic acid combined with essential oils can be an alternative to the use of antibiotic growth promoters for piglets challenged with *E. coli* F4. *Animals*. 2020;10:1978. <https://doi.org/10.3390/ani10111978>
18. Montoya D., D'angelo M., Martín-Orúe S.M., Rodríguez-Sorrento A. et al. Effectiveness of two plant-based in-feed additives against an *Escherichia coli* F4 oral challenge in weaned piglets. *Animals*. 2021;11:2024. <https://doi.org/10.3390/ani11072024>
19. Samanta A.K., Gali J.M., Dutta T.K. et al. Effect of dietary phytobiotic mixture on growth performance, nutrient utilization, and immunity in weaned piglets. *Tropical animal health and production*. 2021;53:459. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02910-0>
20. More G., Lall N., Hussein A., Tshikalange T.E. Antimicrobial constituents of *Artemisia afra* Jacq. ex Willd. against periodontal pathogens. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2012;252758. <https://doi.org/10.1155/2012/252758>
21. Moyo P., Kunyane P., Selepe M.A. et al. Bioassay-Guided Isolation and Identification of Gametocytocidal Compounds from *Artemisia afra* (Asteraceae). *Malaria Journal*. 2019;18:65. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2694-1>
22. Tariq S., Wani S., Rasool W. et al. A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*. 2019;134:103580. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103580>
23. Betancour-Murillo C.L., Aguilar-Marin S.B., Jovel J. *Prevotella*: A key player in ruminal metabolism. *Microorganisms*. 2022;11:1. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010001>
24. Lückstädt C., Wylie L., Remmer R. et al. Organic Acids in Animal Nutrition, Anitox: Lawrenceville, GA, USA, 2014.
25. Mounir M., Ibjibjen A., Farih K. et al. Their Antioxidant Properties, Mechanisms, and Benefits on Human and Animal Health: A Narrative Review. *Biomolecules*. 2022;12:1443. <https://doi.org/10.3390/biom12101443>
26. Grilli E., Messina M.R., Tedeschi M., Piva A. Feeding a microencapsulated blend of organic acids and nature identical compounds to weaning pigs improved growth performance and intestinal metabolism. *Livestock Science*. 2010;133:173-175. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e16>
27. Ahmed S.T., Hwang J.A., Hoon J. et al. Comparison of Single and Blend Acidifiers as Alternative to Antibiotics on Growth Performance, Faecal Microflora, and Humoral Immunity in Weaned Piglets. *Asian-Australas. Journal of Animal Science*. 2014;27:93-100. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13411>
28. De Lange C.F.M., Pluske J., Gong J., Nyachoti C.M. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livestock Science*. 2010;134:124-134. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.117>
29. Papatsiros V.G., Christodoulopoulos G., Filippopoulos L.C. The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits). *Journal of Cell and Animal Biology*. 2012;6:154-159. <https://doi.org/10.5897/JCAB11.081>

30. Li S., Zheng J., Deng K. et al. Supplementation with organic acids showing different effects on growth performance, gut morphology, and microbiota of weaned pigs fed with highly or less digestible diets. *Journal of Animal Science*. 2018;96:3302-3318. <https://doi.org/10.1093/jas/sky197>
31. Fernandes A., Jobby R. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their potential clinical applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2022;194:4377-4399. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03870-3>
32. Tang H.W., Phapugrangkul P., Fauzi H.M., Tan J.S. Lactic Acid Bacteria Bacteriocin, an Antimicrobial Peptide Effective Against Multidrug Resistance: A Comprehensive Review. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 2021;28:14. <https://doi.org/10.3390/ijms26094124>
33. Umair M., Jabbar S., Zhaoxin L. et al. Probiotic-Based Bacteriocin: Immunity Supplementation Against Viruses. An Updated Review. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13: 876058. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.876058>
34. Liu X., Qian M., Shen Y. et al. An high-throughput sequencing approach to the preliminary analysis of bacterial communities associated with changes in amino acid nitrogen, organic acid and reducing sugar contents during soy sauce fermentation. *Food Chemistry*. 2021,349:129131. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129131>
35. Tugnoli B., Giovagnoni G., Piva A., Grilli E. From acidifiers to intestinal health enhancer: How organic acids can improve growth efficiency of pigs. *Animals*. 2020,10:134. <https://doi.org/10.3390/ani10010134>
36. Soler C., Goossens T., Bermejo A. et al. Digestive microbiota is different in pigs receiving antimicrobials or a feed additive during the nursery period. *PLoS ONE*. 2018,13:e0197353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197353>
37. Franz C., Baser K.H.C., Windisch W. Essential oils and aromatic plants in animal feeding—A European perspective. A review. *Flavour and Fragrance Journal*. 2010,25:327-340. <https://doi.org/10.1002/ffj.1967>
38. Lee J., Kim J.W., Hall H., Nyachoti C.M. Effect of dietary organic acids supplementation on growth performance, nutrient digestibility, and gut morphology in weaned pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 2021,102:255-265. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2021-0080>
39. Huang Y., Yoo J.S., Kim H.J. et al. Effects of Dietary Supplementation with Blended Essential Oils on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Profiles and Fecal Characteristics in Weanling Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2010,23:607-613. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.80120>
40. Wang J.P., Lee J.H., Yoo J.S. et al. Effects of phenyllactic acid on growth performance, intestinal microbiota, relative organ weight, blood characteristics, and meat quality of broiler chicks. *Poultry Science*. 2010,89:1549-1555. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00235>
41. Khan S.H., Iqbal J. Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*. 2016,44:359-369. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1079527>
42. Duarte M.E., Kim S.W. Phytobiotics from Oregano Extracts Enhance the Intestinal Health and Growth Performance of Pigs. *Antioxidants*. 2022;11:2066. <https://doi.org/10.3390/antiox11102066>

Сведения об авторах

Складаров Сергей Павлович – кандидат ветеринарных наук, доцент, директор института животноводства и аквакультуры им. В. И. Наумова, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0009-0000-4184-7206>
SPIN-код: 5826-7525
ssklyar@mail.ru

About the authors

Sergey P. Sklyarov – Cand. Sci. (Vet.), Associate Professor, Director, V.I. Naumov Institute of Animal Husbandry and Aquaculture, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia
<https://orcid.org/0009-0000-4184-7206>
ssklyar@mail.ru

Крылов Равиль Александрович –

аспирант, институт животноводства и аквакультуры им. В. И. Наумова, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

krylov.ravil@mail.ru

Ильина Лариса Александровна –

доктор биологических наук, начальник молекулярно-генетической лаборатории ООО «БИОТРОФ», профессор кафедры крупного животноводства, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>

SPIN-код: 5826-7525

ilina@biotrof.ru

Савенков Константин Станиславович –

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ветеринарии, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0917-6163>

SPIN-код: 7107-6824

vetkos@inbox.ru

Пономарева Екатерина Сергеевна –

биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории, ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-4336-8273>

SPIN-код: 4260-6755

kate@biotrof.ru

Заикин Василий Александрович –

биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории, ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-8029-9955>

SPIN-код: 1312-0183

dfcx@biotrof.ru

Лаптев Георгий Юрьевич –

доктор биологических наук, директор ООО «БИОТРОФ», профессор кафедры крупного животноводства, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>

SPIN-код: 3600-5295

georg-laptev@rambler.ru

Ravil A. Krylov –

Postgraduate Student, V.I. Naumov Institute of Animal Husbandry and Aquaculture, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

krylov.ravil@mail.ru

Larisa A. Ilina –

Dr. Sci. (Biol.), Head of the Molecular Genetic Laboratory of BIOTROF, LLC; Prof., Department of Large Livestock Breeding, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>

ilina@biotrof.ru

Konstantin S. Savenkov –

Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0917-6163>

vetkos@inbox.ru

Ekaterina S. Ponomareva –

Biotechnologist, Molecular Genetics Laboratory of BIOTROF, LLC, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4336-8273>

kate@biotrof.ru

Vasily A. Zaikin –

Biotechnologist, Molecular Genetics Laboratory of BIOTROF, LLC, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-8029-9955>

dfcx@biotrof.ru

Georgiy Y. Laptev –

Dr. Sci. (Biol.), Director Molecular Genetics Laboratory of BIOTROF, LLC, Prof., Department of Large Livestock Husbandry, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>

georg-laptev@rambler.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-41-54>

Импрессионная цитология в оценке динамики регенерации роговицы после кислотного ожога при лечении биостимулирующими пленками

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Маргарита Михайловна
Агаркова

E-mail: agarkova.mm@stgau.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Агаркова М.М., Агарков Н.В.,
Квочко А.Н., Скрипкин В.С.,
Дилекова О.В.

Импрессионная цитология в оценке динамики регенерации роговицы после кислотного ожога при лечении биостимулирующими пленками. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):41-54. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-41-54> EDN GXNEEN

ПОСТУПИЛА: 22.10.2025

ДОРАБОТАНА: 13.03.2026

ПРИНЯТА: 14.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Агаркова М.М.,
Агарков Н.В.,
Квочко А.Н.,
Скрипкин В.С.,
Дилекова О.В.



М.М. Агаркова , Н.В. Агарков , А.Н. Квочко ,
В.С. Скрипкин , О.В. Дилекова 

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь,
Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Химические ожоги роговицы кислотной этиологии представляют собой одну из наиболее сложных патологий в ветеринарной офтальмологии, нередко приводящую к необратимой потере зрения. Высокая распространённость травм глаз у сельскохозяйственных и мелких домашних животных, а также склонность процесса к хронизации и вторичному инфицированию обуславливают необходимость поиска новых эффективных и безопасных средств терапии, лишённых недостатков существующих препаратов (наличие антибиотиков, высокая стоимость). Перспективным направлением является разработка пролонгированных лекарственных форм на основе биогенных стимуляторов.

ЦЕЛЬ. Изучить цитологические процессы регенерации роговицы у кроликов после экспериментального кислотного ожога на фоне применения глазных лекарственных плёнок (ГЛП) на основе биостимулятора из ткани головного мозга (БСМ) крупного рогатого скота.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Эксперимент выполнен на 30 половозрелых кроликах породы «Серый великан», разделённых на две равные группы. Животным первой группы после моделирования ожога ежедневно применяли ГЛП на основе БСМ; животные второй группы служили контролем (без лечения). Мазки-отпечатки роговицы получали на 3, 7, 14, 21 и 28-е сутки окрашивали азур-эозином по способу Романовского-Гимза и исследовали методом световой микроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что применение ГЛП на основе БСМ способствует закономерной смене фаз раневого процесса: острое воспаление (3–7-е сутки) сменяется пролиферацией (14-е сутки), завершаясь фазой дифференцировки и созревания эпителия к 21–28-м суткам. Цитологически трансформация стадий заживления выражалась в уменьшении дистрофических изменений, увеличении размеров ядер эпителиоцитов, нормализации клеточного состава и полном исчезновении воспалительных клеток к концу наблюдения. В контрольной группе отмечено затяжное течение с хронизацией воспаления, массивным микробным обсеменением (*Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Bacillus*, *Streptobacillus*), персистенцией нейтрофильной инфильтрации и отсутствием признаков полноценной регенерации к 28-м суткам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Глазные лекарственные плёнки на основе биостимулятора из ткани мозга крупного рогатого скота обладают выраженным регенераторным потенциалом, купируют воспаление, снижают риск вторичного инфицирования и могут быть рекомендованы для дальнейшего изучения в качестве средства терапии химических ожогов роговицы в ветеринарной практике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: роговица, кислотный ожог, глазные лекарственные плёнки, биостимулятор, регенерация, импрессионная цитология, кролики

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-41-54>

Impression cytology in assessing the dynamics of corneal regeneration after acid burn treated with biostimulating films

CORRESPONDENCE:

Margarita M. Agarkova
E-mail: agarkova.mm@stgau.ru

FOR CITATION:

Agarkova M.M., Agarkov N.V.,
Kvochko A.N., Skripkin V.S.,
Dilekova O.V.
Impression cytology in assessing
the dynamics of corneal
regeneration after acid burn treated
with biostimulating films.
*Agrarian Bulletin of the North
Caucasus*. 2026;16(1):41-54. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-41-54>

RECEIVED: 22.10.2025

REVISED: 13.03.2026

ACCEPTED: 14.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Agarkova M.M.,
Agarkov N.V.,
Kvochko A.N.,
Skripkin V.S.,
Dilekova O.V.



Margarita M. Agarkova , Nikolai V. Agarkov ,
Andrei N. Kvochko , Valentin S. Skripkin , Olga V. Dilekova 

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Chemical burns of the cornea of acid etiology represent one of the most challenging pathologies in veterinary ophthalmology, often leading to irreversible vision loss. The high prevalence of eye injuries in agricultural and domestic animals, as well as the tendency of the process toward chronization and secondary infection, necessitate the search for new effective and safe therapeutic agents devoid of the disadvantages of existing drugs (presence of antibiotics, high cost). A promising direction is the development of prolonged-release dosage forms based on biogenic stimulators.

AIM. To study the cytological processes of corneal regeneration in rabbits after experimental acid burn against the background of the application of ophthalmic medicinal films (OMF) based on a biostimulator (BSB) from bovine brain tissue.

MATERIALS AND METHODS. The experiment was performed on 30 sexually mature rabbits of the Gray Giant breed, divided into two equal groups. Animals of the first group received daily applications of OMF based on BSB after burn modeling; animals of the second group served as controls (without treatment). Corneal impression smears were obtained on days 3, 7, 14, 21, and 28, stained with azure-eosin according to the Romanowsky-Giemsa method, and examined by light microscopy.

RESULTS. We established that the application of OMF based on BSB promotes a regular sequence of wound healing phases: acute inflammation (days 3—7) is followed by proliferation (day 14), culminating in the phase of epithelial differentiation and maturation by days 21—28. Cytologically, this was expressed in a reduction of dystrophic changes, an increase in the size of epithelial cell nuclei, normalization of cellular composition, and complete disappearance of inflammatory cells by the end of observation. In the control group, a protracted course with chronization of inflammation, massive microbial contamination (*Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Bacillus*, *Streptobacillus*), persistence of neutrophilic infiltration, and absence of signs of complete regeneration by day 28 were noted.

CONCLUSION. Ophthalmic medicinal films based on a BSB possess pronounced regenerative potential, arrest inflammation, reduce the risk of secondary infection, and can be recommended for further study as a therapeutic agent for chemical corneal burns in veterinary practice.

KEYWORDS: cornea, acid burn, ophthalmic medicinal films, biostimulator, regeneration, impression cytology, rabbits

ВВЕДЕНИЕ

Роговица представляет собой многослойную бессосудистую структуру, образующую внешний слой глазного яблока и играющую решающую роль в защите внутриглазных структур от внешних факторов. Прозрачность роговицы оказывает непосредственное влияние на остроту зрения, поскольку участвует в преломлении света [1].

Ожоги глаз химическими веществами, в частности кислотной природы, являются одной из самых критичных для зрения ситуаций, необратимо ведущих к ухудшению зрения и слепоте [2]. Изучение модели кислотного ожога роговицы в качестве стандарта исследования фиброза рубцов и других реакций, возникающих в результате повреждения роговицы, проводится учёными достаточно часто [3].

У мелких домашних и сельскохозяйственных животных неинфекционные патологии роговицы в большинстве своем связаны с механическими повреждениями и хроническими воспалениями. Однако увеличение использования человеком в быту и в сельскохозяйственном производстве непременно ведет к учащению случаев поражения глаз животных детергентами кислотной и щелочной природы [4]. Существенным фактором появления кератитов как осложнения вследствие ожоговой травмы роговицы является несвоевременность определения владельцем развивающегося патологического процесса внутри глаза своего питомца и задержка лечения патологии [5]. К этому моменту в ткани роговицы уже могут произойти необратимые изменения, ведущие к частичной или даже полной потере зрения. В условиях больших животноводческих комплексов и фермерских хозяйств, где даже при регулярных осмотрах и проведении плановой диспансеризации можно пропустить развивающуюся патологию переднего отрезка глазного яблока [6].

Кислотные поражения глаз приводят к коагуляционному некрозу тканей, что запускает каскад патологических реакций: воспаление, изъязвление, неоваскуляризацию и помутнение роговицы [7]. В тяжелых случаях процесс может осложняться присоединением вторичной микрофлоры, что значительно ухудшает прогноз и замедляет регенерацию [8]. В связи с высокой распространенностью химических травм у сельскохозяйственных и мелких домашних живот-

ных, а также сложностью их лечения актуальным направлением остается поиск новых эффективных методов терапии, способствующих ускорению заживления и восстановлению прозрачности роговицы.

Одним из перспективных направлений является использование биологически активных веществ и гидролизированных продуктов, способных модулировать воспалительный ответ и стимулировать репаративные процессы [9–12]. Однако вопрос необходимости поиска новых форм лекарственных препаратов продолжает оставаться острым, поскольку недостатками имеющихся лекарственных форм является включение в их состав антибактериального компонента широкого спектра действия [10; 11]. Исключение из лекарственного средства данного компонента особо актуально в нынешних условиях возросшей антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов [13; 14]. Кроме того, несовершенство разработанных лекарственных форм сводится к высокой стоимости их производства [9; 12].

Разработанные нами глазные лекарственные пленки на основе биостимулятора из ткани головного мозга [15] позволяют обойти существующие сложности благодаря пролонгированному действию, обеспечивающему поступление необходимой концентрации действующих веществ в пораженную зону, а также избежать побочных явлений в виде аллергических реакций и резистентности микроорганизмов.

Цель работы – изучить цитологические процессы регенерации роговицы у кроликов после моделирования кислотного ожога на фоне применения глазных лекарственных пленок (ГЛП) на основе биостимулятора (БСМ) из ткани мозга крупного рогатого скота.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Этические аспекты

Исследование выполнено в соответствии с принципами гуманного обращения с лабораторными животными. План работы одобрен локальным независимым этическим комитетом Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону, Россия), протокол № 5 от 04.07.2025.

Место проведения

Экспериментальная работа проведена на базе кафедры физиологии, хирургии и акушерства, в научно-диагностическом и лечебно-ветеринарном центре, а также в виварии института ветеринарии и биотехнологий Ставропольского государственного аграрного университета (Ставрополь, Россия).

Объект исследования

В эксперименте использовали 30 половозрелых кроликов-самцов породы «Серый великан» в возрасте 8 месяцев и массой тела от 5 до 6 кг. Животные содержались в условиях вивария в индивидуальных клетках со свободным доступом к воде и корму. Кролики были случайным образом распределены на две экспериментальные группы по 15 особей в каждой.

Подготовка животных и анестезия

Перед началом манипуляций всем животным проводили местную анестезию левого глаза путем инстилляции в конъюнктивальную полость 2 капель 0,4 % раствора оксибупрокаина («Инокаин») и ждали действия анестезии 15 минут. Моделирование кислотного ожога роговицы проводили по авторской методике [16]. Для выполнения процедуры животных обеих групп поочередно фиксировали в положении на правом боку с надежной иммобилизацией головы. Веки левого глаза удерживали с помощью пружинного векорасширителя. Модифицированную пипетку Пастера диаметром 2 мм заполняли 3 % раствором уксусной кислоты, прижимали строго перпендикулярно к роговице в околоцентральной зоне и удерживали в течение 60 секунд. Сразу после процедуры моделирования роговицу всех животных промывали 0,9-процентным раствором хлорида натрия в течение 15 минут [16; 17].

Животным I группы начиная со 2-х суток и до конца эксперимента каждый день проводили закладывание глазных лекарственных пленок на основе биостимулятора из ткани мозга крупного рогатого скота [15] в конъюнктивальную область левого глаза. Животным II группы лечение ожога роговицы не проводили.

На 3, 7, 14, 21 и 28-е сутки эксперимента у животных обеих групп производили забор мазков-отпечатков роговицы. Для этого предметное стекло

прижимали к поверхности роговицы левого глаза. Фиксацию век осуществляли с помощью векорасширителя.

Приготовление и окраска препаратов

Полученные мазки-отпечатки высушивали на воздухе, фиксировали в абсолютном метиловом спирте и окрашивали азур-эозином по методу Романовского-Гимза. Готовые препараты изучали методом иммерсионной микроскопии с использованием микроскопа Olympus U-LH100HG (Япония). Площадь поля зрения составила 0,16 мм².

РЕЗУЛЬТАТЫ

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы в I группе

На 3-е сутки в I группе встречались малые группы дегенеративных нейтрофилов (рисунок 1 а). Визуализировались безъядерные полигональные чешуйки со светло-базофильной цитоплазмой вместе с группой нейтрофилов (рисунок 1 б). Отмечались также единичные дифференцированные кератиноциты промежуточного слоя (шиповатого слоя) (рисунок 1 в). Ядерно-цитоплазматическое отношение в эпителиальных клетках характеризовалось уменьшением размеров ядер и увеличением объема цитоплазмы.

На 7-е сутки отмечено появление лимфоцитов (рисунок 2 а). Присутствуют фрагменты (фокусы) клеточного детрита вследствие цитолиза эпителиоцитов. Регистрируется появление единичных базальных кератиноцитов (рисунок 2 б). Также в зоне оценки присутствовала диффузная нейтрофильная инфильтрация (рисунок 2 б). При этом отмечена репаративная регенерация поврежденного эпителия путем послойного напластывания дифференцированных кератиноцитов.

К 14-м суткам фиксировалось пролиферация кератиноцитов на разной степени дифференцировки, а также отсутствие воспалительного инфильтрата. Отмечалось увеличение размеров ядер эпителия, что говорит об усилении пролиферативной активности, а следовательно, об уменьшении выраженности воспалительного процесса (рисунок 3 а). Присутствовали чешуйки с наличием гранул меланина (правый нижний угол), что является признаком физиологического процесса в дифференцировке неороговевающего эпителия роговицы глаза (рисунок 3 б).

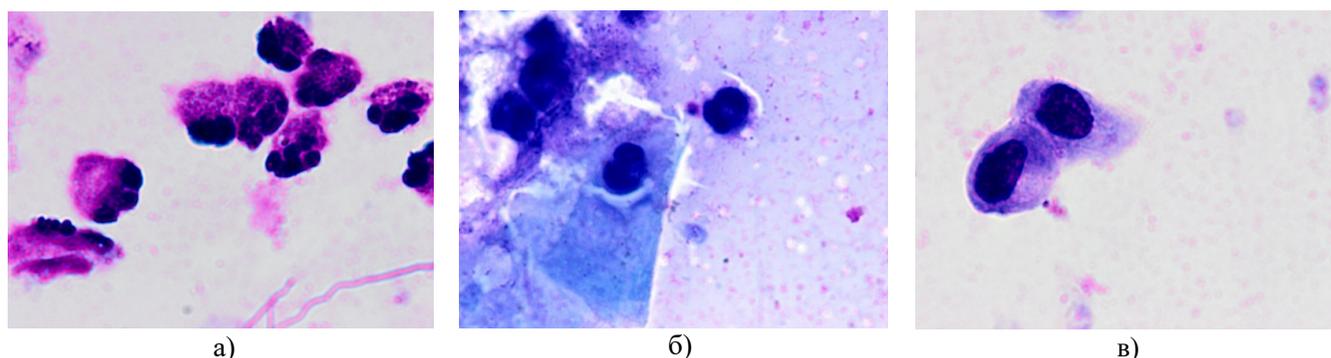


Рисунок 1

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы в I группе на 3-е сутки: а) группа дегенеративных нейтрофилов; б) безъядерные полигональные чешуйки со светло-базофильной цитоплазмой вместе с группой нейтрофилов; в) дифференцированные кератиноциты промежуточного слоя (шиповатого слоя)

Figure 1

Impression cytology of corneal imprints in Group I on day 3: a) cluster of degenerative neutrophils; b) anuclear polygonal squames with lightly basophilic cytoplasm, accompanied by a group of neutrophils; c) differentiated keratinocytes of the intermediate layer (*stratum spinosum*)

Note: a) – а); б) – б); в) – в)

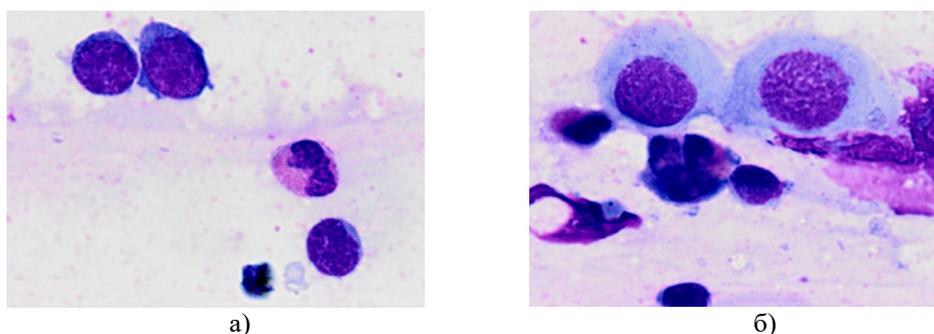


Рисунок 2

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы в I группе на 7-е сутки: а) лейкоцитарная инфильтрация; б) единичные базальные кератиноциты

Figure 2

Impression cytology of corneal imprints in Group I on day 7: a) leukocytic infiltration; б) scattered basal keratinocytes

Note: а) – а); б) – б)

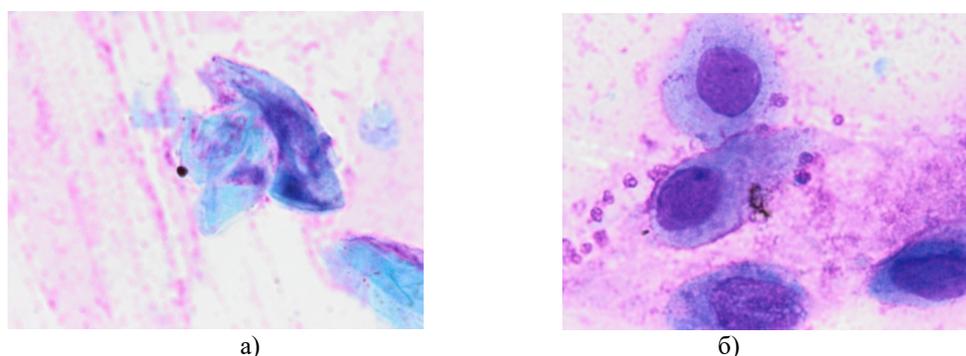


Рисунок 3

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы в I группе на 14-е сутки: а) эпителиальные роговичные клетки; б) чешуйки с наличием гранул меланина (правый нижний угол)

Figure 3

Impression cytology of corneal imprints in Group I on day 14: а) corneal epithelial cells; б) squames containing melanin granules (lower right corner)

Note: а) – а); б) – б)

К 21-м суткам было замечено присутствие значительного количества безъядерного плоского эпителия (рисунок 4 а). Ядерно-цитоплазматическое отношение в эпителиальных клетках характеризовалось восстановлением объема ядра и цитоплазмы по отношению друг к другу (рисунок 4 б). Отмечалось увеличение числа зрелых эпителиоцитов (рисунок 4 в).

На 28-е сутки отмечалось восстановление роговичного эпителия с полным отсутствием воспалительного инфильтрата (рисунок 5 а, б, в).

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы во II группе

На 3-е сутки во II группе отмечалась острая воспалительная реакция за счет нейтрофильной инфильтрации с присутствием единичных моноцитов (рисунок 6 а, б). В клетках эпителия роговицы наблюдались выраженные дистрофические и некробиотические

изменения в цитоплазме и ядерном аппарате (рисунок 6 в). Ядерно-цитоплазматическое отношение в эпителиальных клетках характеризовалось уменьшением размеров ядер и увеличением объема цитоплазмы. Отмечалось как большое скопление, так и малые группы кареолизисных нейтрофилов (рисунок 6 г). Также отмечено присутствие микрофлоры, предположительно *Streptococcus* spp. (рисунок 6 д).

На 7-е сутки также отмечено присутствие палочковидной микрофлоры, вероятно *Corynebacterium* spp. (рисунок 7 а). Отмечен апоптоз нейтрофилов (рисунок 7 б). Эпителий роговицы характеризовался высокой адгезией при низкой плотности эпителиоцитов, что в совокупности с присутствием патогенной микрофлоры ведет к снижению скорости эпителизации и регенерации (рисунок 7 в, г). Ядерно-цитоплазматическое отношение в эпителиальных клетках характеризовалось резким уменьшением размеров ядер и увеличением объема цитоплазмы (рисунок 7 б, в, г).

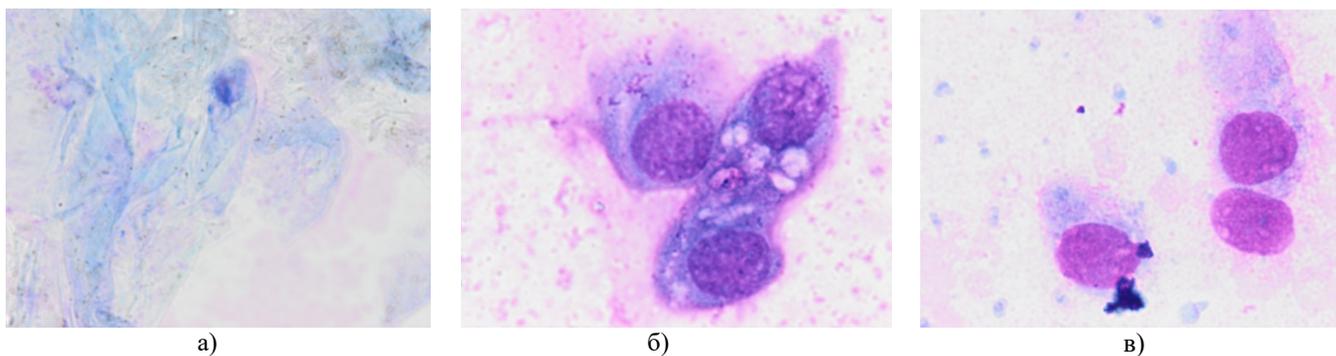


Рисунок 4

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы в I группе на 21-е сутки: а) скопление чешуек с гранулами меланина; б) сливающиеся между собой эпителиоциты; в) зрелые эпителиоциты

Figure 4

Impression cytology of corneal imprints in Group I on day 21: a) accumulation of squames with melanin granules; b) fusing epithelial cells; c) mature epitheliocytes

Note: a) – а); б) – б); в) – в)

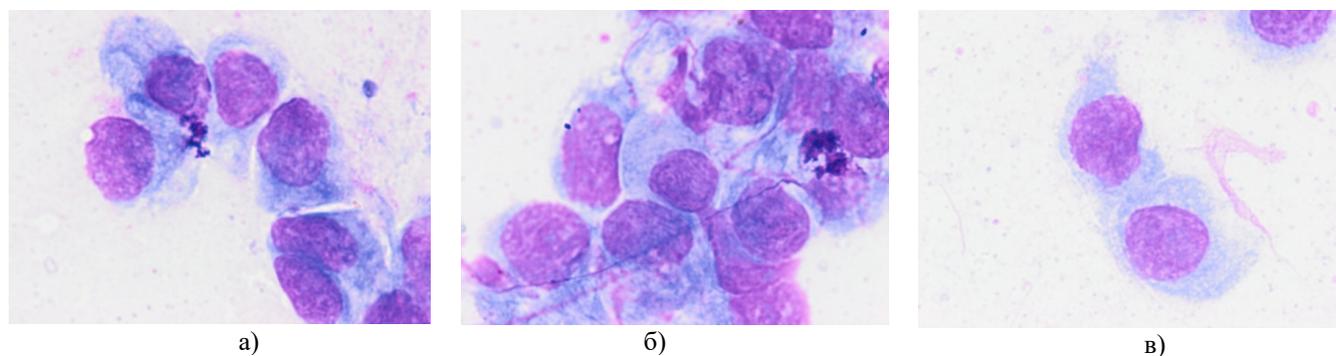


Рисунок 5

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы в I группе на 21-е сутки: а), б), в) зрелые эпителиоциты

Figure 5

Impression cytology of corneal imprints in Group I on day 21: а), б), в) mature epitheliocytes

Note: а) – а); б) – б); в) – в)

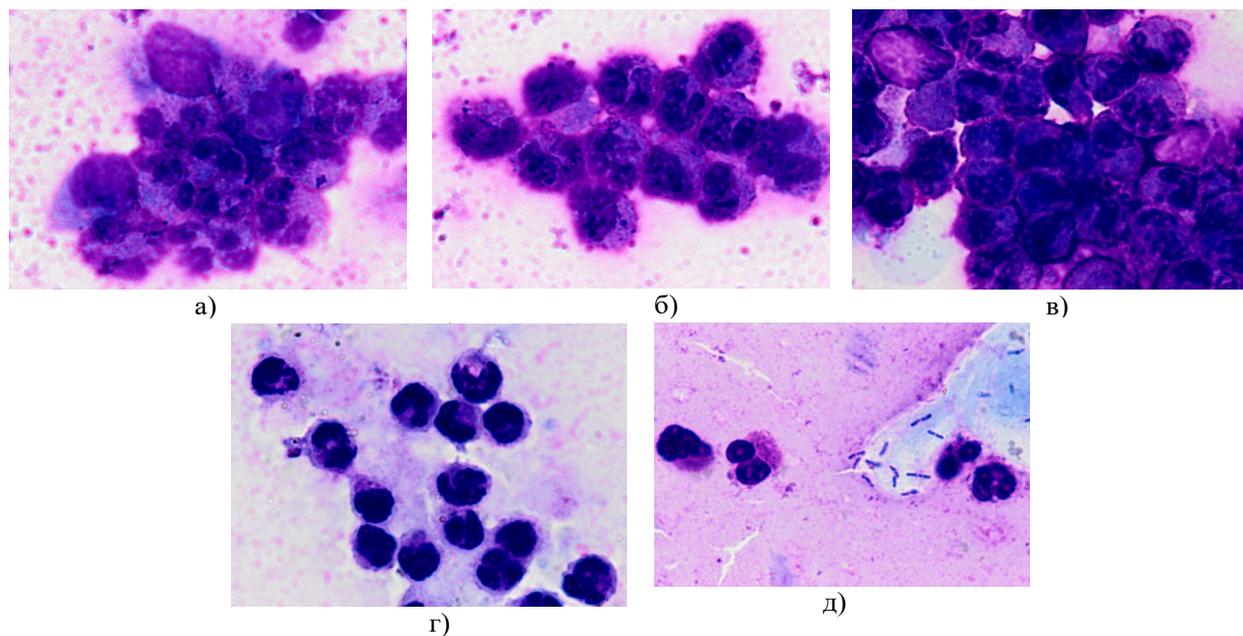


Рисунок 6

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы во II группе на 3-е сутки: а, б) смешанная лимфоидная популяция; в) скопление дегенеративных нейтрофилов; г) группа нейтрофилов; д) микрофлора, предположительно *Streptococcus* spp.

Figure 6

Impression cytology of corneal imprints in Group II on day 3: a, b) mixed lymphoid population; c) accumulation of degenerative neutrophils; d) group of neutrophils; e) microflora, presumably *Streptococcus* spp.

Note: a) – а), б) – б), с) – в), д) – г), е) – д)

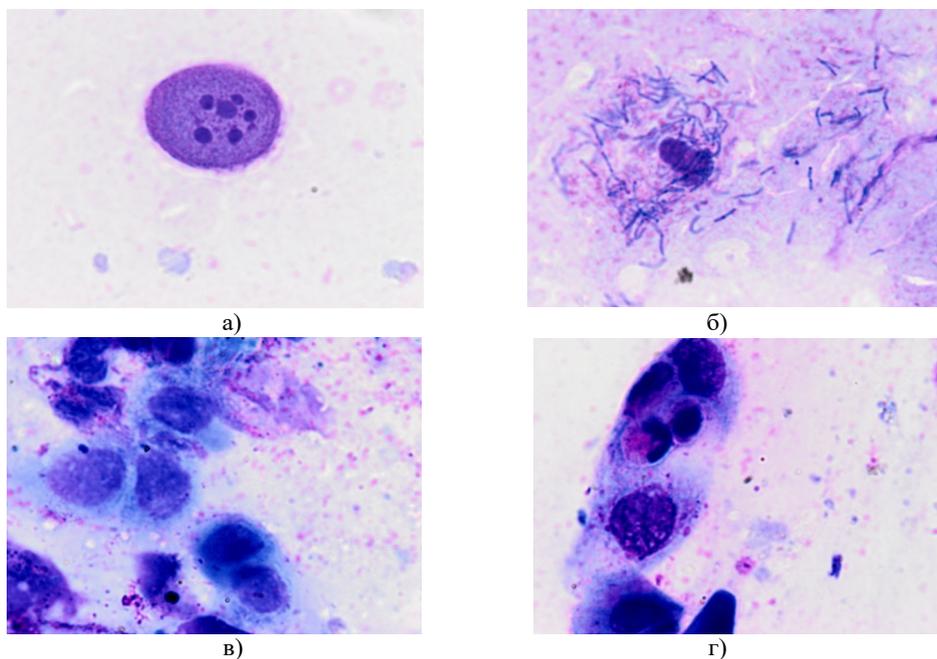


Рисунок 7

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы во II группе на 7-е сутки: а) палочковидная микрофлора, вероятно *Corynebacterium* spp.; б) апоптоз нейтрофила; в) скопление эпителиоцитов с присутствием лейкоцитарной инфильтрации; г) ядерные чешуйки плоского эпителия с дегенеративными нейтрофилами

Figure 7

Impression cytology of corneal imprints in Group II on day 7: a) bacillary microflora, probably *Corynebacterium* spp.; b) neutrophil apoptosis; c) fibrovascular accumulation of the presence of leukocytic infiltration; d) nucleated squamous epithelial cells (squames) with degenerative neutrophils

Note: a) – а), б) – б), с) – в), д) – г)

На 14-е сутки фиксировалось появление в зоне поражения подвергнутых изменениям формы кератиноцитов (рисунок 8 б). Визуализировалось скопление лейкоцитов разной степени зрелости, мононуклеарных клеток, а также нейтрофилов с дистрофическими изменениями (рисунок 8 а, г). Эпителиоциты отличались «изъязвленностью» контуров ядер неравномерным мелкоглыбчатым распределением хроматина, явлениями кариорексиса и кариолизиса, набуханием цитоплазмы (рисунок 8 б, в, г). Отмечено присутствие палочковидной микрофлоры, вероятно *Bacillus* (рисунок 8 д).

На 21-й день отмечалось скопление нейтрофилов с присутствием лизированных лейкоцитарных клеток, а также фиксировалось присутствие диффузной нейтрофильной

инфильтрации и клеточных элементов воспалительного ряда, что указывает на хронизацию процесса (рисунок 9 а, б, в, г). Зафиксировано обширное обсеменение палочковидной микрофлорой, вероятно *Bacillus* с редким присутствием *Saccharomyces cerevisiae* (рисунок 9 д).

На 28-й день наблюдения отмечено присутствие большого количества клеток воспалительного ряда: лейкоцитов разной степени зрелости, нейтрофилов и фибробластов (рисунок 10 а, б). Клетки роговичного эпителия обладали явными дистрофическими и некробиотическими изменениями ядерного аппарата, а именно кариолизисом (рисунок 10 в) Отмечено присутствие палочковидной микрофлорой, вероятно *Streptobacillus*, что говорит об остром воспалительном процессе (рисунок 10 г).

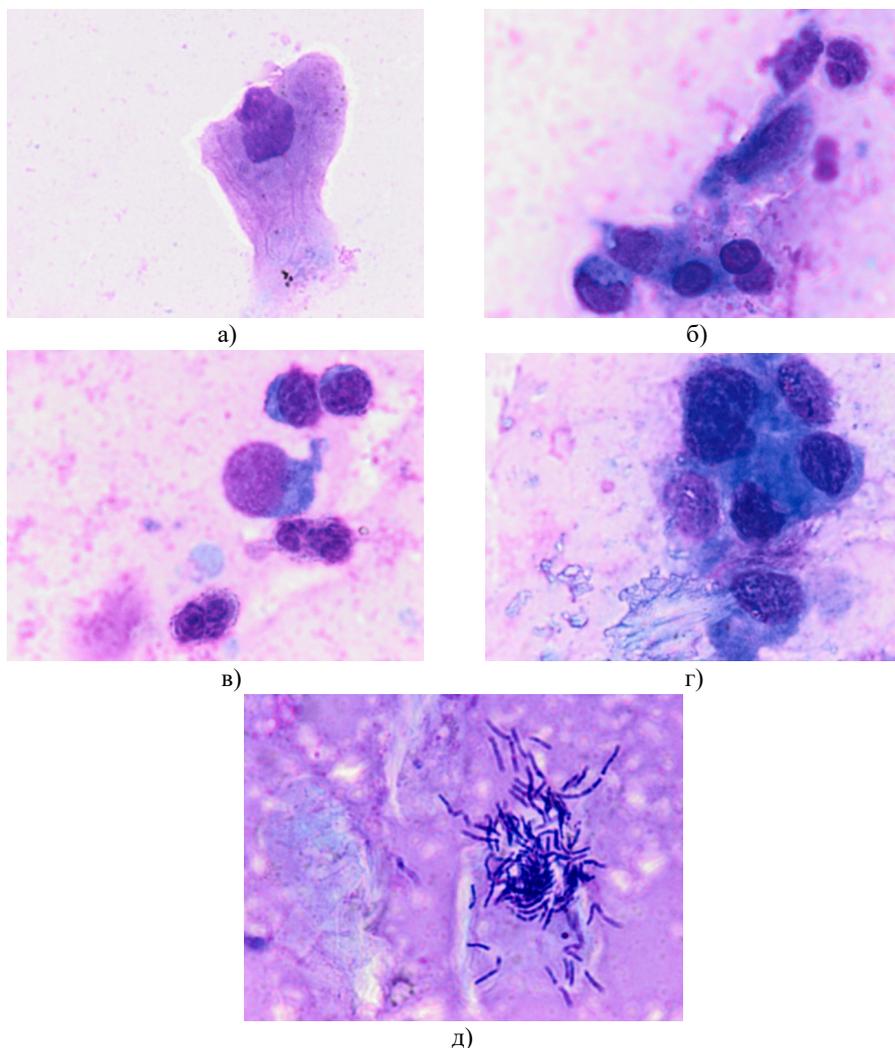


Рисунок 8

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы во II группе на 14-е сутки: а) кератиноцит; б) лейкоцитарный инфильтрат; в) два лимфоцита, два нейтрофила и один кератиноцит; г) кератиноциты формируют акцинарное строение; д) палочковидная микрофлора, вероятно *Bacillus* spp.

Figure 8

Impression cytology of corneal imprints in Group II on day 14: a) keratinocyte; b) leukocytic infiltrate; c) two lymphocytes, two neutrophils, and one keratinocyte; d) keratinocytes form an acinar structure; e) bacillary microflora, probably *Bacillus* spp.

Note: a) – a); b) – б); c) – в); d) – г); e) – д)

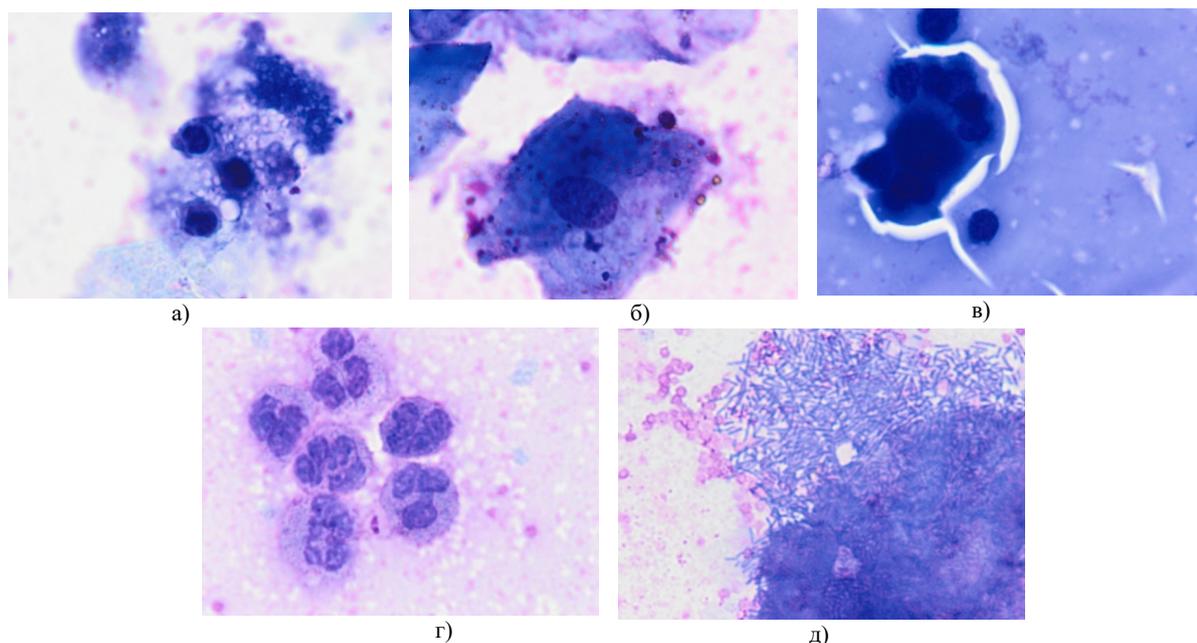


Рисунок 9

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы во II группе на 21-е сутки: а) скопление нейтрофилов с присутствием лизированных лейкоцитарных клеток; б) ядерный кератиноцит; в) скопление лейкоцитарных клеток с преобладанием нейтрофилов; г) скопление нейтрофилов; д) обсеменение палочковидной микрофлорой, вероятно *Bacillus* spp. с редким присутствием *Saccharomyces cerevisiae*

Figure 9

Impression cytology of corneal imprints in Group II on day 21: a) accumulation of neutrophils with the presence of lysed leukocytic cells; b) nucleated keratinocyte; c) accumulation of leukocytic cells with a predominance of neutrophils; d) accumulation of neutrophils; e) colonization bacillary microflora, probably *Bacillus* spp. with rare presence of *Saccharomyces cerevisiae*
Note: a) – а); б) – б); в) – в); г) – г); д) – д)

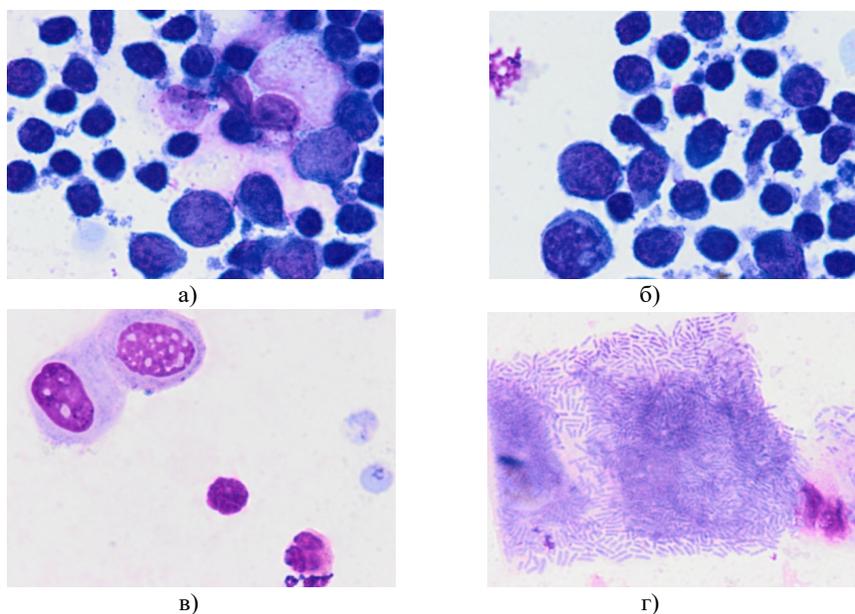


Рисунок 10

Импрессионная цитология мазков-отпечатков роговицы во II группе на 28-е сутки: а) скопление клеток воспалительного ряда с редкими клетками эпителия; б) скопление клеток воспалительного ряда; в) два эпителиоцита с дистрофическими изменениями ядерного аппарата и два нейтрофила; г) обсеменение палочковидной микрофлорой, вероятно *Streptobacillus* spp.

Figure 10

Impression cytology of corneal imprints in Group II on day 28: a) accumulation of inflammatory cells with rare epithelial cells; b) accumulation of inflammatory cells; c) two epitheliocytes with dystrophic changes of the nucleus and two neutrophils; d) colonization bacillary microflora, probably *Streptobacillus* spp.

Note: a) – а); б) – б); в) – в); д) – г)

Таким образом, в I группе была отмечена четкая стадийность регенеративных процессов. Острая фаза воспаления (3–7-е сутки) закономерно сменялась фазой пролиферации (14-е сутки), о чем свидетельствовало увеличение размеров ядер эпителиоцитов и появление молодых клеток. Завершился процесс фазой дифференцировки и созревания ткани (21–28-е сутки), что выражалось в нормализации клеточного состава, преобладании зрелых безъядерных эпителиоцитов и полном исчезновении воспалительных клеток. Полученные данные позволяют предположить, что глазные лекарственные пленки на основе биостимулятора из ткани мозга крупного рогатого скота обладают способностью купировать воспаление, снижать повреждающее действие химического агента и стимулировать регенераторный потенциал эпителия.

В контрольной II группе, напротив, патологический процесс принял затяжной характер с тенденцией к хроническому течению процесса. Ключевым негативным фактором, выявленным цитологически, стало раннее и массивное микробное обсеменение (*Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Bacillus*). Присоединение инфекции на фоне обширного некроза и отсутствия эпителиального барьера привело к развитию торпидного воспаления, которое не купировалось к концу срока наблюдения (28 суток). Выраженные дистрофические и некробиотические изменения ядер эпителия, сохраняющиеся на протяжении всего эксперимента, свидетельствуют о неспособности тканей к самостоятельной эффективной регенерации в условиях персистирующего воспаления и бактериальной агрессии. Хронизация процесса подтверждается наличием фибробластов и смешанного клеточно-го инфильтрата на поздних сроках.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведённое цитологическое исследование позволило в динамике оценить репаративные процессы в роговице кроликов после экспериментального кислотного ожога и выявить существенные различия в течении раневого процесса в зависимости от применения разработанных глазных лекарственных плёнок на основе биостимулятора из ткани головного мозга крупного рогатого скота.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в опытной группе (применение ГЛП на основе БСМ) наблюдалась физиологически обусловленная смена фаз заживления: острое воспаление (3–7-е сутки) сменялось фазой пролиферации (14-е сутки), завершаясь созреванием эпителия к 21–28-м суткам. Цитологическими маркерами этого процесса служили: уменьшение числа нейтрофилов и дистрофически изменённых клеток, увеличение размеров ядер эпителиоцитов (признак пролиферативной активности), нормализация ядерно-цитоплазматического отношения и, наконец, полное исчезновение воспалительных клеток к 28-м суткам. Подобная динамика согласуется с классическими представлениями о течении раневого процесса в роговице и соответствует данным, полученным при использовании других подобных лекарственных форм [10; 18]. Однако в отличие от Ю. Ли и др. [10], которые используют в составе гидрогеля с мицеллярным комплексом антимикробный препарат левофлоксацин, наши глазные лекарственные пленки не содержат в себе антимикробных препаратов.

В контрольной группе, напротив, процесс регенерации носил затяжной характер с тенденцией к хронизации. Ключевым негативным фактором, выявленным цитологически, стало раннее (с 3-х суток) и массивное микробное обсеменение (*Streptococcus* spp., *Corynebacterium* spp., *Bacillus* spp., *Streptobacillus*). Присоединение вторичной инфекции на фоне обширного некроза и отсутствия эпителиального барьера привело к формированию торпидного воспаления, которое не купировалось к окончанию срока наблюдения. Сохраняющаяся на протяжении всего эксперимента нейтрофильная инфильтрация, наличие макрофагов и фибробластов, а также выраженные дистрофические и некробиотические изменения ядер эпителия (кариорексис, кариолизис) свидетельствуют о неспособности тканей к самостоятельной эффективной регенерации в условиях персистирующего воспаления и бактериальной агрессии. Полученные данные подтверждают известное положение о том, что микробная контаминация является одним из основных факторов, замедляющих заживление ожоговых ран роговицы [19; 20].

Сопоставление результатов двух групп позволяет предположить несколько механизмов положительного действия ГЛП на основе БСМ. Во-первых,

биостимулятор, вероятно, обладает способностью модулировать воспалительный ответ, ограничивая избыточную нейтрофильную инфильтрацию и создавая условия для своевременного перехода к пролиферативной фазе. Во-вторых, ускоренная эпителизация под действием препарата способствует более быстрому восстановлению барьерной функции роговицы, что, в свою очередь, препятствует адгезии и инвазии патогенных микроорганизмов. Это согласуется с исследованиями [12; 18], показавшими, что стимуляция регенерации эпителия является ключевым фактором профилактики инфекционных осложнений при ожогах глаз. Но в отличие от исследования С. К. Парка и др. [18] производство ГЛП на основе БСМ не требует трудозатратного и дорогостоящего выделения и культивирования культур клеток.

Таким образом, результаты цитологического исследования убедительно демонстрируют, что применение ГЛП на основе БСМ способствует более благоприятному и быстрому заживлению кислотных ожогов роговицы по сравнению со спонтанным восстановлением. Препарат не только ускоряет эпителизацию, но и создаёт условия, препятствующие вторичному инфицированию, что позволяет рассматривать его как перспективное средство для комплексной терапии химических травм глаз в ветеринарной практике. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение молекулярных механизмов действия

биостимулятора, а также на оценку его эффективности в сравнительных исследованиях с другими регенеративными препаратами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило дать комплексную цитологическую оценку репаративных процессов в роговице кроликов при моделировании кислотного ожога на фоне применения разработанных глазных лекарственных пленок на основе биостимулятора из ткани головного мозга крупного рогатого скота. Методом импрессионной цитологии в динамике (на 3, 7, 14, 21 и 28-е сутки) установлено, что течение раневого процесса в роговице животных опытной группы характеризовалось четкой стадийностью и завершилось полным восстановлением эпителиального пласта к 28-м суткам. В контрольной группе, напротив, выявлено затяжное течение воспалительной реакции с тенденцией к хронизации, ранним и массивным микробным обсеменением (*Streptococcus* spp., *Corynebacterium* spp., *Bacillus* spp., *Streptobacillus*) и отсутствием признаков полноценной регенерации к окончанию срока наблюдения. Полученные данные обосновывают целесообразность дальнейших доклинических и клинических исследований разработанной лекарственной формы с целью внедрения в ветеринарную терапию ожогов роговицы сельскохозяйственных и мелких домашних животных.

Вклад авторов

М. М. Агаркова: разработка концепции, проведение исследования, получение финансирования, написание черновика рукописи.

Н. В. Агарков: разработка концепции, формальный анализ, проведение исследования, разработка методологии.

А. Н. Квочко: научное руководство, разработка методологии, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

В. С. Скрипкин: административное руководство исследовательским проектом, предоставление ресурсов.

О. В. Дилекова: визуализация, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Contributions

M. M. Agarkova: conceptualization, investigation, funding acquisition, writing-original draft.

N. V. Agarkov: conceptualization, formal analysis, investigation, methodology.

A. N. Kvochko: supervision, methodology, writing-review & editing.

V. S. Skripkin: project administration, resources.

O. V. Dilekova: visualization, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Niaki R.I., Pedram M.S., Abarkar M. et al. The effect of limbal tissue with conjunctival flap and bovine amniotic membrane on alkaline burn corneal wound: experimental study in rabbits. *Experimental Eye Research*. 2025;260:110597. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2025.110597>
2. Sharifpanah I., Abdolmaleki Z., Abarkar M. Investigating the effect of alpha-lipoic acid and retinoic acid eye drops on re-epithelialization, inflammation, and angiogenesis in a rabbit model of corneal wound healing through ICAM-1 and MMP-9 pathways. *Experimental Eye Research*. 2026;263:110808. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2025.110808>
3. Yingwei W., Liling X., Jupeng Z. et al. Reconstructing auto tissue engineering lamellar cornea with aspartic acid modified acellular porcine corneal stroma and preconditioned limbal stem cell for corneal regeneration. *Biomaterials*. 2022;289:121745. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121745>
4. Purnama L.O.M. J. , Fristiohady A., Payuhakrit W. et al. Effect of thermoresponsive quercetin-nanoemulgel eye drop on VEGF-A-induced corneal neovascularization: In vitro and in vivo. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2026;116:107968. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2025.107968>
5. Singha S.K., Goswami D.G., Wright H.N. et al. Effect of supersaturated oxygen emulsion treatment on chloropicrin-induced chemical injury in ex vivo. *Toxicology Letters*. 2021;349(1):124-133. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2021.06.015>
6. Silva R.O., Costa B.L., Silva C.N. et al. The proteolytic fraction from *Vasconcellea cundinamarcentis* accelerates wound healing after corneal chemical burn in rabbits. *Burns*. 2020;46(4):928-936. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.10.005>
7. Regu V.R., Gohel V., Gaur M. et al. Tamarind seed polysaccharide-metformin insert: Higher ocular retention, slow-release, and efficacy against corneal burn. *International Journal of Pharmaceutics*. 2024;659:124265. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124265>
8. Diaz N.M., Sun X., Gelder R.N.V. et al. Opsin 5 mediates violet light-accelerated wound healing in mammalian corneas. *Cell Reports*. 2025;44(8):116045. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2025.116045>
9. Sun X., Song W., Teng L. et al. MiRNA 24-3p-rich exosomes functionalized DEGMA-modified hyaluronic acid hydrogels for corneal epithelial healing. *Bioactive Materials*. 2023;25:640-656. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.07.011>
10. Li Y., Wang X., Wu M. et al. Micelle-integrated hydrogel combined with pH-response boosts eye burns therapy by inhibiting neovascularization, regulating inflammation and bacteriostasis. *Biomaterials Advances*. 2026;183:214732. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2026.214732>
11. Zhang H., Lan L.-M., Hu H.-J. et al. Cannabidiol-loaded hydrogel contact lenses for on-demand pH regulation and enhanced corneal alkali burn repair. *Journal of Controlled Release*. 2025;383:113859. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2025.113859>
12. Wang J., Wanga X., Mab X. et al. Mesenchymal stem cells derived extracellular vesicles modified PLGA electrospinning nanofibrous scaffolds for corneal and retinal repair. *Materials and Design*. 2024;247:113389. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113389>
13. Семёнов С.А., Хасанова Г.Р. Влияние факторов риска, связанных с оказанием медицинской помощи, на резистентность *Streptococcus pneumoniae* к пенициллину (мета-анализ). *Медицина*. 2025;13(4):72-89.
Semenov S.A., Khasanova G.R. The influence of risk factors associated with medical care on *Streptococcus pneumoniae* resistance to penicillin (meta-analysis). *Medicine*. 2025;13(4):72-89. (In Russ.)
14. Буцель А.С., Максименя Г.Г. Забытая группа антибактериальных препаратов. *Военная медицина*. 2021;4(61):94-100. <https://doi.org/10.51922/2074-5044.2021.4.94> EDN TKWIVX
Butsel A.Ch., Maximenya G.G. The forgotten group of antibacterial drugs. *Military medicine*. 2021;4(61):94-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.51922/2074-5044.2021.4.94> EDN TKWIVX
15. Горохова М.М., Шулунова А.Н., Федота Н.В., Квочко А.Н. Патент № 2811124 С1 Российская Федерация. *Глазные лекарственные пленки на основе биостимулятора из ткани головного мозга крупного рогатого скота с добавлением наночастиц серебра*. № 2022126920: заявл. 17.10.2022; опубл. 11.01.2024, заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет». EDN ATPDSD.

- Gorokhova M.M., Shulunova A.N., Fedota N.V., Kvochko A.N. Patent № 2811124 C1, Russian Federation. *Ophthalmic medicinal films based on a biostimulant from bovine brain tissue with the addition of silver nanoparticles*. № 2022126920: filed on 17.10.2022; published on 11.01.2024, applicant Stavropol State Agrarian University. (In Russ.) EDN ATPDSD.
16. Скрипкин В.С., Федота Н.В., Квочко А.Н. и др. Моделирование ожога роговицы раствором уксусной кислоты. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2023;4(52):18-21. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2023-4-52-18-21> EDN PSURIP.
Skripkin V.S., Fedota N.V., Kvochko A.N. et al. Simulation of a cornea burn with an acetic acid solution. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2023;4(52):18-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2023-4-52-18-21> EDN PSURIP.
 17. Горохова М.М., Федота Н.В., Шулунова А.Н. Патент № 2836425 C1 Российская Федерация. Способ моделирования химического ожога роговицы у кроликов. заявл. 02.08.2024; опубл. 14.03.2025; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет». EDN ADYVQC.
Gorokhova M.M., Fedota N.V., Shulunova A.N. Patent № 2836425 C1, Russian Federation. Method for simulating chemical corneal burn in rabbits. Appl. 02.08.2024; Publ. 14.03.2025; Applicant: Stavropol State Agrarian University. (In Russ.) EDN ADYVQC.
 18. Park S.K., Ha M., Kim E.J. et al. Hyaluronic acid hydrogels crosslinked via blue light-induced thiol-ene reaction for the treatment of rat corneal alkali burn. *Regenerative Therapy*. 2022;20:51-60. <https://doi.org/10.1016/j.reth.2022.03.005>
 19. Gong Y., Gao J., Li M. et al. URP20 improves corneal injury caused by alkali burns combined with pathogenic bacterial infection in rats. *Experimental Eye Research*. 2024;238:109739. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2023.109739>
 20. Sugioka K., Fukuda K., Nishida T. et al. The fibrinolytic system in the cornea: A key regulator of corneal wound healing and biological defense. *Experimental Eye Research*. 2021;204:108459. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2021.108459>

Сведения об авторах

Агаркова Маргарита Михайловна – аспирант, кафедра физиологии, хирургии и акушерства, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0009-0000-9307-3804>
SPIN-код: 5469-7558
agarkova.mm@stgau.ru

Агарков Николай Викторович – кандидат биологических наук, доцент, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-8679-8655>
SPIN-код: 2663-9704
agarkov_n.v@mail.ru

Квочко Андрей Николаевич – доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-4445-7638>
SPIN-код: 8958-0511
kvochko@yandex.ru

About the authors

Margarita M. Agarkova – Postgraduate student, Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0009-0000-9307-3804>
agarkova.mm@stgau.ru

Nikolai V. Agarkov – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-8679-8655>
agarkov_n.v@mail.ru

Andrey N. Kvochko – Dr. Sci. (Biol.), Prof., Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-4445-7638>
kvochko@yandex.ru

Скрипкин Валентин Сергеевич –

доктор биологических наук, профессор,
Ставропольский государственный аграрный
университет, Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-8492-0282>

SPIN-код: 6678-3491

skripkinvs@mail.ru

Дилекова Ольга Владимировна –

доктор биологических наук, доцент,
Ставропольский государственный аграрный
университет, Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-0247-8633>

SPIN-код: 2144-0564

dilekova2009@yandex.ru

Valentin S. Skripkin –

Dr. Sci. (Biol.), Prof., Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-8492-0282>

skripkinvs@mail.ru

Olga V. Dilekova –

Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Stavropol State
Agrarian University, Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-0247-8633>

dilekova2009@yandex.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-55-68>

Влияние породной принадлежности коров на молочную продуктивность, состав молока и показатели качества мягких сыров

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ольга Владимировна Сычева
E-mail: olga-sycheva@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сложенкина М.И., Горлов И.Ф., Мосолова Н.И., Антипова Т.А., Кудряшова О.В., Мосолова Е.А., Сычева О.В.
Влияние породной принадлежности коров на молочную продуктивность, состав молока и показатели качества мягких сыров. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):55-68. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-55-68> EDN HJNHWP

ПОСТУПИЛА: 22.12.2025

ДОРАБОТАНА: 04.03.2026

ПРИНЯТА: 12.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Сложенкина М.И., Горлов И.Ф., Мосолова Н.И., Антипова Т.А., Кудряшова О.В., Мосолова Е.А., Сычева О.В.



М.И. Сложенкина ^{1,2} , И.Ф. Горлов ^{1,2} , Н.И. Мосолова ¹ , Т.А. Антипова ¹ , О.В. Кудряшова ¹ , Е.А. Мосолова ^{1,2} , О.В. Сычева ³

¹ Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

³ Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Выбор породы молочного скота является определяющим фактором, влияющим как на продуктивность животных, так и на технологические свойства молока. Для российских производителей в Волгоградской области, ориентированных на сыроделие, отсутствуют научно обоснованные рекомендации по выбору породы, обеспечивающей оптимальное сочетание удоя и качества сырья для производства мягких сыров. К числу наиболее распространенных в данном регионе пород скота относятся голштинская, черно-пестрая и красная степная. В связи с этим оценка молочной продуктивности и качества молока коров данных пород для его промышленной переработки представляется целесообразным исследованием.

ЦЕЛЬ. Представить сравнительную оценку молочной продуктивности коров голштинской, черно-пестрой и красной степной пород на примере Волгоградской области и анализ пригодности их молока для производства мягких сыров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование проведено на 30 полновозрастных коровах по 10 голов каждой породы в трех хозяйствах Волгоградской области в течение 305 дней лактации в 2024 году. В пробах молока определяли массовую долю жира, белка, аминокислотный состав, термоустойчивость и сыропригодность. Из молока каждой группы выработаны образцы мягкого сыра, в которых оценивали физико-химические, органолептические показатели и аминокислотный профиль.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Наивысший среднесуточный удой установлен у коров голштинской породы (30,4 кг), что на 53,3 и 72,4 % выше, чем у черно-пестрой и красной степной пород соответственно. Максимальным содержанием жира (4,12 %) и белка (3,30 %) характеризовалось молоко черно-пестрой породы. Молоко голштинской породы отличалось наиболее высоким содержанием незаменимых аминокислот, особенно лизина. Мягкий сыр из молока голштинов превосходил образцы из молока других пород по содержанию жира (18,31 %), белка (17,78 %), сумме аминокислот и получил наивысшую органолептическую оценку (43 балла из 45).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Подтверждены высокие показатели продуктивности и качества молока коров исследуемых пород в условиях Волгоградской области. Переработка молока коров каждой породы на мягкие сыры является целесообразной, однако мягкий сыр, произведенный из молока голштинской породы, обладает наилучшими потребительскими характеристиками и пищевой ценностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: породная принадлежность коров, молочная продуктивность, качество молока, аминокислотный состав, мягкие сыры

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-10-23>

Assessment of the productive qualities of dairy cows of different breeds and their impact on the quality of soft cheeses

CORRESPONDENCE:

Olga V. Sycheva

E-mail: olga-sycheva@mail.ru

FOR CITATION:

Slozhenkina M.I., Gorlov I.F., Mosolova N.I., Antipova T.A., Kudryashova O.V., Mosolova E.A., Sycheva O.V. Assessment of the productive qualities of dairy cows of different breeds and their impact on the quality of soft cheeses. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(1):55-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-55-68>

RECEIVED: 22.12.2025

REVISED: 04.03.2026

ACCEPTED: 12.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Slozhenkina M.I., Gorlov I.F., Mosolova N.I., Antipova T.A., Kudryashova O.V., Mosolova E.A., Sycheva O.V.



Marina I. Slozhenkina ^{1,2} , Ivan F. Gorlov ^{1,2} , Natalya I. Mosolova ¹ , Tatyana A. Antipova ¹ , Olga V. Kudryashova ¹ , Elizaveta A. Mosolova ^{1,2} , Olga V. Sycheva ³

¹ Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russian Federation

² Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

³ Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

ABSTRACT

INTRODUCTION. The choice of dairy cattle breed is a determining factor influencing both animal productivity and the technological properties of milk. For Russian producers in the Volgograd region specializing in cheese-making, there is a lack of scientifically substantiated recommendations for selecting a breed that ensures an optimal combination of milk yield and raw milk quality for soft cheese production. The most common cattle breed in this region include Holstein, Black-and-White, and Red Steppe. In this regard, an assessment of the dairy productivity and milk quality of cows from these breeds for industrial processing appears to be a relevant and justified study.

AIM. To present a comparative assessment of the dairy productivity of Holstein, Black-and-White, and Red Steppe cows, using the Volgograd region as a case study, and to analyze the suitability of their milk for soft cheese production.

MATERIALS AND METHODS. The study was conducted on 30 full-aged cows, with 10 head of each breed, across three farms in the Volgograd region over 305 days of lactation in 2024. Milk samples were analyzed for mass fraction of fat, protein, amino acid composition, heat stability, and cheese-making suitability. Soft cheese samples were produced from the milk of each group, and their physicochemical parameters, organoleptic properties, and amino acid profile were evaluated.

RESULTS. The highest average daily milk yield was recorded in Holstein cows (30.4 kg), which was 53.3 and 72.4% higher than that of Black-and-White and Red Steppe cows, respectively. Milk from the Black-and-White breed was characterized by the maximum fat (4.12%) and protein (3.30%) content. Milk from the Holstein breed was distinguished by the highest content of essential amino acids, particularly lysine. Soft cheese made from Holstein milk was superior to samples from other breeds in fat content (18.31%), protein content (17.78%), total amino acid sum, and received the highest organoleptic evaluation (43 points out of 45).

CONCLUSION. The high productivity and milk quality indicators of the studied cow breeds under the conditions of the Volgograd region were confirmed. Processing milk from each breed for soft cheese production is feasible; however, soft cheese produced from Holstein milk exhibits the best consumer characteristics and nutritional value.

KEYWORDS: cattle breed, dairy productivity, milk quality, amino acid composition, soft cheeses

ВВЕДЕНИЕ

Продовольственная независимость России напрямую связана с активным развитием молочного скотоводства, которое в последнее время занимает значительное место в общем ценовом объеме животноводческой продукции [1–3]. Это обусловлено темпами роста перерабатывающей промышленности и, в частности, молочной – перспективной для потребителя отрасли. Повышенная конкуренция переработчиков молока стимулирует сельхозпроизводителей на интенсивное использование ресурсов, чему также способствует стабильный потребительский спрос на молочную продукцию. Однако обеспечение населения молочными продуктами не достигает требуемого уровня, несмотря на положительную динамику в животноводстве [4; 5].

Переработка молока на промышленных предприятиях, оснащенных высокотехнологичным оборудованием, позволяет выпускать высококачественную продукцию при использовании молочного сырья с достаточно широким диапазоном показателей пищевой и биологической ценности. Тенденция увеличения производственной способности перерабатывающих предприятий и сельскохозяйственных организаций взаимосвязана с улучшением показателей молочной продуктивности животных и получаемого сырья [6].

Качество и безопасность заготавливаемого молока – задача, требующая комплексного решения специалистов зоотехнии, ветеринарии и промышленных технологов. Показатели молока для его переработки на пищевые продукты, их качественное и количественное содержание, зависит от многих факторов: породы животного, его индивидуальных особенностей, физиологического состояния и др. При этом считается, что наиболее существенным фактором, влияющим на состав молока, является породная принадлежность [6–9].

Известно, что различные фракции азотистых соединений в молоке (не только казеины) по-разному влияют на пищевую ценность молока, его способность к коагуляции и прочности сгустка, а также на эффективность производства сыра [10]. Для производства молока используются разные породы крупного рогатого скота отечественной и зарубежной селекции, основное маточное поголовье которых представлено животными черно-пестрой и голштинской пород. А. Саммер и др. [11] утверждают, что породный фактор оказывает статистически значимое влияние на все показатели свертыва-

ваемости молока и его конечную пригодность для сыроварения. Молоко от некоторых пород (например, брауншвейгской и их помесей) стабильно демонстрирует лучшие показатели сыропригодности молока, что является критически важным для стандартизации и эффективности производства сыра высшего качества. Исследование Е. С. К. Кетто и др. [12] прямо подтверждает, что различия в полиморфизме белков молока (особенно генов CSN3 (κ-казеин) и LGB (β-лактоглобулин) между породами голштинская, брауншвейгская и симментальская являются основной причиной различий технологических свойств молока – времени свертывания и прочности сычужного сгустка.

Немаловажную роль в развитии молочного скотоводства играет красная степная порода, наиболее приспособленная к условиям засушливых территорий. Однако в последние годы численность данной породы значительно сократилась, что во многом связано с процессами интенсификации в данной отрасли [13; 14]. Отличительные признаки каждой из пород зачастую определяют назначение сырья для производства того или иного вида пищевого продукта [5; 15–17].

Существенное влияние на продуктивность и свойства молока оказывает разнообразие климатических зон, присущее России. В этой связи преимущество отдается животным, имеющим высокие производительные характеристики, к числу которых относится породная принадлежность. Однако для жаркого климата чистопородное разведение голштинов может быть не самым эффективным, и использование айрширской породы или стратегии скрещивания позволяют получать молоко с более выгодными технологическими свойствами (например, для сыроделия) при сохранении удовлетворительной продуктивности [18]. Изучение реализации этого потенциала в конкретных условиях юга России представляет научный и практический интерес. Одним из таких регионов является Волгоградская область, занимающая благоприятное положение, располагаясь на юго-востоке Европейской части России. При этом следует отметить, что важнейшей отраслью сельскохозяйственного производства в Волгоградской области является животноводство. К числу наиболее распространенных в данном регионе пород скота относятся голштинская, черно-пестрая и красная степная. Получение данных по молочной продуктивности и качеству молока для его промышленной переработки представляется целесообразным исследованием [6; 19]. Однако, несмотря на признанное влияние породной принадлежности на технологические свойства молока, сравнительная оценка молоч-

ной продуктивности и сыропригодности молока коров голштинской, черно-пестрой и красной степной пород в природно-климатических и хозяйственных условиях Волгоградской области недостаточно представлена в научной литературе. Имеющиеся данные по другим регионам не в полной мере отражают потенциал животных в специфических условиях Нижнего Поволжья, что сдерживает научно обоснованный подход к подбору пород для производства мягких сыров из местного сырья.

Цель работы – сравнительная оценка молочной продуктивности и технологических свойств молока коров различных пород, разводимых в Волгоградской области, для определения его пригодности при производстве мягких сыров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и место исследования

Исследования проводились на базе хозяйств ООО «Мяско», ООО «Лидер» и ПЗК им. Ленина Волгоградской области, Россия. Для исследований были сформированы три группы коров по 10 голов в каждой: в первую группу вошли животные черно-пестрой породы, во вторую – голштинской и в третью – красной степной породы. Формирование животных проводили по принципу пар-аналогов с учетом возраста, живой массы, уровня продуктивности. На момент проведения исследований животные имели 3 лактации. Период исследования 12 месяцев 2024 года.

Условия содержания и кормления

Животные находились в условиях стойлового содержания. Для кормления животных использовались полноценные сбалансированные рационы с учетом их продуктивности и физиологического состояния.

Процедура исследования

Молоко-сырье отбиралось каждый месяц и исследовалось по физико-химическим показателям и технологическим свойствам. Молочную продуктивность подопытных животных регистрировали индивидуально от каждой коровы один раз в декаду по результатам контрольных доек.

Для выработки образцов мягкого сыра использовалось молоко в количестве 10 кг, отобранное в течение суток. Образцы сыра вырабатывали в августе в 3 повторностях. В готовых продуктах определяли органолептические и физико-химические показатели (массовая доля жира, сухого вещества, белка, титруемая кислотность, аминокислотный состав, содержание кальция, фосфора).

Лабораторные исследования проводились в ГНУ НИИММП в соответствии с требованиями соответствующих нормативно-технических документов. Определение качественных показателей молока и выработанных продуктов проводили по следующим нормативным документам: определение массовой доли жира – по ГОСТ 5867–23¹; белка – по ГОСТ 25179–2014²; лактозы – по ГОСТ 34304–2017³; сухих веществ – по ГОСТ Р 54668–2011⁴; СОМО – расчетным методом; титруемой кислотности – по ГОСТ Р 54669–2011⁵; плотности – по ГОСТ Р 54758–2011⁶; золы – по ГОСТ Р 51463–99⁷; аминокислотного состава – с помощью системы «Капель» КЭ по М 04–38–2009, термоустойчивость – по ГОСТ 25228–82⁸; органолептических показателей – по ГОСТ Р ИСО 22935–2–2011⁹ и ГОСТ 33630–2015¹⁰.

Статистическая обработка данных

Статистический анализ полученных данных осуществляли посредством программного обеспечения MS Excel («Microsoft Office», США).

¹ ГОСТ 5867–2023 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира.

² ГОСТ 25179–2014 Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка.

³ ГОСТ 34304–2017 Молоко и молочные продукты. Метод определения лактозы и галактозы.

⁴ ГОСТ Р 54668–2011 Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества.

⁵ ГОСТ Р 54669–2011 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности.

⁶ ГОСТ Р 54758–2011 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности.

⁷ ГОСТ Р 51463–99 Казеины сычужные и казеинаты. Метод определения массовой доли золы.

⁸ ГОСТ 25228–82 Молоко и сливки. Метод определения термоустойчивости по алкогольной пробе.

⁹ ГОСТ Р ИСО 22935–2–2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки.

¹⁰ ГОСТ 33630–2015 Сыры и сыры плавленые. Методы контроля органолептических показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование продуктивности и качества молока коров голштинской, черно-пестрой и красной степной пород

Данные, полученные при исследовании молочной продуктивности и качества молока-сырья коров черно-пестрой, голштинской и красной степной пород, демонстрируют различия изучаемых показателей (рисунок 1).

При оценке молочной продуктивности установлено, что животные голштинской породы имели наивысший среднесуточный показатель, составляющий 30,39 кг, превышающий аналогичный у коров черно-пестрой породы в среднем на 53,3 %; красной степной – на 72,4 %. Однако показатели пищевой ценности полученного молока имели обратную тенденцию с превалированием у животных черно-пестрой породы. Так, массовая доля жира и белка в молоке коров черно-пестрой породы была выше на 0,58 и на 0,40 %, чем у коров голштинской, и на 0,23 и 0,38 %, чем у коров красной степной пород. По содержанию лактозы исследуемые образцы имели близкие значения. То же следует отметить и по содержанию минеральных веществ. Массовая доля лактозы находилась в пределах 4,71–4,74, золы – 0,75–0,78 %. Разница в показателях продуктивности и пищевой ценности молока обусловлена породной принадлежностью животных.

За счет более высокого удоя за исследуемый период времени от коров голштинской породы

было получено на 90,03 кг (33,1 %) больше жира, на 79,5 кг (36,3 %) белка, чем от коров черно-пестрой, и на 133,2 кг (58,1 %) и 124,5 кг (71,5 %), чем от коров красной степной породы.

Оценивая роль молока как сырья в развитии перерабатывающей промышленности и как самостоятельного продукта в повседневном питании человека, следует отметить его огромное значение в решении проблемы современности – недостаточности полноценного легкоусвояемого животного белка и продуктов высокой биологической ценности [20–22]. Состав белков молока, обусловленный набором разнообразных аминокислот, достаточно сложен, индивидуален по строению, физико-химическим свойствам и выполняемым биологическим функциям. Аминокислотная последовательность белков молока известна и стабильна, а вот качественный и количественный состав – индивидуальны, присущи конкретному биологическому объекту.

В данной связи для оценки биологической ценности проведены исследования аминокислотного состава белка молока исследуемых групп животных. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно широком диапазоне содержания аминокислот. Наиболее богатым по их количеству оказалось молоко коров голштинской породы, которое отличалось высоким содержанием лизина, суммы лейцина и изолейцина, валина, треонина, относящихся к незаменимым аминокислотам.

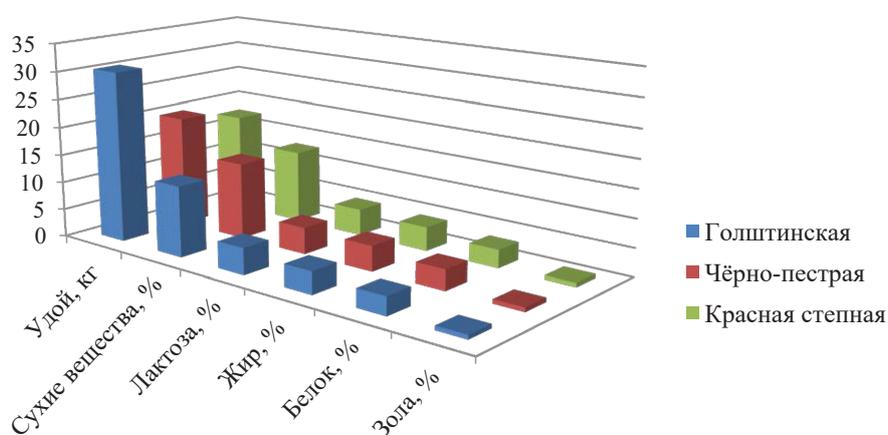


Рисунок 1

Среднесуточный удой и физико-химические показатели молока коров разных пород

Figure 1

Milk yield and physico-chemical parameters of milk from cows of different breeds

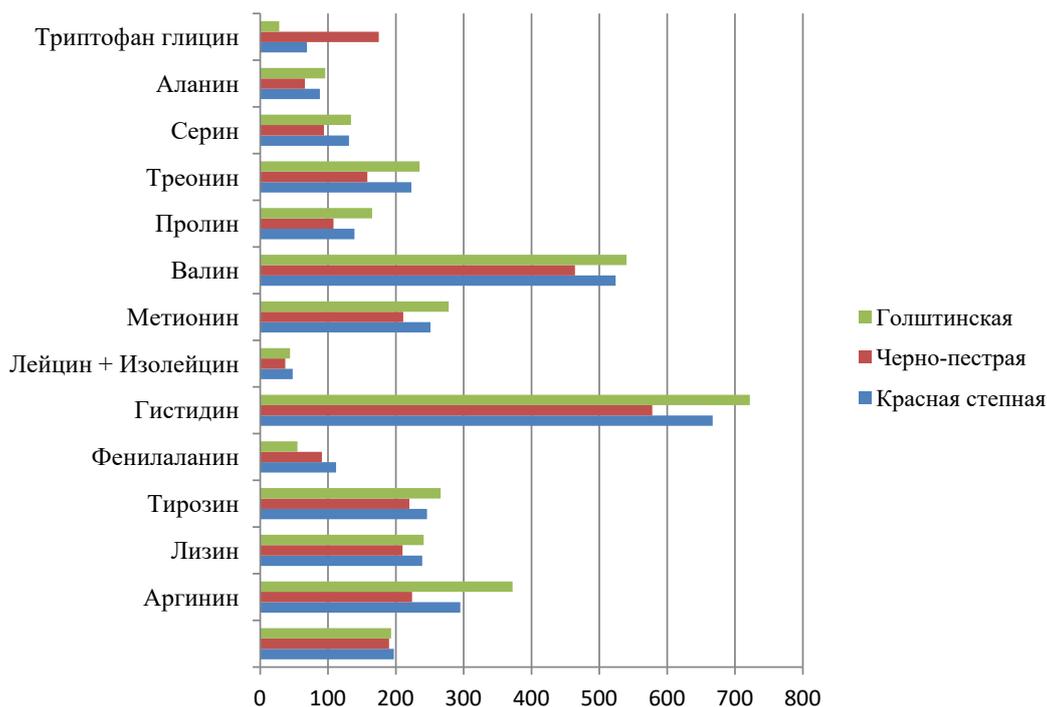


Рисунок 2
Содержание аминокислот в молоке, мг/100г

Figure 2
Amino acid content in milk, mg/100 g

Из числа заменимых аминокислот преобладали гистидин, глицин и серин при более низкой массовой доле общего белка в сравнении с другими группами. Содержание лизина в молоке коров данной породы превышало аналогичный показатель в молоке коров красной степной породы на 26,1, черно-пестрой – на 66,1 %; суммы лейцина и изолейцина – на 8,2 и 24,9 %; валина – на 10,5 и 31,9 %; глицина – на 8,1 и 45,3 % соответственно. В молоке коров черно-пестрой породы содержание такой незаменимой аминокислоты, как триптофан, превышало аналогичный показатель в молоке коров голштинской породы в 2,5, а красной степной – в 6,2 раза. В молоке коров красной степной породы преобладал метионин.

Высокое содержание белка в молоке дает основание для его переработки на высокобелковые продукты, к числу которых относятся мягкие сыры, являющиеся популярными и часто употребляемыми в питании различных групп населения наравне с традиционными – твердыми и полутвердыми сырами.

Выработка образцов мягкого сыра

Для оценки возможности использования молока для производства сыров проводили исследования

его сыропригодности. По результатам исследований молоко всех подопытных животных относится ко второй группе, так как время свертывания составило от 27 до 31 мин. Важным показателем для производства всех видов сыров является соотношение белок/СОМО, которое в оптимальном варианте должно быть на уровне 0,37–0,45. При исследовании данного показателя получены следующие результаты: 0,37 – для молока коров голштинской и красной степной пород; 0,39 – для молока коров черно-пестрой породы, что характеризует технологичность сырья для производства мягких сыров.

Выработку образцов сыров проводили в опытно-экспериментальных условиях по стандартной технологии с использованием заквасочной культуры на основе мезофильных микроорганизмов и молокосвертывающего фермента – микробияльного ренина марки Meito Sanguo, в состав которого входит пепсин на основе грибов *Rhizomucor miehei*. Учитывая процесс пастеризации молока и обеспечения лучшей свертываемости, в него добавляли раствор хлористого кальция. Далее полученную смесь перемешивали. Образовавшийся сгусток разрезали на кубики размером 8 мм, вымешивали и отделяли часть сыворотки. Формование прово-

дили наливом с самопрессованием с последующей посолкой в солевом рассоле в течение 2 часов. Созревание сыра проводили в течение 12 часов. В готовом продукте проведена комплексная оценка качества в соответствии с требованиями Технического регламента (ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»).

Органолептические и физико-химические показатели образцов мягкого сыра

Результаты исследований органолептических и физико-химических показателей сыров представлены в таблице.

По органолептическим показателям образцы мягких сыров характеризовались чистым кисло-молочным вкусом и запахом, нежной консистенцией. Согласно ГОСТ 33630–2015 мягкие сыры оцениваются по 50-балльной шкале при максимальной оценке вкуса и запаха – 20, консистенции – 10, цвета – 5, рисунка – 5, внешнего вида – 5, упаковки – 5 баллов. В наших исследованиях мы не оценивали элемент «упаковка», в связи с тем, что данные образцы сыров вырабатывали в опытно-экспериментальных условиях. В соответствии с этим оценка проводи-

лась из расчета максимум 45 баллов. Оцениваемые образцы распределились в следующем порядке: 43 балла – образец сыра, выработанного из молока коров голштинской породы; 40 баллов – из молока коров черно-пестрой и 35 баллов – из молока коров красной степной породы. Более низкое содержание массовых долей жира и белка в образце сыра, выработанного из молока коров красной степной породы, снизило общую балльную оценку органолептического восприятия данного образца продукта.

По физико-химическим показателям образцы сыров характеризовались следующими значениями: массовая доля жира составила 14,95–18,31; белка – 15,51–17,78 %, что и определило их пищевую и энергетическую ценность, более высокие показатели которых имел образец сыра, выработанного из молока коров голштинской породы. Наибольшие количества кальция и фосфора отмечены в образце, полученном из молока коров голштинской породы. В образцах сыров, выработанных из молока коров черно-пестрой и красной степной пород, их количество достаточно низкое (для сыров), что, возможно, объясняется потерей данных элементов с сывороткой.

Таблица

Органолептические и физико-химические показатели мягких сыров

Table

Organoleptic and physico-chemical parameters of soft cheeses

Показатель	Характеристика сыров, выработанных из молока коров разных пород		
	Голштинская	Черно-пестрая	Красная степная
Органолептические показатели			
Цвет	Светло-желтый		Молочный
Консистенция	Нежная, однородная по всей массе		
Вкус и запах	Чистый, кисло-молочный слегка солоноватый	Чистый, кисло-молочный, в меру соленый	
Внешний вид	Ровная увлажненная поверхность		
Рисунок	Отсутствие рисунка		
Физико-химические показатели			
Массовая доля жира, %	18,31	15,9	14,95
Массовая доля белка, %	17,78	16,32	15,51
Массовая доля сухого вещества, %	42,20	41,00	39,20
Массовая доля жира в сухом веществе, %	43,59	38,78	38,1
Массовая доля кальция, %	0,46	0,27	0,21
Массовая доля фосфора, %	0,33	0,24	0,26
Титруемая кислотность, °Т	64,00	69,00	67,00
Энергетическая ценность, ккал	236,0	208,0	196,0

В процессе производства мягких сыров наибольшие изменения претерпевают белки, что способствует накоплению свободных аминокислот, качественный и количественный состав которых зависит от многих факторов, в том числе от качества исходного сырья. Для оценки белковой составляющей проведены исследования аминокислотного состава образцов мягкого сыра, выработанных из молока коров различных пород. Результаты исследований приведены на рисунке 3.

Согласно полученным данным, наиболее полноценным по количеству аминокислот является сыр, выработанный из молока коров голштинской породы, что коррелирует с данными аминокислотного состава молока данной породы. Практически все аминокислоты в молоке данной группы коров присутствуют в большем количестве. Значительное преимущество следует отметить по таким аминокислотам, как аргинин, тирозин, метионин, аланин. Однако в молоке коров красной степной породы преобладали лизин и треонин. Высокое содержание триптофана в сыре, выработанном из молока коров черно-пестрой породы, сохранило тенденцию самого высокого из всех образцов показателя, как и в молоке-сырье.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований подтверждены высокие показатели продуктивности и качества молока коров различных пород, разводимых в Волгоградской области, таких как голштинская, черно-пестрая и красная степная. Наиболее высокие показатели продуктивности были зарегистрированы у коров голштинской породы, что согласуется с данными других исследователей, подтверждающих ее высокий генетический потенциал [23; 24]. Среднесуточный удой этих животных составил 30,39 кг молока, что значительно превышает аналогичные показатели у черно-пестрых коров на 53,3, у красных степных – на 72,4 %. Это свидетельствует о том, что голштинская порода является наиболее продуктивной среди исследуемых, что делает ее предпочтительной для молочного производства.

Что касается состава молока, то здесь также наблюдаются интересные результаты. Коровы черно-пестрой породы продемонстрировали более высокие уровни содержания жира и белка в молоке. Массовая доля жира была выше на 0,58, а белка на 0,40 % по сравнению с молоком коров голштинской породы. Более того, эти показатели также превышали значения, полученные от коров красной степной породы, на 0,23 и 0,38 % соответственно.

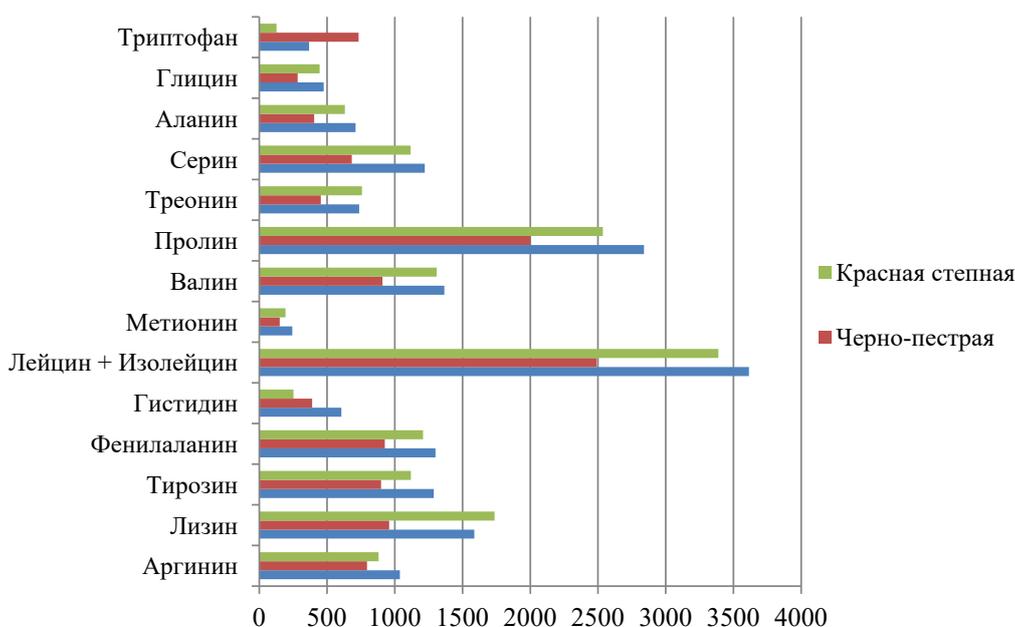


Рисунок 3
Содержание аминокислот в сырах, мг/100 г

Figure 3
Amino acid content in cheeses, mg/100 g

Это свидетельствует о том, что черно-пестрая порода может быть более перспективной для производства молочных продуктов с высоким содержанием жира и белка, что обеспечивает их максимальный выход и высокие показатели качества [25; 26]. Сравнение количественных показателей жира и белка показывает, что от коров голштинской породы было получено на 90,03 кг больше жира и на 79,5 кг белка по сравнению с черно-пестрыми коровами. В то же время разница в получении жира и белка между коровами голштинской и красной степной пород была еще более значительной: 133,2 кг (58,1 %) жира и 124,5 кг (71,5 %) белка. Молоко коров голштинской породы оказалось наиболее богатым по содержанию незаменимых аминокислот. Например, содержание лизина в молоке голштинских коров превышало аналогичный показатель в молоке красных степных коров на 26,1, а у черно-пестрых – на 66,1 %. Также было отмечено, что содержание лейцина и изолейцина в молоке голштинских коров было выше на 8,2 и 24,9 % соответственно, в то время как содержание валина превышало аналогичные показатели в молоке коров черно-пестрой и красной степной пород на 10,5 и 31,9 %. Однако стоит отметить, что молоко коров черно-пестрой породы содержало триптофана в 2,5 раза больше, чем у голштинских коров, и в 6,2 раза больше, чем у красных степных. Метионин, в свою очередь, преобладал в молоке красных степных коров, что может быть важно для некоторых технологических процессов.

При производстве образцов мягкого сыра наивысшие показатели пищевой ценности были зафиксированы у сыра, изготовленного из молока коров голштинской породы. Этот сыр отличался высоким содержанием жира, белка, сухих веществ и аминокислот, что делает его особенно ценным для потребителей. Взаимосвязь показателей качества сырья и готового продукта, изготовленного на его основе, прослеживается в работах и других исследователей [27–30]. Таким образом, проведенная оценка продуктивности коров различных пород и качества получаемого молока подтвердила высокие результаты за 305 дней лактационного периода. Это подчеркивает целесообразность переработки молока

на мягкие сыры, что может быть перспективным направлением для молочного производства в регионе. Важно отметить, что выбор породы коров для молочного производства должен основываться не только на количестве получаемого молока, но и на его качестве, что в конечном итоге влияет на конечный продукт и его потребительские характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная комплексная оценка молочной продуктивности коров трех пород (голштинская, черно-пестрая, красная степная) в условиях Волгоградской области подтвердила существенное влияние породного фактора как на количество, так и на качественные характеристики получаемого молока. Установлено, что наибольшим продуктивным потенциалом характеризуются коровы голштинской породы, значительно превосходящие по величине удоя животных черно-пестрой и красной степной пород. Вместе с тем выявлена обратная зависимость: максимальные показатели массовой доли жира и белка в молоке зафиксированы у коров черно-пестрой породы. Анализ аминокислотного профиля показал, что наиболее ценным по содержанию незаменимых аминокислот является молоко коров голштинской породы. Данное преимущество сохраняется и при его переработке: мягкий сыр из молока голштинов характеризуется наилучшими показателями пищевой ценности и органолептической оценки.

Практическая значимость работы заключается в обосновании выбора голштинской породы в качестве приоритетной для производства мягких сыров с высокой биологической ценностью в условиях Нижнего Поволжья. Молоко черно-пестрой породы, обладающее повышенной жирномолочностью, может быть рекомендовано для производства цельномолочной продукции и масла. Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение генетических маркеров (полиморфизмов генов казеина), ассоциированных с сыропригодностью молока исследуемых пород.

Вклад авторов

М. И. Сложенкина: разработка концепции, формальный анализ.

И. Ф. Горлов: научное руководство, разработка методологии.

Н. И. Мосолова: концептуализация, методология, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование.

Т. А. Антипова: проведение исследования, валидация результатов.

О. В. Кудряшова: проведение исследования, формальный анализ, визуализация.

Е. А. Мосолова: написание черновика рукописи.

О. В. Сычева: рецензирование и редактирование рукописи.

Contributions

M. I. Slozhenkina: concept development, formal analysis.

I. F. Gorlov: scientific supervision, methodology development.

N. I. Mosolova: conceptualization, methodology, resources, manuscript creation, and editing.

T. A. Antipova: research implementation, validation of results.

O. V. Kudryashova: research implementation, formal analysis, visualization.

E. A. Mosolova: draft manuscript writing.

O. V. Sycheva: reviewing and editing the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Яркова Т.М. Состояние и проблемы развития молочного скотоводства в России. *Продовольственная политика и безопасность*. 2024;11(1):119-134.
Yarkova T.M. The state and problems of dairy farming development in Russia. *Food Policy and Security*. 2024;11(1):119-134. (In Russ.)
2. Косилов В.И., Комарова Н.К., Харламов А.В., Тюлебаев С.Д., Миронова И.В., Быкова О.А. Влияние скрещивания красного степного и чёрно-пёстрого скота с симменталами на мясные качества помесей. *Известия Оренбургского государственного университета*. 2019;6(80):271-273.
Kosilov V.I., Komarova N.K., Kharlamov A.V., Tyulebaev S.D., Mironova I.V., Bykova O.A. Influence of crossing red steppe and black-and-white cattle with simmentals on the meat qualities of crossbreds. *Izvestiya of the Orenburg State University*. 2019;6(80):271-273. (In Russ.)
3. Soloshenko V.A., Mager S.N. Prospects for livestock farming in Siberia and Far East of Russia. *Foods and Raw Materials*. 2026;14(2):339-343. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2026-2-677>
4. Федоров В.Х., Колосов Ю.А., Абонеев В.В., Панфилова Г.И., Абонеева Е.В., Тищенко Н.Н. *Продуктивность и конкурентоспособность красной степной породы: методы и результаты совершенствования* / под общ. ред. Ю.А. Колосова. Пос. Персиановский : Донской ГАУ; 2024. 189 с.
Fedorov V.Kh., Kolosov Yu.A., Aboneev V.V., Panfilova G.I., Aboneeva E.V., Tishchenko N.N. *Productivity and competitiveness of the red steppe breed: methods and results of improvement*. Ed. by Yu.A. Kolosov. Persianovsky : Don State Agrarian University; 2024. 189 p. (In Russ.)
5. Soloshenko V.A., Mager S.N. Quality management in animal farming. *Foods and Raw Materials*. 2024;12(2):420-421. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-618>
6. Дубровицкий А.Р. Взаимосвязь показателей молочной продуктивности с породностью крупного рогатого скота. *Научный журнал КубГАУ*. 2022;184(10):1-6.
Dubrovitsky A.R. Relationship of indicators of dairy productivity with breed of cattle. *KubGAU Scientific Journal*. 2022;184(10):1-6. (In Russ.)
7. Родина Н.Д., Симоненкова А.П., Демина Е.Н., Сергеева Е.Ю. Взаимосвязь между технологическими характеристиками различных пород коров и качеством молока-сырья. *Ползуновский вестник*. 2022;1:47-54.

- Rodina N.D., Simonenkova A.P., Demina E.N., Sergeeva E.Yu. The relationship between the technological characteristics of various breeds of cows and the quality of raw milk. *Polzunovskiy Bulletin*. 2022;1:47-54. (In Russ.)
8. Горелик О.В., Федосеева Н.А., Горелик А.С., Кокшаров Е.В. Изменение показателей продуктивности голштинизированных черно-пестрых пород по лактациям. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2021;2(65):82-86.
Gorelik O.V., Fedoseeva N.A., Gorelik A.S., Koksharov E.V. Change in Productivity Indicators of Holsteinized Black-and-White Breeds by Lactation. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;2(65):82-86. (In Russ.)
 9. O'Callaghan T.F., Hennessy D. Factors affecting the coagulation, renneting, and cheese-making properties of milk from dairy cows: A review. *International Dairy Journal*. 2021;114:104876. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104876>
 10. Amalfitano N., Stocco G., Cipolat-Gotet C., Bittante G., Cecchinato A. Quantitative and qualitative detailed milk protein profiles of 6 cattle breeds: Sources of variation and contribution of protein genetic variants. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(12):11190-11208. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18497>
 11. Summer A., Malacarne M., Formaggioni P., Mariani P., Franceschi P. Effects of dairy cow breed on milk coagulation properties and suitability for Parmesan cheese production. *International Dairy Journal*. 2021;114:104912. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104912>
 12. Ketto E.S.K., Devold T.G., Heringstad B., Ådnøy T., Geitung L., Rønningen O., Skeie S.B. Milk protein polymorphism and coagulation properties of dairy cows: A study on Holstein, Brown Swiss, and Simmental breeds. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(4):3390-3401. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21345>
 13. Горелик О.В. Влияние уровня голштинизации на хозяйственно полезные признаки черно-пестрого скота. *ОшГУ Вестник*. 2021;1-2:241-250.
Gorelik O.V. Influence of the level of holsteinization on the economic and useful traits of black-and-white cattle. *OshSU Bulletin*. 2021;1-2:241-250. (In Russ.)
 14. Лавров А.А., Белококов А.А., Горелик О.В. Молочная продуктивность коров голштинизированных линий черно-пестрого скота. *Вестник биотехнологии*. 2020;2(23):5.
Lavrov A.A., Belookov A.A., Gorelik O.V. Dairy productivity of cows of holsteinized lines of black-and-white cattle. *Vestnik Biotechnologii*. 2020;2(23):5. (In Russ.)
 15. Абрамова Н.И., Иванова Д.А. Влияние породной принадлежности коров на качественные показатели молока. *Молочнохозяйственный вестник*. 2020;3:12-21.
Abramova N.I., Ivanova D.A. Influence of breed characteristics of cows on milk quality indicators. *Dairy Bulletin*. 2020;3:12-21. (In Russ.)
 16. Чеченихина О.С., Мустафина А.А. Современные специализированные породы и типы молочного скота. *Аграрное образование и наука*. 2023;1:7.
Chechenikhina O.S., Mustafina A.A. Modern specialized breeds and types of dairy cattle. *Agrarian Education and Science*. 2023;1:7. (In Russ.)
 17. Иванова Д.А. Сезонные изменения качественных показателей молока у коров айрширской породы в условиях Вологодской области. *Молочнохозяйственный вестник*. 2022;2(46):83-95.
Ivanova D.A. Seasonal changes in the quality of milk from ayrshire cows in the Vologda Region. *Dairy Bulletin*. 2022;2(46):83-95. (In Russ.)
 18. Martins L.F.L., Cardoso F.F., Braccini Neto J., Menezes L.M., Campos G.S. Productive performance and milk quality of Ayrshire, Holstein and crossbred cows under subtropical conditions. *Journal of Dairy Research*. 2023;90(1):41-46. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000015>
 19. Костомяхин Н.М., Воронкова О.А., Габедеева М.А. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность коров разной кровности по голштинской породе. *Вестник Курганской ГСХА*. 2021;3:43-50.
Kostomakhin N.M., Voronkova O.A., Gabedaeva M.A. Dairy productivity and reproductive capacity of cows of different bloodlines in the holstein breed. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2021;3:43-50. (In Russ.)

20. Вельматов А.П., Гибалкина Н.И., Тишкина Т.Н. Показатели продуктивности и аминокислотный состав молока дочерей быков различной селекции. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025;2(82):112-117.
Velmatov A.P., Gibalkina N.I., Tishkina T.N. Productivity indicators and amino acid composition of milk from daughters of bulls of different breeds. *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025;2(82):112-117. (In Russ.)
21. Калмыкова О.А., Прохоров И.П. Белковый и аминокислотный состав молока коров айрширской и черно-пестрой пород. *Главный зоотехник*. 2019;6:17-24.
Kalmykova O.A., Prokhorov I.P. Protein and amino acid composition of milk from ayrshire and black-and-white cows. *Chief Zootechnician*. 2019;6:17-24. (In Russ.)
22. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А., Кадралиева Б.Т. Аминокислотный состав белка молока коров-первотелок. *Вестник КрасГАУ*. 2022;11:151-157.
Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A., Kadralieva B.T. Amino acid composition of milk protein from first-calf cows. *Vestnik KrasGAU*. 2022;11:151-157. (In Russ.)
23. Шушпанова К.А., Татаркина Н.И. Продуктивность коров голштинской породы. *Вестник Курганской ГСХА*. 2020;2:44-47.
Shushpanova K.A., Tatarkina N.I. Productivity of holstein cows. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2020;2:44-47. (In Russ.)
24. Путинцева С.В., Сафронов С.Л. Сравнительный анализ молочной продуктивности коров первотелок голштинской породы разного происхождения. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2023;2(71):87-94.
Putintseva S.V., Safronov S.L. Comparative analysis of the milk productivity of first-calf holstein cows of different origins. *Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2023;2(71):87-94. (In Russ.)
25. Каширина Л.Г., Морозова Н.И. Состав молока коров и сливочного масла, изготовленного из него под влиянием антиоксидантов. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2019;4(44):25-29. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2019.87.95.004>
Kashirina L.G., Morozova N.I. Composition of cow's milk and butter made from it under the influence of antioxidants. *Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University*. 2019;4(44):25-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.36508/RSATU.2019.87.95.004>
26. Востроилов А.В., Артемов Е.С., Курчаева Е.Е. и др. Молочная продуктивность, химический состав и технологические свойства молока коров красно-пестрой породы. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2021;1(16):71-77.
Vostroilov A.V., Artemov E.S., Kurchaeva E.E. et al. Dairy productivity, chemical composition, and technological properties of milk from red-and-white cows. *Technologies and Commodity Science of Agricultural Products*. 2021;1(16):71-77. (In Russ.)
27. Коник Н.В., Калиниченко Э.Б., Каиров В.Р. и др. Эффективность производственного использования коров молочных пород. *Аграрный вестник Урала*. 2025;25(1):52-60.
Konik N.V., Kalinichenko E.B., Kairova V.R. et al. The efficiency of the production use of dairy cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025;25(1):52-60. (In Russ.)
28. Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Артемов Е.С. и др. Качество молока красно-пестрой породы и перспективы его использования в производстве мягких сыров комбинированного состава. *Вестник ВГУИТ*. 2021;83(4):117-125.
Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Artemov E.S. et al. Milk quality of the red-and-white breed and prospects for its use in the production of soft cheeses with a combined composition. *Vestnik VGUIT*. 2021;83(4):117-125. (In Russ.)
29. Панасенко С.В. и др. Устойчивая сырьевая база как фактор конкурентоспособности предприятий сыроделия. *Техника и технология пищевых производств*. 2022;52(4):706-717. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400>
Panasenko S.V. et al. Sustainable raw material base as a factor of competitiveness of cheese-making enterprises. *Technique and Technology of Food Production*. 2022;52(4):706-717. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400>
30. Зубкова А.А. Пищевая ценность сыра. *Актуальные исследования*. 2023;5(135):36-38.
Zubkova A.A. Nutritional Value of Cheese. *Current Research*. 2023;5(135):36-38. (In Russ.)

Сведения об авторах

Сложенкина Марина Ивановна –

доктор биологических наук, профессор, член корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; профессор кафедры «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

SPIN-код: 8828-3741

niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович –

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; заведующий кафедры «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

SPIN-код: 8249-9437

niimmp@mail.ru

Мосолова Наталья Ивановна –

доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>

SPIN-код: 2075-1174

niimmp@mail.ru

Антипова Татьяна Алексеевна –

доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>

SPIN-код: 7723-6008

niimmp@mail.ru

Кудряшова Ольга Владимировна –

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>

SPIN-код: 9417-2660

kudryashova-niimmp@mail.ru

About the authors

Marina I. Slozhenkina –

Dr. Sci. (Biol.), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia; Prof., Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

niimmp@mail.ru

Ivan F. Gorlov –

Dr. Sci. (Agric.), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia; Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

niimmp@mail.ru

Natalya I. Mosolova –

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>

niimmp@mail.ru

Tatyana A. Antipova –

Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>

niimmp@mail.ru

Olga V. Kudryashova –

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>

kudryashova-niimmp@mail.ru

Мосолова Елизавета Александровна –

студентка, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия; лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград Россия

<https://orcid.org/0009-0003-3898-4439>

elizavetamosolova37@gmail.com

Сычева Ольга Владимировна –

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-8885-7508>

SPIN-код: 2449-6135

olga-sycheva@mail.ru

Elizaveta A. Mosolova –

student, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia; Laboratory assistant – researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

<https://orcid.org/0009-0003-3898-4439>

elizavetamosolova37@gmail.com

Olga V. Sycheva –

Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-8885-7508>

olga-sycheva@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81>

Макроскопические и сонографические корреляции в оценке регенерации ожогового повреждения кожи морских свинок под действием секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ангелина Алексеевна Усачева
E-mail: kazakovaangeli@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Усачева А.А., Борхунова Е.Н., Кузнецова М.А., Довгий А.И. Макроскопические и сонографические корреляции в оценке регенерации ожогового повреждения кожи морских свинок под действием секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):69-81. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81> EDN ATLCXC

ПОСТУПИЛА: 25.11.2025

ДОРАБОТАНА: 24.02.2026

ПРИНЯТА: 24.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Усачева А.А., Борхунова Е.Н., Кузнецова М.А., Довгий А.И.



А.А. Усачева ¹ , Е.Н. Борхунова ¹ , М.А. Кузнецова ¹ , А.И. Довгий ²

¹ Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

² ООО «Т-Хелпер КТ», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Термические ожоги кожи у сельскохозяйственных животных являются частой травмой, приводящей к выбраковке животных, снижению продуктивности и значительному экономическому ущербу. Существующие методы лечения в ветеринарной практике часто недостаточно эффективны из-за медленного очищения ран, инфицирования и грубого рубцевания. Стимуляция репарации для улучшения результатов лечения возможна с помощью препаратов-регенерантов, в частности, секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК), который содержит комплекс цитокинов про- и противовоспалительного действия.

ЦЕЛЬ. Оценить влияние секрета ММСК на репарацию кожи животных после термического ожога III степени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование проведено на 60 морских свинках, которым на коже бедра моделировали термический ожог III степени и распределяли на контрольную (физиологический раствор, $n = 20$), опытную (секретом ММСК, $n = 20$) группы и группу сравнения (мазь на основе декспантенола, $n = 20$). Исследования проводили на 7-е, 30-е и 60-е сутки, используя комплексный методический подход, включающий клинический осмотр, ультрасонографические и гистологические исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Доказано, что секретом ММСК на ранних стадиях (7-е сутки) стимулирует макрофагальную резорбцию детрита, а также неоангиогенез, формирование грануляционной ткани и эпителизацию. К 30-м суткам эксперимента в опытной группе выявили более раннее, по сравнению с другими группами, созревание фиброзной ткани и появление признаков органотипии в периферических частях регенерата. На 60-е сутки рубцовые изменения кожи были минимальны по сравнению с контролем и группой сравнения, при этом центральная, меньшая по площади, часть регенерата была представлена нормотрофическим рубцом с признаками ремоделирования, а периферическая имела органотипическое строение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Применение секрета ММСК стимулирует репаративную регенерацию кожи после термического ожога за счет быстрой резорбции детрита, активизации роста грануляций, созревания и ремоделирования рубцовой ткани с выраженной тенденцией к формированию органотипического регенерата. Полученные данные обосновывают целесообразность дальнейших исследований на сельскохозяйственных животных и разработку ветеринарных препаратов на основе секрета.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кожа, УЗИ, секретом ММСК, термические ожоги кожи животных, регенерация

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81>

Macroscopic and sonographic correlations in the assessment of burn injury regeneration in guinea pig skin under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells

CORRESPONDENCE:

Angelina A. Usacheva

E-mail: kazakovaangeli@gmail.com

FOR CITATION:

Usacheva A.A., Borkhunova E.N., Kuznetsova M.A., Dovgii A.I. Macroscopic and sonographic correlations in the assessment of burn injury regeneration in guinea pig skin under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*.

2026;16(1):69-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81>

RECEIVED: 25.11.2025

REVISED: 24.02.2026

ACCEPTED: 24.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Usacheva A.A., Borkhunova E.N., Kuznetsova M.A., Dovgii A.I.



Angelina A. Usacheva ¹ , Elena N. Borkhunova ¹ ,
Maria A. Kuznetsova ¹ , Andrei I. Dovgii ²

¹ Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

² T-Helper Cell Technologies, LLC, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Thermal skin burns in farm animals represent a common traumatic injury, leading to culling, reduced productivity, and significant economic losses. Existing treatment modalities in veterinary practice are often insufficiently effective due to delayed wound debridement, infection, and extensive scarring. Stimulation of repair to improve treatment outcomes is achievable through the use of regenerative agents, particularly the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells (MMSCs), which contains a complex of cytokines with both pro- and anti-inflammatory activity.

AIM. To evaluate the effect of the MMSC secretome on skin repair following a third-degree thermal burn.

MATERIALS AND METHODS. The study was conducted on 60 guinea pigs. A third-degree thermal burn was simulated on the femoral skin, after which the animals were divided into a control group (saline solution, $n = 20$), an experimental group (MMSC secretome, $n = 20$), and a comparison group (dexpanthenol-based ointment, $n = 20$). Examinations were performed on days 7, 30, and 60, employing a comprehensive methodological approach that included clinical observation, ultrasonographic, and histological studies.

RESULTS. The study demonstrates that the MMSC secretome stimulates macrophage-mediated resorption of detritus, as well as neoangiogenesis, granulation tissue formation, and epithelialization at the early stage (day 7). By day 30, the experimental group exhibited earlier maturation of fibrous tissue and the appearance of signs of organotypic structure in the peripheral parts of the regenerate, compared to the other groups. On day 60, scar changes in the skin were minimal compared to the control and comparison groups. At this stage, the smaller central area of the regenerate was represented by a normotrophic scar with signs of remodeling, while the peripheral area exhibited an organotypic structure.

CONCLUSION. The application of the MMSC secretome stimulates reparative regeneration of skin after a thermal burn by promoting rapid detritus resorption, enhancing granulation tissue growth, and facilitating the maturation and remodeling of scar tissue, with a pronounced tendency towards the formation of an organotypic regenerate. The obtained data substantiate the feasibility of further studies in farm animals and the development of veterinary drugs based on the secretome.

KEYWORDS: skin, ultrasound, MMSC secretome, thermal skin burns in animals, regeneration

ВВЕДЕНИЕ

Термические поражения кожи являются одной из распространенных травм у сельскохозяйственных животных. В условиях животноводческих комплексов и частных хозяйств ожоги возникают при пожарах, контакте с нагретыми поверхностями оборудования, воздействии горячих жидкостей, пара или открытого пламени [1]. У крупного рогатого скота, свиней и лошадей такие повреждения нередко приводят к длительной потере продуктивности, выбраковке ценных особей, а также к затратам на лечение и уход [2; 3]. Сложность лечения ожогов у животных и высокий риск осложнений во многом определяются патофизиологическими процессами, развивающимися в зоне термического поражения.

Термическое поражение кожи характеризуется глубокой деструкцией тканей и выраженными нарушениями микроциркуляции, приводящими к формированию обширного некротического очага, окруженного зоной некробиоза [4; 5]. Глубокие деструктивные изменения осложняют ферментативное очищение очага повреждения, снижая его эффективность, а также значительно ухудшают перфузию перифокальных тканей, создавая неблагоприятные условия для регенерации и обуславливая пролонгированное течение восстановительных процессов. Актуальность разработки новых терапевтических подходов для лечения пациентов с термическими ожогами определяется высокой частотой осложнений, которые наблюдаются при заживлении послеожоговой поверхности, к которым относятся инфицирование, замедленное формирование грануляций, грубые рубцовые на постдеструктивной поверхности изменения [4–6]. Существующие в ветеринарной практике подходы к лечению термических поражений характеризуются недостаточной разработанностью лечебной тактики и требуют дальнейшего совершенствования, что обуславливает актуальность исследований в данной области [7].

Одним из эффективных средств для лечения пациентов с ожогами кожи является регенеративный препарат – секретом мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК). Он представляет собой кондиционную среду, которая содержит комплекс биологически активных веществ, в частности, цитокины (IL-6, IL-10, IP-10, GRO/KC, TGF- β , IFN- γ , MCP-1, VEGF), липиды и внеклеточные везикулы [8–10]. Комбинированное воздействие ком-

понентов секрета способствует избирательному воздействию на ключевые стадии репаративного процесса и оказывает активирующее действие на хемотаксис макрофагов и нейтрофилов, ферментативный лизис детрита, неоваскулогенез и своевременный регресс гемокapилляров при формировании и созревании регенерата, пролиферацию и апоптоз фибробластов, синтез компонентов внеклеточного матрикса [8–10]. На наш взгляд, перечисленные эффекты препарата могут нивелировать негативные репаративные тенденции в ожоговой ране и способствовать улучшению заживления.

Важным преимуществом секрета ММСК по сравнению, например, с клеточными суспензиями, является биологическая безопасность, связанная с универсальностью регуляторных молекул, отсутствие риска иммунного отторжения и онкогенной трансформации, а также возможность стандартизации состава препарата [11–13]. Однако до сих пор изучение влияния секрета ММСК на репарацию кожи после ожогов не проводилось. Вместе с тем изучение этого вопроса с применением морфологического контроля процесса имеет важное научное и практическое значение как для углубленного изучения механизмов действия секрета, так и для оптимизации его применения в клинической практике [11–13].

В этой связи нами проведено экспериментальное исследование, направленное на выявление особенностей течения репарации кожи после термического ожога на основании макроскопического и микроскопического исследования. Учитывая, что в клинической практике для оценки динамики репарации кожи нередко прибегают к ультразвуковому исследованию (УЗИ), которое позволяет точно определять толщину кожи и рубцовой ткани [14–16] и оценить качество рубца и эффективность проводимой терапии [17–19], мы сочли целесообразным дополнить морфологические данные результатами ультразвукового исследования кожи в области репарации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследование выполнено на базе кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина. Объектом исследования

послужили 60 гладкошерстных морских свинок-самок в возрасте 6 месяцев. Выбор морских свинок в качестве экспериментальной модели обусловлен возможностью детального морфологического анализа и последующей экстраполяцией результатов на сельскохозяйственных животных, учитывая общие закономерности репарации кожи у млекопитающих.

Секретом ММСК в инъекционной форме (ООО «Т-Хелпер КТ», Москва) представляет собой зарегистрированный в Российской Федерации регенеративный препарат на основе стандартизированного комплекса цитокинов, продуцируемого запатентованной линией мезенхимальных стволовых клеток. В состав секрета входят цитокины, экзосомы, липиды и внеклеточные везикулы. Цитокиновый комплекс обеспечивает хемотаксис (TGF- β , IP-10, IL-6, IFN- γ , MCP-1, GRO/KC), регуляцию воспаления (IL-6, IP-10, IL-10, GRO/KC, TGF- β), ангиогенез (VEGF, GRO/KC, TGF- β) и стимулирует регенерацию (IL-6, VEGF, TGF- β) [20].

Методы исследования

Экспериментальное моделирование ожога кожи III степени осуществляли после седации 1 %-ным раствором Медитина путем аппликации стального цилиндра, нагретого на водяной бане до 100 °С при экспозиции 20 секунд [21].

Мониторинг репаративного процесса включал макроскопические, планиметрические, ультразвуковые и гистологические исследования на 7-е, 30-е и 60-е сутки эксперимента.

Макроскопические исследования проводили путем осмотра и пальпации постдеструктивной поверхности и описания имеющихся изменений.

Планиметрические исследования площади области репарации проводили по методу Л. Н. Поповой.

Ультразвуковую визуализацию кожи в области репарации выполняли в условиях Лечебно-диагностического ветеринарного центра Московской ветеринарной академии на аппарате Samsung HS 50 с последующей дескриптивной оценкой полученных сканограмм.

Биопсийный материал отбирали в стерильных условиях после седации животных 1 %-ным раствором Медитина (0,1 мл на 1 кг массы животного), удаления волосяного покрова и обработки операционного поля антисептическим раствором Септо-спрей. Фрагмент кожи из области репарации

с захватом интактных тканей иссекали до гиподермы, используя лезвие № 21, после чего края раны ушивали узловатым швом. Образцы фиксировали в 10 %-ном формалине. Для гистологического исследования фрагменты толщиной 0,5–1 см обезжизняли в спиртах восходящих концентраций, заливали в парафин и изготавливали срезы толщиной 3 мкм на ротационных микротоме. Препараты окрашивали гематоксилином и эозином и изучали с использованием микроскопа Micro Screen с программным обеспечением для цифрового анализа изображения.

Процедура исследования

Перед экспериментом животных подразделяли на три группы: контрольную, опытную и группу сравнения. После моделирования ожога у животных разных групп обработку послеожоговой поверхности проводили неодинаково. Всем животным моделировали ожоговое поражение по идентичной методике. Через 30 минут после термического воздействия визуально определяли зону некроза и прилежащую к ней зону нарушения кровообращения и проводили обработку.

В опытной группе инъецировали секретом ММСК в дозе 0,2 мл; препарат вводили подкожно в область нарушения кровообращения в четырех точках. Повторное введение препарата проводили через 7 суток в соответствии с рекомендацией производителя. В контрольной группе таким же образом вводили физиологический раствор для исключения местной реакции на процедуру инъекции. В группе сравнения использовали один из традиционных подходов к лечению ожоговых повреждений – мазь на основе декспантенола, которую наносили на область деструкции ежедневно в течение 7 суток согласно инструкции по применению.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты макроскопического исследования

Через 7 суток воздействия в контрольной группе (рисунок 1 А) и группе сравнения (рисунок 1 В) постдеструктивная поверхность отличалась дефицитом ткани из-за активного лизиса некротических тканей, который происходил под плотным струпом и сопровождался экссудацией; признаки краевой эпителизации были выражены слабо. В то же время в опытной группе (рисунок 1 Б), напротив, наблюдали активную краевую эпите-

лизацию, а также рост грануляционной ткани под тонким струпом, в связи с чем дефицит тканей в области репарации отсутствовал. Площадь постдеструктивной поверхности в контрольной группе составляла $2,65 \pm 0,19$, в группе сравнения – $3,24 \pm 0,26$, в опытной группе – $3,03 \pm 0,24$ см².

К 30-м суткам в контрольной группе (рисунок 2 А) и группе сравнения (рисунок 2 В) сохранялся дефицит тканей, на постдеструктивной поверхности определялся плотный струп, а перифокально сохранялись признаки гиперемии и отека. В опытной группе (рисунок 2 Б) в этот срок наблюдали нормотрофический рубец, уровень поверхности которого соответствовал уровню поверхности окружающей кожи. Его центральная часть имеет багровый цвет, что соответствует морфологической незрелости рубцовой ткани. Периферическая часть характеризуется белесым цветом, что указывает на морфологическую зрелость рубца. При этом максимальная площадь области репарации зафиксирована в кон-

трольной группе ($0,96 \pm 0,15$ см²), минимальная – в опытной ($0,34 \pm 0,06$ см²), средние значения установлены в группе сравнения ($0,67 \pm 0,08$ см²).

На 60-е сутки в контрольной группе (рисунок 3 А) отмечали рубец, большая часть которого имела красноватую окраску, а в группе сравнения (рисунок 3 В) обширная центральная часть регенерата имела темно-бордовый цвет и флюктуировала при пальпации. Все это указывает на морфологическую незрелость регенерата. В опытной группе (рисунок 3 Б) центральная, меньшая по размеру, часть регенерата была представлена рубцом белесого цвета, а периферическая не отличалась от окружающей интактной кожи. Планиметрические исследования показали, что площадь рубцовых изменений кожи была максимальной в контрольной группе ($0,6 \pm 0,3$ см²), минимальной – в опытной группе ($0,25 \pm 0,14$ см²) и имела средние значения в группе сравнения ($0,45 \pm 0,2$ см²). Все это указывает на более активное течение процессов созревания и ремоделирования регенерата в опытной группе.

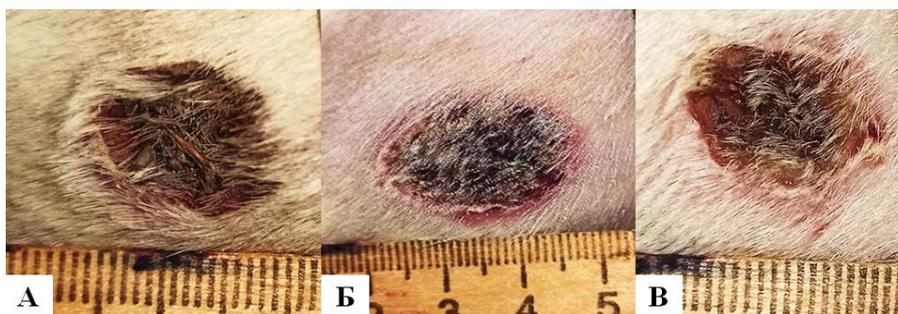


Рисунок 1

Состояние послеожоговой поверхности кожи в области бедра у морской свинки через 7 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 1

Post-burn skin surface condition in the guinea pig thigh region on day 7 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **V** – comparison group



Рисунок 2

Состояние послеожоговой поверхности кожи в области бедра у морской свинки на 30-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 2

Post-burn skin surface condition in the guinea pig thigh region on day 30 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **V** – comparison group

Результаты гистологического исследования

Через 7 суток после нанесения ожога в контроле (рисунок 4 А) и группе сравнения (рисунок 4 В) под струпом выявлен слой некротически измененной кожи с воспалительной инфильтрацией и слабо выраженными признаками макрофагальной резорбции детрита. Глубже наблюдали тонкий и при этом неравномерный по толщине пласт грануляционной ткани. В опытной группе (рисунок 4 Б) под тонким струпом обнаруживали признаки ак-

тивной макрофагальной резорбции детрита с участием гигантских многоядерных клеток инородных тел, что, несомненно, и обуславливает раннее очищение очага деструкции от некротических масс. При этом грануляции формировали более мощный пласт, чем в других группах, и располагались непосредственно под струпом, отделяясь от него тонкой зоной демаркации. Признаки краевой эпителизации были отчетливо выражены, а эпителиальный пласт плотно соединялся с подлежащими грануляциями.

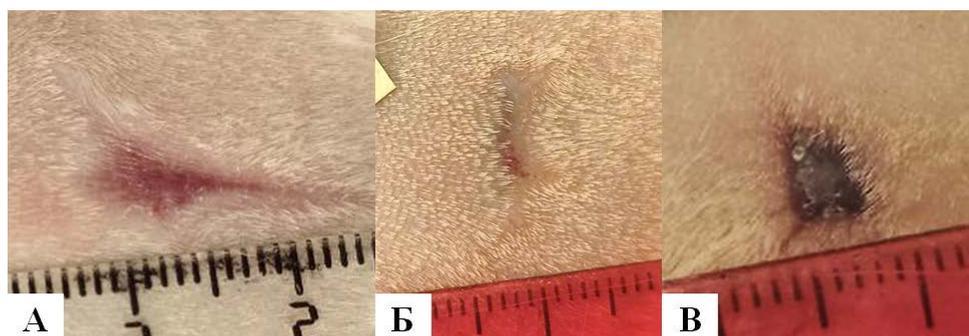


Рисунок 3

Состояние послеожоговой поверхности кожи в области бедра у морской свинки на 60-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 3

Post-burn skin surface condition in the guinea pig thigh region on day 60 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **C** – comparison group

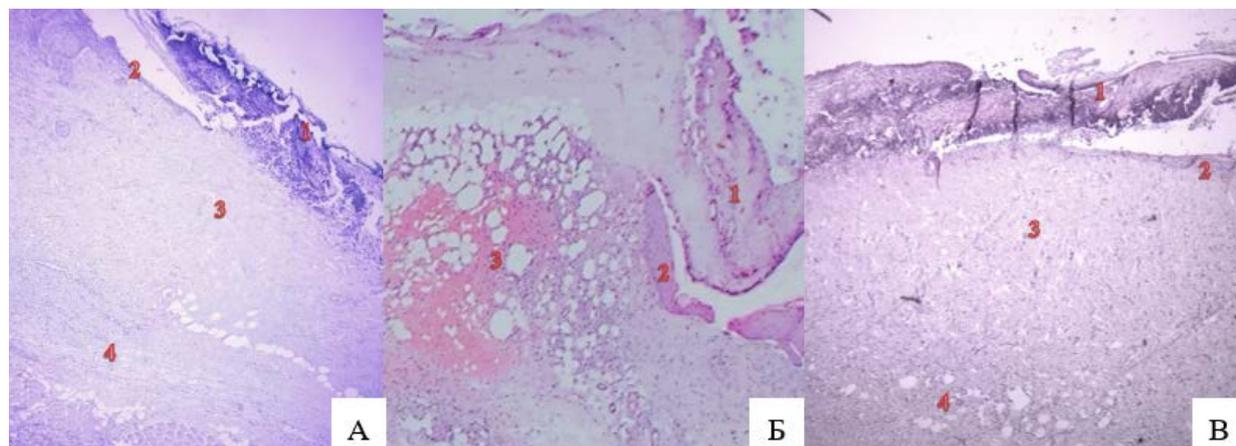


Рисунок 4

Строение регенерата кожи через 7 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – некротически измененная кожа; 4 – грануляционная ткань. **Б** – опытная группа, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – грануляционная ткань. **В** – группа сравнения, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – некротически измененная кожа; 4 – грануляционная ткань. Гематоксилин и эозин, $\times 40$

Figure 4

Structure of the skin regenerate on day 7 after burn infliction: **A** – Control group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – necrotic skin; 4 – granulation tissue. **B** – Experimental group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – granulation tissue. **C** – Comparison group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – necrotic skin; 4 – granulation tissue. Hematoxylin and eosin, $\times 40$

На 30-е сутки в контроле (рисунок 5 А) и группе сравнения (рисунок 5 В) в структуре регенерата определяли центральную часть, покрытую струпом и содержащую созревающие грануляции, и рубцовую периферическую часть. В опытной группе в области воздействия визуализировали зрелый рубец (рисунок 5 Б).

На 60-е сутки в контрольной группе (рисунок 6 А) определяли область рубцовых изменений кожи, где в эпидермисе регистрировали умеренный акантоз, в центральной части регенерата определяли

созревающую рубцовую ткань. В группе сравнения (рисунок 6 В) регенерат эпителизирован, в его периферической части видны многочисленные волосяные фолликулы и сальные железы. При этом соединительнотканная часть регенерата состояла из зрелых грануляций, а в глубоких слоях – из фиброзной ткани, что указывает на замедленное ремоделирование структуры регенерата. В опытной группе (рисунок 6 Б) большая часть регенерата, распложенная на периферии области репарации, имела строение, близкое к органотипическому.

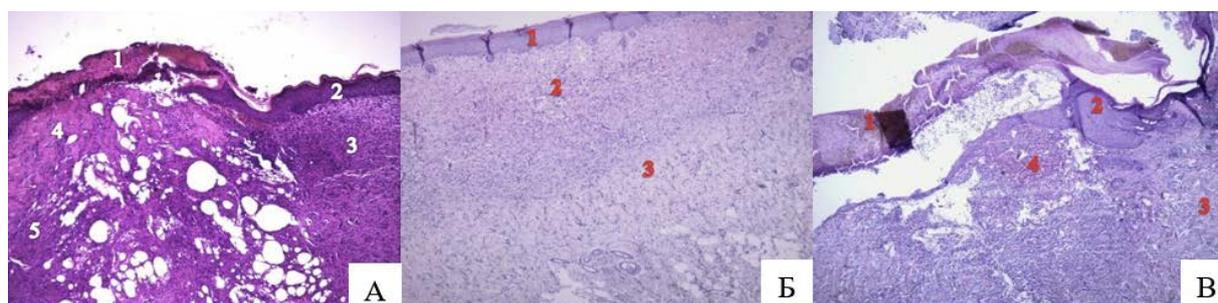


Рисунок 5

Строение регенерата кожи через 30 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – фиброзная ткань; 4 – очаги некроза; 5 – грануляционная ткань. **Б** – опытная группа, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – зрелая грануляционная ткань; 3 – фиброзная ткань. **В** – группа сравнения, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – фиброзная ткань; 4 – грануляционная ткань. Гематоксилин и эозин, $\times 40$

Figure 5

Structure of the skin regenerate on day 30 after burn infliction: **A** – Control group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – fibrous tissue; 4 – necrotic foci; 5 – granulation tissue. **Б** – Experimental group, general view: 1 – epidermis; 2 – mature granulation tissue; 3 – fibrous tissue. **В** – Comparison group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – fibrous tissue; 4 – granulation tissue. Hematoxylin and eosin, $\times 40$

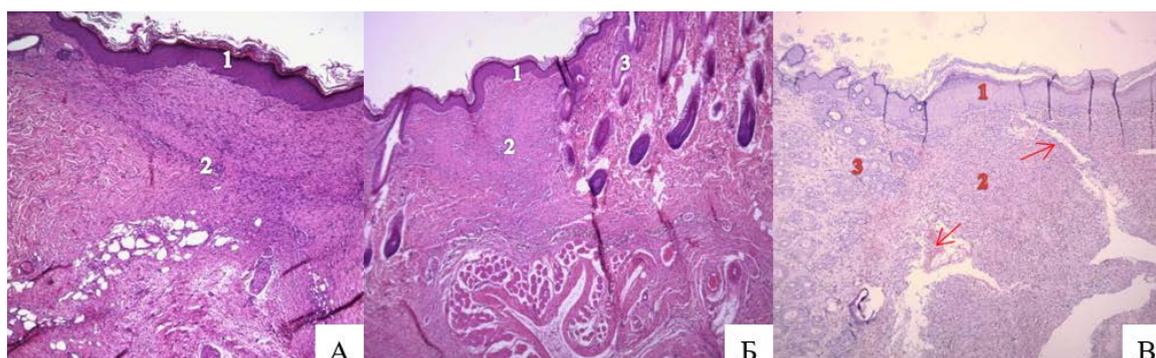


Рисунок 6

Строение регенерата кожи через 60 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – фиброзная ткань. **Б** – опытная группа, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – фиброзная ткань; 3 – регенерат органотипического строения. **В** – группа сравнения, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – созревающая грануляционная ткань; 3 – фиброзная ткань в периферической части регенерата

Figure 6

Structure of the skin regenerate on day 60 after burn infliction: **A** – Control group, general view: 1 – epidermis, 2 – fibrous tissue. **Б** – Experimental group, general view: 1 – epidermis; 2 – fibrous tissue; 3 – regenerate with organotypic structure. **В** – Comparison group, general view: 1 – epidermis; 2 – maturing granulation tissue; 3 – fibrous tissue in the peripheral part of the regenerate

Центральная часть имела рубцовое строение и занимала небольшую площадь, в ее структуре определяли эпидермис со сглаженным сосочковым рисунком, а также соединительнотканную часть, представленную фиброзной тканью с тонкими, хорошо структурированными, рыхло расположенными, разнонаправленными пучками коллагеновых волокон. Во всех группах в соединительнотканной части регенерата наблюдается макрофагальная инфильтрация, что указывает на продолжающееся remodelирование его структуры.

Результаты ультразвукового исследования

При проведении ультразвукового исследования во всех экспериментальных группах регистрировалась характерная эхоструктура кожных покровов, представленная двухслойным гиперэхогенным эпидермисом, отделенным субэпидермальной ги-

поэхогенной полосой от подлежащих тканей. В дермальном слое визуализировались экзогенные структуры и гиперэхогенные фиброзные перегородки гиподермы.

Через 7 суток при ультразвуковом исследовании (рисунок 7) в контрольной группе в дерме определяли гипоэхогенный очаг размером 1,49×0,37 см с центральным гиперэхогенным включением; в опытной группе размер гипоэхогенной зоны составлял 1,92×0,41 см, превышая контрольные значения и размер гипоэхогенной зоны в группе сравнения (1,78×0,36 см). Гипоэхогенная зона соответствовала грануляционной ткани.

На 30-е сутки у всех животных визуализировали гипоэхогенную зону, размер которой составлял в контрольной группе 1,5×0,38, в опытной – 1,58×0,27, а в группе сравнения – 0,94×0,17 см (рисунок 8).

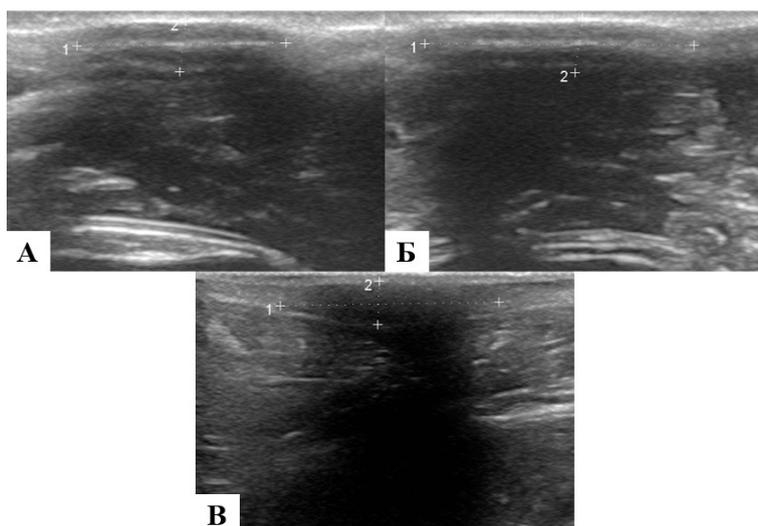


Рисунок 7

Ультразвуковая картина кожи морских свинок на 7-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 7

Ultrasonographic appearance of guinea pig skin on day 7 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **B** – comparison group

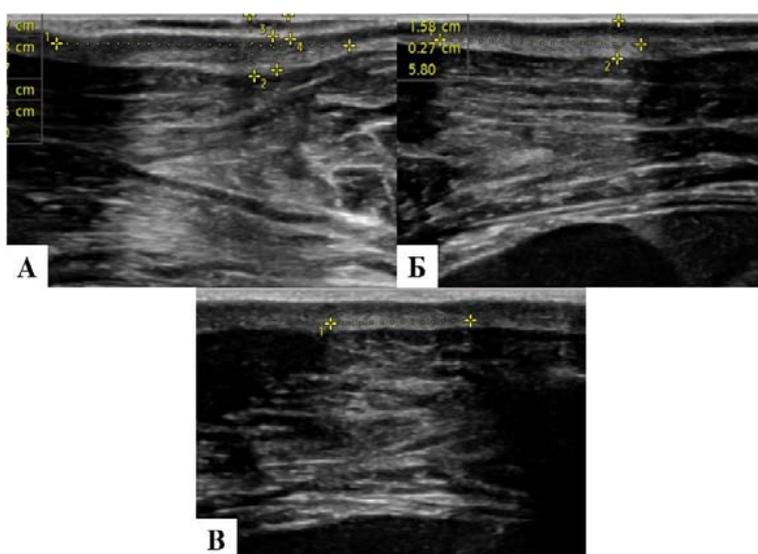


Рисунок 8

Ультразвуковая картина кожи морских свинок на 30-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 8

Ultrasonographic appearance of guinea pig skin on day 30 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **B** – comparison group

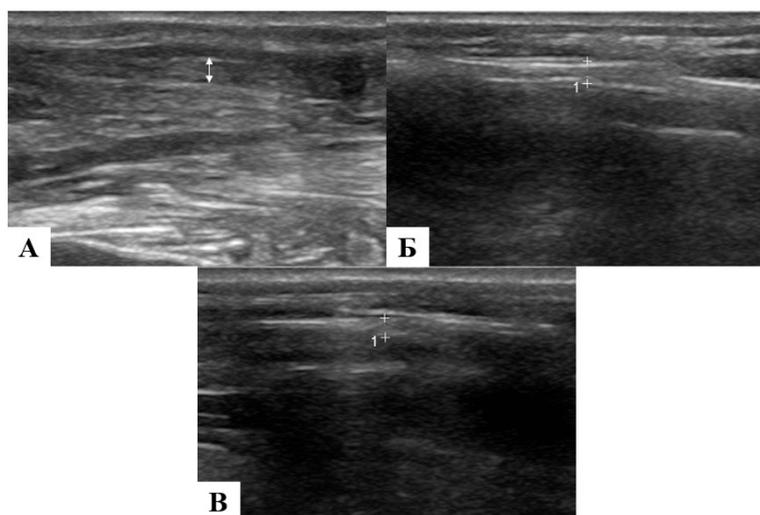


Рисунок 9

Ультразвуковая картина кожи морских свинок на 60-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 9

Ultrasonographic appearance of guinea pig skin on day 60 after burn infliction: **A** – control group; **Б** – experimental group; **В** – comparison group

На 60-е сутки в контрольной группе определяли гипэхогенный участок толщиной 0,3 см, тогда как в опытной и группе сравнения визуализировали гиперэхогенные зоны толщиной 0,29 см и 0,24 см соответственно (рисунок 9).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенного исследования подтверждают предположение о том, что глубокие деструктивные изменения тканей при термическом ожоге, сопровождающиеся нарушениями микроциркуляции и замедлением ферментативного очищения раневого дефекта, создают неблагоприятные условия для репаративного гистогенеза и обуславливают необходимость поиска эффективных методов лечения [4–6]. Использованный нами регенеративный препарат – секретом ММСК продемонстрировал высокую терапевтическую эффективность в отношении репарации ожоговых повреждений, что согласуется с современными представлениями о его полимодальном действии на ключевые стадии регенераторного процесса [8–10].

Установлено, что применение секрета сопровождалось стимуляцией макрофагальной реакции, что приводило не только к более раннему, по сравнению с контролем и группой сравнения, очищению области повреждения от некротических масс, но и к активизации развития грануляционной ткани и эпителизации, что объясняется наличием в составе секрета цитокинов, стимулирующих эти процессы, в частности VEGF, TGF- β , IL-6. Полученные данные совпадают с результатами работ [11–13], в которых показано, что секретом модулирует

хемотаксис, секреторную и фагоцитарную активность макрофагов.

Выявленные к 30-м суткам межгрупповые различия в площадях ожоговых дефектов (минимальные значения в опытной группе – $0,34 \pm 0,06$ см² против $0,96 \pm 0,15$ см² в контроле и $0,67 \pm 0,08$ см² в группе сравнения), а также формирование нормотрофического рубца указывают на оптимизацию процессов созревания и ремоделирования рубцовой ткани под влиянием секрета. Данный эффект, вероятно, обусловлен сбалансированным соотношением провоспалительных и противовоспалительных цитокинов (IL-6, IL-10, TGF- β), регулирующих своевременный апоптоз фибробластов и регресс новообразованных капилляров в зоне заживления [8].

К 60-м суткам в опытной группе зафиксирована минимальная площадь рубцовых изменений ($0,25 \pm 0,14$ см²) и формирование регенерата, большая часть которого имела органотипическое строение, что свидетельствует о высокой эффективности процесса ремоделирования рубца. В контрольной группе и группе сравнения сохранялись признаки морфологической незрелости регенерата (багровая окраска, мягкая консистенция, замедленное ремоделирование соединительнотканной части), что подтверждает пролонгированное течение восстановительных процессов.

Данные ультразвукового мониторинга объективизируют выявленные макроскопические и гистологические различия. Формирование на 60-е сутки в опытной группе гиперэхогенной зоны толщиной 0,29 см (против гипэхогенного участка в контроле толщиной 0,3 см) отражает завершение процессов ремоделирования и формирование зрелой рубцо-

вой ткани, что соответствует данным литературы о динамике экзогенности в ходе репарации [17–19]. Более выраженная гипозоногенная зона в опытной группе на 7-е сутки (1,92×0,41 см), соответствующая активно формирующейся грануляционной ткани, подтверждает стимулирующее действие секрета на неоваскулогенез и пролиферацию фибробластов.

Выявленные в ходе исследования эффекты секрета ММСК – ускорение очищения очага термического поражения кожи, стимуляция формирования и созревания грануляций и ремоделирования рубцовой ткани – согласуются с известными данными о механизмах действия данного препарата и его преимуществах перед клеточной терапией (отсутствие риска иммунного отторжения и онкогенной трансформации, возможность стандартизации) [12; 13]. Комплексный характер регенераторного действия секрета, подтвержденный результатами макроскопического, гистологического и ультразвукового исследований, соответствует современным представлениям о перспективных направлениях коррекции патогенеза термических поражений кожи средствами регенеративной медицины [4–6].

Основным ограничением настоящей работы является ее лабораторный характер, выполненный в условиях эксперимента на мелких лабораторных животных, что требует осторожной экстраполяции полученных результатов на сельскохозяйственных животных и с термическими поражениями кожных покровов. В будущих исследованиях необходимо оценить эффективность и безопасность примене-

ния секрета ММСК в условиях реального сельскохозяйственного производства с учетом видовых особенностей и возраста животных. Несмотря на это, проведенное исследование показывает, что секретом ММСК является эффективным средством, улучшающим течение репарации кожи после ожогового поражения, что обосновывает целесообразность его дальнейшего изучения и внедрения в ветеринарную практику для лечения сельскохозяйственных животных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Секретом мультиметных мезенхимальных стромальных клеток оказывает выраженное положительное действие на репарацию кожи после термического ожога. Полученные данные свидетельствуют о том, что он запускает каскад реакций, которые стимулируют макрофагальную активность, способствует ферментативному очищению постдеструктивной поверхности от детрита, стимулирует рост и созревание грануляций, а также созревание и ремоделирование рубцовой ткани. При этом обращают на себя внимание незначительные рубцовые изменения кожи и выраженная тенденция к органотипической регенерации. Данные, полученные на лабораторных животных, обосновывают целесообразность проведения дальнейших исследований с целью внедрения секрета ММСК в ветеринарную практику для лечения термических поражений у крупного рогатого скота, свиней и других видов сельскохозяйственных животных.

Вклад авторов

А. А. Усачева: проведение исследования, курирование данных, формальный анализ, написание черновика рукописи.

Е. Н. Борхунова: научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

М. А. Кузнецова: визуализация.

А. И. Довгий: предоставление ресурсов.

Contributions

A. A. Usacheva: investigation, data curation, formal analysis, writing-original draft.

E. N. Borkhunova: supervision, writing-review & editing.

M. A. Kuznetsova: visualization.

A. I. Dovgii: resources.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Chmielowiec-Korzeniowska A., Nowakowicz-Dębek B., Bis-Wencel H. et al. Safety of animals on livestock farms during a fire emergency. *Animal Science and Genetics*. 2025;21(1):1-9. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.0463>

2. Bolcato M., Rocarro M., Gentile A. et al. First report on medical treatment and outcome of burnt cattle. *Veterinary Sciences*. 2023;10(3):187. <https://doi.org/10.3390/vet-sci10030187>
3. Chigerwe M., Depenbrock S.M., Heller M.C. et al. Clinical management and outcomes for goats, sheep, and pigs hospitalized for treatment of burn injuries sustained in wildfires: 28 Cases (2006, 2015, and 2018). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2020;257(11):1165-1170. <https://doi.org/10.2460/javma.257.11.1165>
4. Зиновьев Е.В., Солошенко В.В., Костяков Д.В. и др. Прогноз результата кожной пластики по параметрам микроциркуляции в ожоговой ране. *Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н. В. Склифосовского*. 2022;11(3):412-418. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-3-412-418>
Zinoviev E.V., Soloshenko V.V., Kostyakov D.V. et al. Prediction of the outcome of skin grafting based on microcirculation parameters in a burn wound. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2022;11(3):412-418. (In Russ.) <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-3-412-418>
5. Shtykhno Y.M., Udovichenko V.I. Comparative study of intravital microcirculation and blood rheology in rats after burns of different degrees of severity. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 1979;88:984-986. <https://doi.org/10.1007/BF00799260>
6. Vizoso F.J., Eiro N., Cid S. et al. Mesenchymal stem cell secretome: Toward cell free therapeutic strategies in regenerative medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(9):1852. <https://doi.org/10.3390/ijms18091852>
7. Федорова А.О., Аистова Л.Г., Миллер Т.В. и др. Патоморфологическая характеристика ожоговой болезни у кроликов при неинвазивной электромагнитной терапии. *Вестник КрасГАУ*. 2025;(9(222)):215-228. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-9-215-228>
Fedorova A.O., Aistova L.G., Miller T.V. et al. Pathomorphological characteristics of burn disease in rabbits under non-invasive electromagnetic therapy. *Bulletin of KrasSAU*. 2025;(9(222)):215-228. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-9-215-228>
8. Кузнецова М.А., Борхунова Е.Н., Степанишин В.В., Позябин С.В. Возможности применения секретомы ММСК для стимуляции остеорепарации: экспериментальное исследование. *Ветеринария и кормление*. 2025;(1):48-53. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-1-10>
Kuznetsova M.A., Borkhunova E.N., Stepanishin V.V., Pozyabin S.V. Possibilities of using MMSC secretome to stimulate osteoreparation: an experimental study. *Veterinaria i Kormlenie*. 2025;(1):48-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-1-10>
9. Сароян С.В., Комаров С.В. Оценка эффективности применения секретомы мезенхимальных стволовых клеток в послеоперационной терапии корнеального секвестра. Систематизация клинического опыта. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2021;(4):196-203. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-248-4-196-203>
Saroyan S.V., Komarov S.V. Evaluation of the effectiveness of using mesenchymal stem cell secretome in the postoperative therapy of corneal sequestrum. Systematization of clinical experience. *Scientific Notes of the Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2021;(4):196-203. (In Russ.) <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-248-4-196-203>
10. Kangari P., Talaei-Khozani T., Razeghian Jahromi I. et al. Mesenchymal stem cells: amazing remedies for bone and cartilage defects. *Stem Cell Research & Therapy*. 2020;11(1):492. <https://doi.org/10.1186/s13287-020-02001-1>
11. L P.K., Kandoi S., Misra R. et al. The mesenchymal stem cell secretome: A new paradigm towards cell-free therapeutic mode in regenerative medicine. *Cytokine & Growth Factor Reviews*. 2019;46:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2019.04.002>
12. Качалин М.Д., Борхунова Е.Н., Позябин С.В. и др. Репаративная регенерация сухожилия под влиянием секретомы мультиметных мезенхимальных стромальных клеток: экспериментальное исследование. *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2023;12(2):77-88. <https://doi.org/10.31088/CEM2023.12.2.77-88>

- Kachalin M.D., Borkhunova E.N., Pozyabin S.V. et al. Reparative regeneration of tendon under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells: an experimental study. *Clinical and Experimental Morphology*. 2023;12(2):77-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.31088/CEM2023.12.2.77-88>
13. Майбородин И.В., Шевела А.И., Морозов В.В. и др. Влияние экстрацеллюлярных везикул (экзосом) мезенхимальных стромальных клеток на регенерацию костной ткани. *Новости хирургии*. 2019;(2). <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2019.2.196>
Maiborodin I.V., Shevela A.I., Morozov V.V. et al. Influence of extracellular vesicles (exosomes) of mesenchymal stromal cells on bone tissue regeneration. *Novosti Khirurgii*. 2019;(2). (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2019.2.196>
 14. Lee K.C., Dretzke J., Grover L., Logan A., Moiemmen N. A systematic review of objective burn scar measurements. *Burns & Trauma*. 2016;4:14. <https://doi.org/10.1186/s41038-016-0036-x>
 15. Seidenari S., Giusti G., Bertoni L., Magnoni C., Pellacani G. Thickness and echogenicity of the skin in children as assessed by 20-MHz ultrasound. *Dermatology*. 2000;201(3):218-222. <https://doi.org/10.1159/000018491>
 16. Wang X-Q., Mill J., Kravchuk O., Kimble R.M. Ultrasound assessed thickness of burn scars in association with laser Doppler imaging determined depth of burns in paediatric patients. *Burns*. 2010;36(8):1254-1262. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2010.05.01>
 17. Lau J.C., Li-Tsang C.W., Zheng Y.P. Application of tissue ultrasound palpation system (TUPS) in objective scar evaluation. *Burns*. 2005;31(4):445-452. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2004.07.016>
 18. Hambleton J., Shakespeare P.G., Pratt B.J. The progress of hypertrophic scars monitored by ultrasound measurements of thickness. *Burns*. 1992;18(4):301-307. [https://doi.org/10.1016/0305-4179\(92\)90151-j](https://doi.org/10.1016/0305-4179(92)90151-j)
 19. Simons M., Kee E.G., Kimble R., Tyack Z. Ultrasound is a reproducible and valid tool for measuring scar height in children with burn scars: a cross-sectional study of the psychometric properties and utility of the ultrasound and 3D camera. *Burns*. 2017;43(5):993-1001. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.01.034>
 20. Соколов А.А., Колесникова А.И., Довгий А.И. и др. Патент № 2708329 С2 Российская Федерация. Материал стволовых клеток, композиции и способы применения. № 2016121458: заявл. 31.05.2016, опубл. 05.12.2019, заявитель ООО «Т-Хелпер клеточные технологии». Sokolov A.A., Kolesnikova A.I., Dovgiy A.I. et al. Patent № 2708329 C2, Russian Federation. Stem cell material, compositions and methods of use. № 2016121458: filed on 31.05.2016 published on 11.01.2024, applicant T-Helper cell technologies (In Russ.)
 21. Singer A.J., McClain S.A. A porcine burn model. In: DiPietro L.A., Burns A.L., editors. *Methods in Molecular Medicine, Vol. 78: Wound Healing: Methods and Protocols*. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc.; 2003. p. 107-119. <https://doi.org/10.1385/1-59259-332-1:107>

Сведения об авторах

Усачева Ангелина Алексеевна –

ассистент кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-9460-3491>

SPIN-код: 1715-1050

kazakovaangeli@gmail.com

About the authors

Angelina A. Usacheva –

assistant, Department of Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9460-3491>

kazakovaangeli@gmail.com

Борхунова Елена Николаевна –

доктор биологических наук, заведующий кафедрой анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2355-8616>

SPIN-код: 8745-5568

borhunova@mail.ru

Кузнецова Мария Александровна –

кандидат биологических наук, ассистент кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-2031-12907>

SPIN-код: 3758-7249

kuznetsova_mva@mail.ru

Довгий Андрей Игоревич –

кандидат биологических наук, ООО «Т-Хелпер КТ», Москва, Россия

info@reparin.ru

Elena N. Borkhunova –

Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department of Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2355-8616>

borhunova@mail.ru

Maria A. Kuznetsova –

Cand. Sci. (Biol.), assistant, Department of Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2031-12907>

kuznetsova_mva@mail.ru

Andrei I. Dvgii –

Cand. Sci. (Biol.), T-Helper Cell Technologies, LLC, Moscow, Russia

info@reparin.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-82-90>

Morphological and biochemical responses of blackberry (*Rubus* spp.) cultivars under agro-climatic conditions of the Samarkand region

CORRESPONDENCE:

Noila Sh. Jumakulova

E-mail: jumakulovanoila1@gmail.com

FOR CITATION:

Jumakulova N.Sh., Kabulova F.D., Ismoilov K.T. Morphological and biochemical responses of blackberry (*Rubus* spp.) cultivars under agro-climatic conditions of the Samarkand region. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(1):82-90. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-82-90>

RECEIVED: 20.11.2025

REVISED: 19.03.2026

ACCEPTED: 20.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Jumakulova N.Sh., Kabulova F.D., Ismoilov K.T.



Noila Sh. Jumakulova ¹ , Flora D. Kabulova ² ,
Komiljon T. Ismoilov ³ 

¹ Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan

² Samarkand State University named after Sharaf Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

³ Samarkand State University of Veterinary Medicine, Animal Husbandry and Biotechnology, Samarkand, Uzbekistan

ABSTRACT

INTRODUCTION. Blackberry (*Rubus* spp.) is an important berry crop valued for its nutritional and medicinal properties. However, there is limited information on the morphological and biochemical responses of different blackberry cultivars under the semi-arid agro-climatic conditions of the Samarkand region. Research on cultivar performance under local conditions is essential for improving cultivation strategies and functional food development.

AIM. To evaluate the morphological characteristics and biochemical composition of thornless and thorny blackberry cultivars grown under the agro-climatic conditions of the Samarkand region.

MATERIALS AND METHODS. Seven cultivars—Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna, and the thorny Brazos—of composite origin belonging to *Rubus* spp. were studied during 2022–2024. Physiological and biochemical parameters were analyzed at key phenological stages, including leaf water content, fruit composition, vitamin C, flavonoids, amino acids, and carbohydrate levels.

RESULTS. Leaf water content showed clear diurnal variations. Karaka Black exhibited the highest water retention and better adaptation to arid conditions, while Thornfree and Jumbo were more sensitive to heat and water stress. Significant differences were observed in fruit biochemical composition among the cultivars, including vitamin C, flavonoids, amino acids, and carbohydrates. The thorny Brazos cultivar demonstrated intermediate responses in water retention and biochemical composition. The study identified cultivars with superior adaptation to semi-arid conditions of the Samarkand region.

CONCLUSION. Karaka Black, Brzezina, Chester, and Brazos cultivars are promising for cultivation in the semi-arid regions of Samarkand and for the development of functional food products. The findings provide a scientific basis for selecting blackberry cultivars adapted to local environmental conditions.

KEYWORDS: blackberry *Rubus* spp., thornless and thorny cultivars, morphology, biochemical composition, Samarkand, semi-arid conditions

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-10-23>

Морфологические и биохимические ответные реакции сортов ежевики (*Rubus* spp.) в агроклиматических условиях Самаркандского региона

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ноила Шокировна Жумакулова
E-mail: jumakulovanoila1@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Жумакулова Н.Ш., Кабулова Ф.Д., Исмоилов К.Т.
Морфологические и биохимические ответные реакции сортов ежевики (*Rubus* spp.) в агроклиматических условиях Самаркандского региона. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):82-90. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-82-90> EDN АТУНКА

ПОСТУПИЛА: 20.11.2025

ДОРАБОТАНА: 19.03.2026

ПРИНЯТА: 20.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Жумакулова Н.Ш., Кабулова Ф.Д., Исмоилов К.Т.



Н.Ш. Жумакулова ¹ , Ф.Д. Кабулова ² , К.Т. Исмоилов ³ 

¹ Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан

² Самаркандский государственный университет имени Шарафа Рашидова, Самарканд, Узбекистан

³ Самаркандский государственный университет ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологий, Самарканд, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Ежевика (*Rubus* spp.) является важной ягодной культурой, ценимой за питательные и лечебные свойства. В то же время существует ограниченная информация о морфологических и биохимических реакциях различных сортов ежевики в условиях полусухого климата Самаркандской области. Исследования продуктивности сортов в местных условиях необходимы для улучшения методов культивирования и разработки функциональных продуктов питания.

ЦЕЛЬ. Оценить морфологические характеристики и биохимический состав бесшипых и колючих сортов ежевики, выращиваемых в агроклиматических условиях Самаркандской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В течение 2022–2024 гг. изучались семь сортов: Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna и колючий сорт Brazos, которые относятся к *Rubus* spp. и имеют смешанное происхождение. Физиологические и биохимические параметры анализировались на ключевых фенологических стадиях, включая содержание воды в листьях, состав плодов, витамин С, флавоноиды, аминокислоты и углеводы.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Содержание воды в листьях демонстрировало явные суточные колебания. Сорт Karaka Black показал наибольшую способность удерживать воду и лучшую адаптацию к засушливым условиям, тогда как Thornfree и Jumbo оказались более чувствительными к тепловому и водному стрессу. Были отмечены значительные различия в биохимическом составе плодов среди сортов, включая витамин С, флавоноиды, аминокислоты и углеводы. Колючий сорт Brazos продемонстрировал промежуточные показатели удержания воды и биохимического состава. Исследование выявило сорта, наиболее приспособленные к полусухим условиям Самаркандской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Сорта Karaka Black, Brzezina, Chester и Brazos показали наибольший потенциал для выращивания в полусухих районах Самарканда и для разработки функциональных пищевых продуктов. Результаты исследования предоставляют научную основу для выбора сортов ежевики, адаптированных к местным условиям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ежевика *Rubus* spp., бесшипые и колючие сорта, морфология, биохимический состав, Самарканд, полусухие условия

INTRODUCTION

Blackberries are among the most valuable berry crops worldwide due to their rich nutritional profile, diverse bioactive compounds, and multifunctional applications in both the food and pharmaceutical industries. The fruits are a significant source of essential vitamins, including vitamin C, A, E and B-complex, alongside phenolic compounds, flavonoids, amino acids, and carbohydrates, which collectively confer antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. With increasing global awareness of health and functional nutrition, blackberries have attracted considerable attention as natural sources of bioactive compounds that promote human health and wellbeing [1–5].

The successful cultivation of blackberries is strongly influenced by environmental factors, particularly in arid and semi-arid regions where high temperatures, limited water availability, and soil heterogeneity pose significant challenges to plant growth, fruit development, and the accumulation of bioactive substances. Leaf water status is a key determinant of physiological stability, as it regulates turgor pressure, supports photosynthesis, facilitates nutrient transport, and modulates transpiration. Monitoring leaf water content provides crucial insights into plant stress tolerance, adaptation mechanisms, and overall productivity [6–10].

In recent decades, thornless blackberry cultivars have gained prominence due to their ease of management, improved fruit accessibility, and greater suitability for cultivation under adverse environmental conditions. Despite their growing popularity, there remains limited information on cultivar-specific morphological and biochemical responses, particularly under the semi-arid agro-climatic conditions of regions such as Samarkand, Uzbekistan. Understanding these responses is essential for optimizing cultivar selection, improving fruit quality, and enhancing the nutritional and functional potential of berries [2; 4; 11].

Previous studies have demonstrated that blackberry cultivars differ significantly in their physiological, morphological, and biochemical traits, including leaf water relations, fruit composition, and adaptive responses to drought and heat stress. However, comprehensive evaluations that integrate leaf water dynamics, phenological variations, and biochemical profiling under local environmental conditions are scarce. Such research is critical for advancing sustainable cultivation practices, maximizing yield, and ensuring the production of berries with high functional food value [2; 4; 8].

The present study aims to investigate the morphological traits, leaf water content dynamics, and biochem-

ical composition—including vitamin C, flavonoids, amino acids, and carbohydrates—of six thornless blackberry cultivars: Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, and Cacanska Bestrna. The research evaluates these cultivars across key phenological stages (budding, flowering, fruiting, and the end of vegetation) over three consecutive years (2022–2024). By elucidating cultivar-specific adaptive mechanisms and stress tolerance, this study seeks to provide valuable insights for sustainable berry production, cultivar improvement, and the development of functional food applications in arid and semi-arid environments.

MATERIALS AND METHODS

Plant Material and Experimental Site

Seven blackberry cultivars—Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna, and the thorny Brazos—of composite origin belonging to *Rubus* spp. were grown at the experimental plots of Samarkand State Medical University from 2022 to 2024. Plants were managed under standard agronomic practices suitable for semi-arid conditions.

Experimental Design and Phenological Observations

A randomized complete block design with three replicates per cultivar was employed. Each plot consisted of 10 plants, and all cultivars were maintained under the same agronomic conditions. Observations and measurements were performed at four key phenological stages: budding (spring), flowering, fruiting, and the end of vegetation (late summer). Phenological stages were determined according to the BBCH-scale adapted for berry crops.

Leaf Water Content Measurement

Leaf water content (LWC) was evaluated to assess the physiological status and drought tolerance of the cultivars. Fully expanded leaves from the middle part of shoots were sampled at six time points during the day (08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 and 18:00). Fresh weights were recorded immediately, and leaves were subsequently oven-dried at 70°C until constant weight to determine dry matter content.

Fruit Morphological and Biochemical Analysis

Fruits were harvested at full maturity for each cultivar. Morphological parameters, including fruit weight, size, and shape, were recorded.

Vitamin C content was determined in fully ripe blackberry fruits using the titrimetric method described by AOAC (2016) [12; 13]. Approximately 5 g of homogenized fruit sample was extracted with 100 mL of 3% metaphosphoric acid solution. The extract was titrated with 2,6-dichlorophenolindophenol solution until a persistent pink endpoint appeared. Results were expressed as mg of ascorbic acid per 100 g fresh weight (FW). All measurements were performed in triplicate.

Flavonoid content was measured using the aluminum chloride colorimetric assay [14]. One gram of dried fruit sample was extracted with 10 mL of 80% ethanol for 24 h at room temperature. The extract was reacted with 10% aluminum chloride solution, and absorbance was measured at 415 nm using a spectrophotometer. Flavonoid content was expressed as mg quercetin equivalents per 100 g dry weight (DW). Experiments were conducted in triplicate.

Amino acid composition was analyzed using the ninhydrin reaction [15]. Fruit samples (0.5 g) were hydrolyzed in 6N HCl at 110°C for 24 h, neutralized, and reacted with ninhydrin. Absorbance was read at 570 nm, and amino acid content was expressed as mg/g protein. All analyses were performed in triplicate.

Carbohydrate content was determined by the phenol-sulfuric acid method [16]. One gram of fruit sample was extracted with 10 mL distilled water, reacted with 5% phenol and concentrated sulfuric acid. Absorbance was measured at 490 nm, and carbohydrate content was expressed as mg glucose equivalents per 100 g FW. Measurements were performed in triplicate.

All analyses were conducted in triplicate to ensure accuracy and reproducibility.

Statistical Analysis

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SPSS software. Differences between cultivars, phenological stages, and diurnal measurements were assessed using Tukey's multiple comparison test at a significance level of $p < 0.05$. Graphical representation of leaf water content dynamics and fruit biochemical parameters was performed using OriginPro 2021.

RESULTS

Leaf Water Content Dynamics

Leaf water content (LWC) was assessed in seven blackberry cultivars (Jumbo, Thornfree, Karaka Black,

Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna, and Brazos) across four phenological stages: budding, flowering, fruiting, and the end of vegetation. Measurements were conducted at six daily time points (08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00) over three consecutive years (2022–2024) to capture diurnal fluctuations and annual trends.

All cultivars exhibited pronounced diurnal patterns, with maximum LWC recorded at 08:00 and gradual decreases throughout the day due to transpiration, followed by partial recovery in the evening (18:00). During the budding stage, the greatest daily fluctuations were observed in Thornfree (5.25%) and Jumbo (4.45%), indicating lower leaf water retention capacity. In contrast, Karaka Black (1.8%), Brzezina (1.75%), and Brazos (2.35%) maintained more stable LWC, demonstrating superior hydrostability (Figure 1).

Boxplots represent minimum, maximum, and median leaf water content values for seven cultivars (Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna, and Brazos) measured at four phenological stages: budding, flowering, fruiting, and end of vegetation. Data were averaged over three consecutive years (2022–2024). Narrow ranges in Karaka Black, Brzezina, and Brazos indicate efficient water conservation and high hydrostability, whereas broader ranges in Thornfree, Jumbo, and Chester reflect greater sensitivity to transpiration and environmental stress.

During flowering, similar trends persisted. Thornfree (8.15%) and Jumbo (7.56%) exhibited the highest LWC reduction, reflecting elevated transpiration and energy expenditure associated with reproductive development. Karaka Black (1.85%), Brzezina (1.45%), and Cacanska Bestrna (2.15%) retained minimal daily variation, confirming effective physiological water-conservation mechanisms.

The fruiting phase marked the highest physiological load on the plants. Jumbo (4.15%) and Thornfree (4.25%) experienced significant water loss due to transpiration, whereas Karaka Black (2.05%), Brzezina (1.7%), and Cacanska Bestrna (1.95%) maintained high leaf water stability. By the end of vegetation, overall LWC declined in all cultivars due to leaf senescence and reduced transpiration. Nonetheless, Karaka Black (2.1%), Brzezina (1.8%), and Cacanska Bestrna (1.85%) maintained relatively stable LWC, whereas Thornfree (3.05%), Jumbo (3.5%), and Chester (3%) were more susceptible to water stress (Figures 1 and 2).

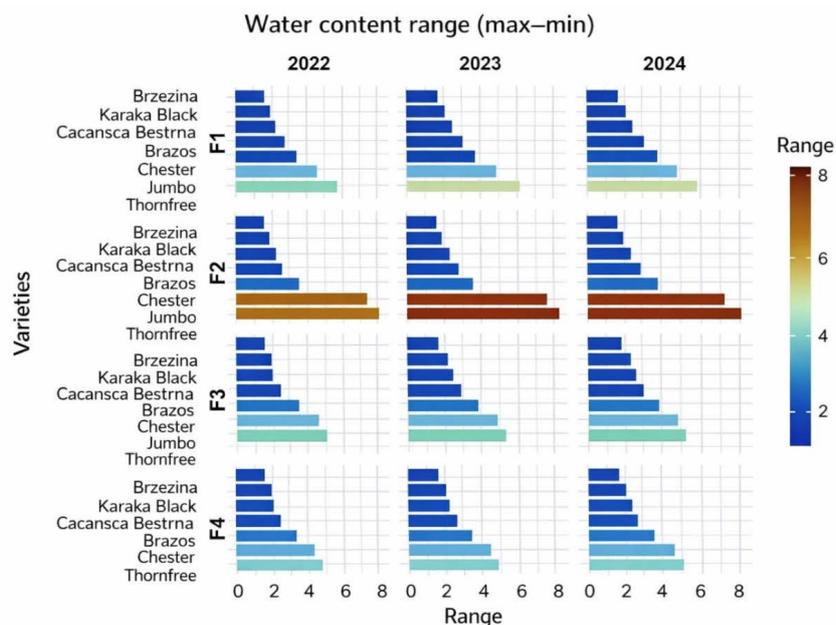


Figure 1
Range of leaf water content (%) across phenological stages in blackberry cultivars during 2022–2024

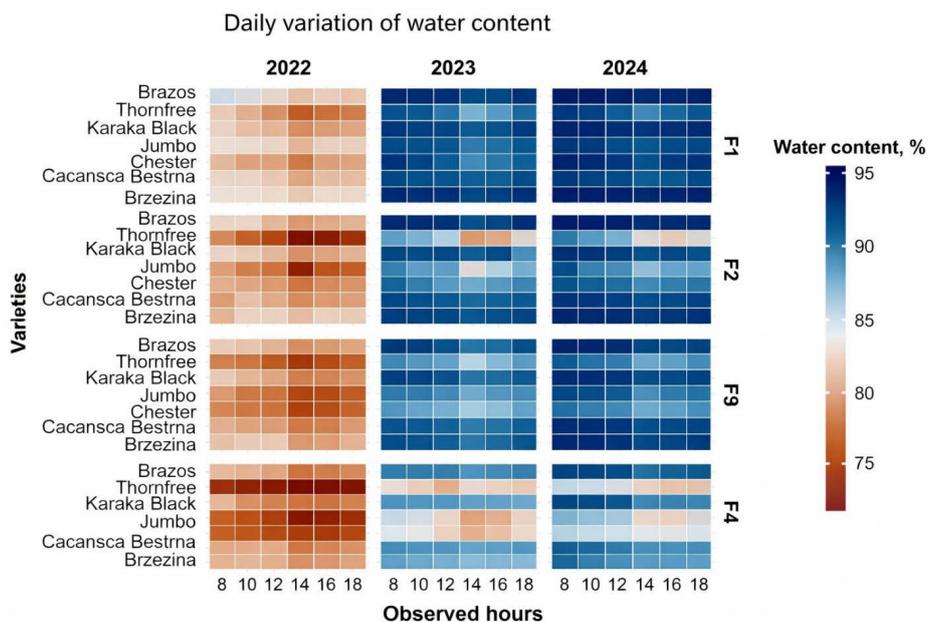


Figure 2
Annual changes in leaf water content (%) of blackberry cultivars during 2022–2024

Yearly and Phenological Influence on Leaf Water Content

Across all cultivars, LWC progressively declined from budding to the end of vegetation, reflecting the combined effects of increased physiological demands and environmental stress. Annual data (2022–2024) demonstrated a gradual increase in average LWC, suggesting improved plant adaptation or favorable climatic conditions over time (Figure 2).

The figure illustrates leaf water content measured at six daily time points (08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, and 18:00) for seven cultivars (Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna, and Brazos) across three consecutive years. Data show a gradual increase in average leaf water content over the years, indicating improved adaptation or favorable environmental conditions. Diurnal dynamics highlight maximum water content in the morning and progressive decline during midday due to transpiration, followed by partial recovery in the evening.

Evaluation of the LWC range across phenological stages revealed cultivar-specific differences in water balance stability. Minimal daily fluctuations were observed in Karaka Black, Brzezina, and Brazos, indicating highly efficient water conservation strategies. Conversely, Thornfree, Jumbo, and Chester exhibited larger ranges, reflecting greater sensitivity to transpiration and drought stress.

Fruit Morphology

Morphological analyses highlighted significant inter-cultivar differences in fruit weight, size, and shape (Table 1).

Karaka Black and Brzezina produced larger, heavier fruits, whereas Chester and Thornfree yielded smaller fruits. The observed morphological differences correlated with leaf water retention capacities and overall stress tolerance.

Fruit Biochemical Composition

Biochemical characterization demonstrated pronounced cultivar-specific variation in vitamin C, total flavonoids, amino acids, and carbohydrates (Table 2).

Karaka Black exhibited the highest vitamin C (211.32 mg/100 g) and flavonoid content (84.12 mg/100 g), confirming its potent antioxidant capacity. Chester contained the highest total amino acids (22.55 mg/g), suggesting enhanced protein nutritional value, whereas Cacanska Bestrna showed the highest carbohydrate concentration (9.01 mg/g), favoring both fresh consumption and processing. Brazos exhibited intermediate biochemical profiles, consistent with its moderate hydrostability and fruit morphology.

Integration of Morphological, Physiological, and Biochemical Traits

Integration of LWC dynamics, fruit morphology, and biochemical composition highlights a strong relationship between water management and fruit quality. Cultivars exhibiting higher leaf hydrostability, including Karaka Black, Brzezina, Cacanska Bestrna, and Brazos, maintained superior fruit biochemical profiles under arid conditions. In contrast, cultivars more susceptible to water loss (Thornfree, Jumbo, Chester) showed reduced biochemical accumulation and less stable fruit development.

Table 1

Morphological characteristics of blackberry cultivars

Data represent mean \pm SD ($n = 10$ fruits per cultivar). Measurements include fruit weight, length, diameter, and shape across seven cultivars cultivated in Samarkand region.

Cultivar	Average fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit shape
Jumbo	5.8 \pm 0.35	22.3 \pm 1.2	18.5 \pm 1.1	Oval
Thornfree	5.2 \pm 0.28	21.1 \pm 1.1	17.9 \pm 0.9	Oval
Karaka Black	6.4 \pm 0.30	24.0 \pm 1.0	19.2 \pm 1.0	Oblong
Brzezina	6.2 \pm 0.32	23.5 \pm 1.1	18.8 \pm 1.2	Oblong
Chester	4.9 \pm 0.25	20.5 \pm 0.9	17.2 \pm 0.8	Round
Cacanska Bestrna	5.7 \pm 0.27	22.7 \pm 1.0	18.1 \pm 0.9	Oval
Brazos	6.0 \pm 0.33	23.0 \pm 1.1	18.5 \pm 1.0	Oblong

Table 2

Biochemical composition of blackberry fruits

Cultivar	Vitamin C (mg/100 g)	Total flavonoids (mg/100 g)	Total amino acids (mg/g)	Total carbohydrates (mg/g)
Jumbo	189.45 \pm 4.12	72.30 \pm 3.25	18.25 \pm 1.10	8.75 \pm 0.45
Thornfree	182.60 \pm 3.95	70.12 \pm 3.00	17.90 \pm 1.05	8.55 \pm 0.42
Karaka Black	211.32 \pm 4.25	84.12 \pm 3.40	20.50 \pm 1.15	8.90 \pm 0.48
Brzezina	205.10 \pm 3.90	80.25 \pm 3.20	19.85 \pm 1.12	8.85 \pm 0.46
Chester	175.85 \pm 3.70	68.45 \pm 3.10	22.55 \pm 1.20	8.40 \pm 0.44
Cacanska Bestrna	198.20 \pm 4.05	75.60 \pm 3.30	19.10 \pm 1.08	9.01 \pm 0.50
Brazos	200.45 \pm 3.95	77.80 \pm 3.25	20.05 \pm 1.10	8.88 \pm 0.47

These findings underscore the pivotal role of physiological adaptation in determining both productivity and nutritional quality of blackberries in semi-arid agro-ecosystems.

DISCUSSION

The present study investigated morphological, biochemical, and physiological traits of seven *Rubus* spp. cultivars (Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna, and Brazos) under the agro-climatic conditions of the Samarkand region. Significant cultivar-specific differences were observed in leaf water content dynamics, fruit composition, and adaptive responses to environmental stress, highlighting their potential for sustainable cultivation in arid and semi-arid areas [2; 4].

Leaf water content is a critical physiological indicator, affecting cell turgor, photosynthetic efficiency, and overall plant growth. In our study, Karaka Black, Brzezina, and Brazos maintained the highest leaf hydrostability, showing minimal diurnal and phenological fluctuations. This suggests that these cultivars possess efficient water-use mechanisms and are better adapted to water-limited conditions. Conversely, Thornfree, Jumbo, and Chester exhibited greater diurnal variation and reduced water retention, indicating higher sensitivity to transpiration and environmental stress. For instance, during the flowering and fruiting stages, Thornfree and Jumbo lost up to 8.15% and 7.56% of leaf water content, respectively, reflecting their lower capacity to maintain hydro-balance under high transpiration rates [17; 18].

Diurnal patterns consistently showed maximum leaf water content in the early morning (08:00) and a gradual decline towards midday due to transpiration, followed by partial recovery in the evening (18:00). These dynamics demonstrate the interplay between environmental factors, such as temperature and solar radiation, and cultivar-specific physiological responses. The cultivars with stable water content, particularly Karaka Black, effectively regulated stomatal aperture and maintained turgor, thereby supporting photosynthetic activity and nutrient transport even under high evaporative demand [7; 10; 18].

Biochemical analyses revealed that Karaka Black contained the highest vitamin C (211.32 mg/100 g) and total flavonoids (84.12 mg/100 g), while Chester exhib-

ited the highest amino acid content (22.55 mg/g) and Cacanska Bestrna showed the greatest carbohydrate level (9.01 mg/g). These findings suggest a correlation between water stability and accumulation of bioactive compounds. Cultivars capable of maintaining leaf turgor and hydrostability during peak stress periods tend to preserve higher levels of antioxidants and essential metabolites, which is consistent with reports on berry crops under water-limited environments [2; 4; 16; 18; 19].

The morphological traits, including fruit size and shape, also contributed to the observed physiological differences. Larger, oblong fruits of Karaka Black and Brzezina may provide greater surface area for transpiration regulation and metabolite accumulation. In contrast, smaller fruits of Chester and Jumbo, while potentially favorable for certain processing purposes, were associated with higher sensitivity to daily water loss [2; 4].

Overall, these results underscore the importance of integrating morphological, physiological, and biochemical assessments when selecting cultivars for arid and semi-arid regions. Karaka Black and Brzezina, in particular, demonstrate a combination of high adaptive potential, hydrostability, and nutritional value, making them suitable candidates for functional food production and sustainable horticulture [19–22]. Conversely, Thornfree, Jumbo, and Chester may require tailored irrigation and management strategies to mitigate water stress and optimize fruit quality.

These findings provide a scientific basis for cultivar selection, irrigation planning, and breeding programs aimed at enhancing stress tolerance, improving fruit quality, and promoting the use of *Rubus* spp. as a valuable functional food resource in regions with limited water availability.

CONCLUSION

The present study provides a comprehensive assessment of morphological, physiological, and biochemical traits of seven blackberry cultivars (Jumbo, Thornfree, Karaka Black, Brzezina, Chester, Cacanska Bestrna and Brazos) under the agro-climatic conditions of the Samarkand region. The results demonstrated significant cultivar-specific differences in leaf water content dynamics, fruit composition, and stress adaptation.

Contributions

N. S. Jumakulova: data curation, formal analysis, investigation, writing-original draft, writing-review & editing.

F. D. Kabulova: conceptualization, methodology, project administration, supervision, writing-review & editing.

K. T. Ismoilov: investigation, resources, data curation.

Вклад авторов

Н. Ш. Жумакулова: отбор данных, формальный анализ, исследование, написание-черновик, написание – рецензирование и редактирование.

Ф. Д. Кабулова: концептуализация, методология, администрирование проекта, руководство, написание-рецензирование и редактирование.

К. Т. Исmoilов: исследование, ресурсы, отбор данных.

REFERENCES

1. Demir N. Antioxidant activity and aroma profile of wild-type blackberry fruits grown in Arapgir. *Adiyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2023;10(21):288-298. <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1378264>
2. Karaklajic-Stajic Z., Tomic J., Pesakovic M. et al. Black queens of fruits: Chemical composition of blackberry (*Rubus* subg. *rubus* Watson) and black currant (*Ribes nigrum* L.) cultivars selected in Serbia. *Foods*. 2023;12(14):2775. <https://doi.org/10.3390/foods12142775>
3. Komarnytsky S. et al. Berries in microbiome-mediated gastrointestinal, metabolic and immune health. *Current Nutrition Reports*. 2023;12(1):151-166. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00449-0>
4. Memete A.R., Sărac I., Teusdea A.C. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of several blackberry (*Rubus* spp.) fruits cultivars grown in Romania. *Horticulturae*. 2023;9(5):556. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050556>
5. Saqee Saqee A.H., Eruygur N. Phytochemical investigation, antioxidant, and enzyme inhibitory activities of blackberry (*Rubus fruticosus*) fruits. *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants*. 2024;7(1):34-40. <https://doi.org/10.38093/cupmap.1463141>
6. Dogan H., Aglar E., Ozturk B. et al. Pomological and Biochemical Properties of Blackberry (*Rubus fruticosus*) Genotypes. *Food Science and Nutrition*. 2025;13(7):e70591.
7. Hering A. et al. Polyphenolic characterization, antioxidant, antihyaluronidase and antimicrobial activity of young leaves and stem extracts from *Rubus caesius* L. *Molecules*. 2022;27(19):6181. <https://doi.org/10.3390/molecules27196181>
8. Huang X., Wu Y., Zhang S. et al. Variation in bioactive compounds and antioxidant activity of *Rubus* fruits at different developmental stages. *Foods*. 2022;11(8):1169. <https://doi.org/10.3390/foods11081169>
9. Nisar N., Wani S.M., Dar M.M. et al. Development and quality assessment of an antioxidant rich *Rubus* squash: Evaluation of physicochemical properties, bioactive compounds, and storage stability. *Sustainable Food Technology*. 2025. <https://doi.org/10.1039/D5FB00459D>
10. Varzaru I., Oancea A.G., Vlaicu P.A. et al. Exploring the antioxidant potential of blackberry and raspberry leaves: Phytochemical analysis, scavenging activity, and in vitro polyphenol bioaccessibility. *Antioxidants*. 2023;12(12):2125. <https://doi.org/10.3390/antiox12122125>
11. Fallahi M., Swift K.B., Bluhm B. et al. First report of Fusarium wilt of blackberry (*Rubus caesius* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *mori* in Arkansas. *Plant Disease*. 2025;109(8):1789-1789. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-24-2980-PDN>
12. Nile S.H., Park S.W. Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*. 2014;30(2):134-144.
13. Amritkar P.N. et al. Single-laboratory validation of AOAC Official Method 2011.10 for vitamin B12 in 'Indian' infant and pediatric formulas and adult nutritionals. *Journal of AOAC International*. 2020;103(1):3-8.
14. Chang C.C., Yang M.H., Wen H.M., Chern J.C. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2002;10(3).
15. Spackman D.H., Stein W.H., Moore S. Automatic recording apparatus for use in chromatography of amino acids. *Analytical Chemistry*. 1958;30(7):1190-1206.

16. DuBois M., Gilles K.A., Hamilton J.K. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 1956;28(3):350-356.
17. Godwin C.E. *Genetic Control of Sweetness, Acidity, and Seediness in Blackberry*. University of Arkansas, 2021.
18. Overall J.C. *Anthocyanin Structural Diversity and Gut Microbiota Interactions Contribute to Divergent Metabolic Health Outcomes After Berry Nutritional Interventions in Diet-Induced Obesity*. North Carolina State University, 2021.
19. Pahlke G. et al. Antioxidant effects of elderberry anthocyanins in human colon carcinoma cells: A study on structure–activity relationships. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2021;65(17):2100229. <https://doi.org/10.3390/ijms26146754>
20. Rodriguez-Saona L.E., Wrolstad R.E. Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001.
21. Skrovankova S. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015;16(10):24673-24706.
22. Ivashchanka Y. et al. Blackberry (European dewberry) extracts as a novel therapeutic strategy against MRSA strains. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(14):6754. <https://doi.org/10.3390/ijms26146754>

About the authors

Noila Sh. Jumakulova –

Stajor Assistant, Samarkand State Medical University,
Samarkand, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0004-4904-3391>

jumakulovanoila1@gmail.com

Flora D. Kabulova –

Professor, Samarkand State University named after
Sharaf Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0002-2819-4727>

florakabulova0@gmail.com

Komiljon T. Ismoilov –

Researcher, Samarkand State University of Veterinary
Medicine, Animal Husbandry and Biotechnology,
Samarkand, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0009-1254-3268>

Сведения об авторах

Жумакулова Ноила Шокировна –

стажёр-ассистент, Самаркандский государственный
медицинский университет, Самарканд, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0004-4904-3391>

jumakulovanoila1@gmail.com

Кабулова Флора Джаббаровна –

профессор, Самаркандский государственный
университет имени Шарафа Рашидова, Самарканд,
Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0002-2819-4727>

florakabulova0@gmail.com

Исмоилов Комилжон Туйгунович –

исследователь, Самаркандский государственный
университет ветеринарной медицины,
животноводства и биотехнологий, Самарканд,
Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0009-1254-3268>

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-91-100>

Адаптация комплекса вредителей нута к погодноклиматическим условиям неустойчивого увлажнения Ставропольского края

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Александр Вадимович Чернов
E-mail: chernoval.2000@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Чернов А.В., Ченикалова Е.В.
Адаптация комплекса вредителей нута к погодноклиматическим условиям неустойчивого увлажнения Ставропольского края. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):91-100.
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-91-100> EDN ВТМҮҢЈ

ПОСТУПИЛА: 03.12.2025

ДОРАБОТАНА: 24.02.2026

ПРИНЯТА: 24.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Чернов А.В.,
Ченикалова Е.В.



А.В. Чернов , Е.В. Ченикалова 

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В России нут занимает порядка 800 тыс. га, причем с каждым годом площади, занятые этой культурой, растут, что свидетельствует о её востребованности. Одним из факторов снижения продуктивности посевов нута являются насекомые-вредители. Однако комплексные исследования видового состава фитофагов и их динамики в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края до настоящего времени не проводились.

ЦЕЛЬ. Определить комплекс насекомых-вредителей нута в условиях Ставропольского края и оценить влияние погодноклиматических факторов на их численность, биологию и фенологию развития.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводились на сорте нута Триумф. Фенологические наблюдения осуществляли по общепринятым методикам. Учеты численности фитофагов проводили маршрутным методом. Для мониторинга лета имаго нутового минера использовали клеевые ловушки, а для хлопковой совки – феромонные ловушки.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В посевах нута были установлены три вида вредителей: хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hb.), нутовая минирующая муха (*Liriomyza cicerina* R.) и гороховый трипс (*Kakothrips robustus* Uz.). Погодные условия оказывали значительное влияние на сроки развития и динамику численности их популяций. В 2024 году, характеризовавшемся теплой весной, максимальная численность хлопковой совки достигала 23 гусеницы/м², нутовой минирующей мухи – 59 личинок/м², горохового трипса – 76 особи/м². В 2025 году, с более прохладным началом лета, пики численности сместились, но достигли значительных величин в 16 гусениц хлопковой совки на 1 м², 102 личинки нутовой минирующей мухи на 1 м² и 77 особей горохового трипса на 1 м².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки и применения системы защиты посевов нута от насекомых-вредителей (хлопковой совки, нутовой минирующей мухи и горохового трипса). Для прогнозирования вспышек размножения вредных объектов необходим регулярный фитосанитарный мониторинг посевов нута с учетом фенологических фаз развития культуры и погодноклиматических условий года вегетации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нут, насекомые-вредители, хлопковая совка, нутовый минер, гороховый трипс

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-91-100>

Adaptation of the chickpea pest complex to weather and climatic conditions of the unstable moisture zone in Stavropol krai

CORRESPONDENCE:

Alexander V. Chernov

E-mail: chernoal.2000@mail.ru

FOR CITATION:

Chernov A.V., Chenikalova E.V. Adaptation of the chickpea pest complex to weather and climatic conditions of the unstable moisture zone in Stavropol krai. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(1):91-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-91-100>

RECEIVED: 03.12.2025

REVISED: 24.02.2026

ACCEPTED: 24.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Chernov A.V.,
Chenikalova E.V.



Alexander V. Chernov , Elena V. Chenikalova 

North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In Russia, chickpea is cultivated on approximately 800 thousand hectares, with the acreage dedicated to this crop increasing annually, which indicates its growing demand. One of the factors reducing the productivity of chickpea crops is insect pests. However, comprehensive studies on the species composition of phytophagous pests and their population dynamics in the zone of unstable moisture in the Stavropol krai have not been conducted to date.

AIM. To identify the complex of insect pests affecting chickpea in the conditions of the Stavropol krai and to assess the impact of climatic factors on their abundance, biology, and phenology of development.

MATERIALS AND METHODS. The research was conducted on the chickpea variety Triumph. Phenological observations were based on generally accepted methods. The abundance of phytophages was recorded using the route method. Sticky traps were used to monitor the flight of adult chickpea leaf miners. Pheromone traps were used for the cotton bollworm.

RESULTS. Three pest species were identified in the chickpea crops: the cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hb.), the chickpea leaf miner (*Liriomyza cicerina* R.), and the pea thrips (*Kakothrips robustus* Uz.). Weather conditions significantly affected the timing of development and the population dynamics of these species. In 2024, characterized by a warm spring, the maximum abundance reached 23 caterpillars/m² for the cotton bollworm, 59 larvae/m² for the chickpea leafminer, and 76 specimens/m² for the pea thrips. In 2025, with a cooler start to the summer, the peaks of abundance shifted but still reached significant levels: 16 cotton bollworm caterpillars/m², 102 chickpea leafminer larvae/m², and 77 pea thrips specimens/m².

CONCLUSION. The obtained data indicate the necessity of developing and implementing a plant protection system for chickpea crops against insect pests (cotton bollworm, chickpea leaf miner, and pea thrips). To forecast pest outbreaks, regular phytosanitary monitoring of chickpea crops is required, taking into account the phenological stages of the crop and the weather and climatic conditions of the growing season.

KEYWORDS: chickpea, insect pests, cotton bollworm, chickpea leafminer, pea thrips

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных задач современного сельского хозяйства является наращивание объемов производства растительного белка, в связи с чем возделывание зернобобовых культур, способных накапливать с единицы возделываемой площади наибольшее количество легкоусвояемых протеинов, приобретает первостепенное значение. Одной из таких культур является нут (*Cicer arietinum* L.); кроме белка он содержит клетчатку, кальций, железо и фосфор [1–3]. Нут считается самой устойчивой к жаре, засухе и суховеям зернобобовой культурой [4]; занимает третье место в мире по площади среди зернобобовых, его посевы расположены в более чем 50 странах на 13 млн га; является одной из самых экономически важных культур мира [5–7]. В России под нут отведено порядка 800 тыс. га, причем с каждым годом площади, занятые этой культурой, растут в связи с высоким спросом на внешних рынках и высокой ценой реализации. В Ставропольском крае, на территории которого проходили исследования, в зоне неустойчивого увлажнения, площади под культурой достигли 36,5 тысячи гектаров.

Повышению интереса производителей к нуту также способствуют изменения экологических факторов, таких как рост теплообеспеченности, уменьшение количества осадков и увеличение частоты экстремальных погодных явлений. Эти изменения требуют серьезной адаптации систем земледелия Ставропольского края [8], что делает разработку технологии производства нута перспективным и практически значимым направлением для зон недостаточного и неустойчивого увлажнения.

Среднегодовая урожайность нута в мире составляет около 1 т/га, что меньше ожидаемой урожайности в 6 т/га при выращивании в оптимальных условиях. Одним из основных факторов, снижающих продуктивность посевов нута, считаются насекомые-вредители [9; 10]. С увеличением доли какой-либо культуры в структуре пашни и изменением условий ведения сельского хозяйства неизбежно увеличивается распространение и накопление фитофагов, в том числе второстепенных [11]. В последние годы в Ставропольском крае отмечено интенсивное заселение агроценозов зернобобовых культур вредными организмами, потери урожая от которых могут достигать 80 % [12]. Поэтому защита посевов от вредителей – одно из главных условий получения высоких урожаев [13; 14].

Нут повреждают различные насекомые-фитофаги, среди которых есть как специализированные, так и многоядные виды [15]. Наиболее распространенными и вредоносными в мире являются нутковая минирующая муха [10; 16; 17] и хлопковая совка [3; 13; 18], которые в оптимальных для них условиях способны привести к потерям урожая от 30 до 80 % [3; 10]. На юге России, кроме данных вредителей, в течение вегетации нута отмечаются повреждения бобовой тлей [15], а также корневой тлей, которая вредит в конце развития культуры корневой системе [19]. В условиях Саратовской области было отмечено повреждение нута гороховой зерновкой [20]. ФГБУ «Россельхозцентр» при проведении фитосанитарного мониторинга в различных регионах России кроме перечисленных выше вредителей регистрировал также повреждения нута совкой-гамма, луговым мотыльком, клубеньковыми долгоносиками.

Несмотря на то, что насекомые-вредители являются одним из ключевых факторов, сдерживающих рост урожайности нута, данный вопрос остается недостаточно изученным как на территории Ставропольского края, так и в целом по России. В связи с этим целью нашего исследования является определение комплекса насекомых-вредителей, вредящих посевам нута в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, и оценка влияния погоднo-климатических факторов на их численность, биологию и фенологию развития.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и условия проведения исследования

Объект исследований – посевы нута сорта Триумф. Предметом исследования был комплекс насекомых-вредителей нута. Исследования проводились в 2024–2025 гг. на опытном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», расположенном в окрестностях г. Михайловска на Ставропольской возвышенности, с гидротермическим коэффициентом 0,9–1,1 и суммой активных температур 3000–3200 °С. Координаты участка: 45.125894° с. ш., 42.059434° в. д. По средне-многолетним данным метеостанции г. Ставрополя, средняя годовая температура воздуха составляет +10,7°, за год выпадает 555 мм осадков.

Площадь опытного участка 1 гектар. Посев нута осуществляли в первой-второй декаде апреля по предшественнику озимая пшеница. После уборки предшественника проводили лущение стерни

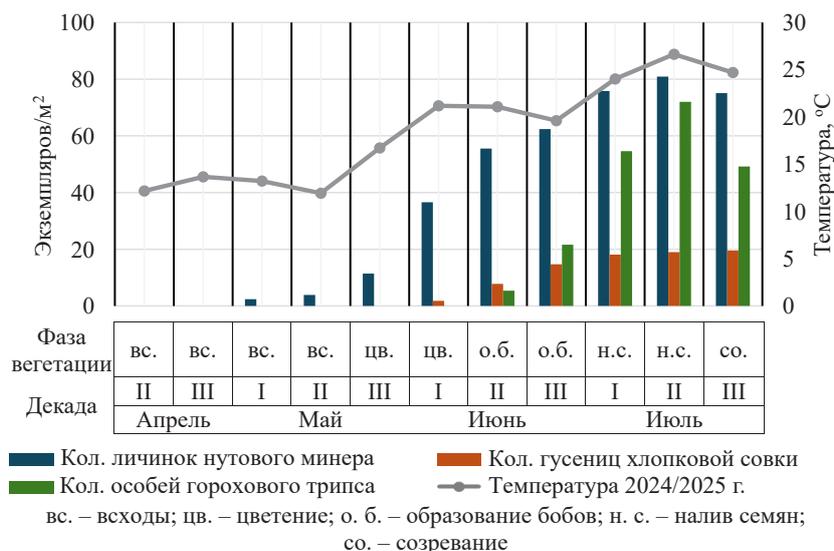


Рисунок 1

Численность фитофагов на посевах нута (среднее за 2024–2025 гг.)

Figure 1

Number of phytophages on chickpea crops (average 2024–2025)

с последующей вспашкой. Весной проводили выравнивающую и предпосевную культивации. Норма высева семян 290 кг/га. Время появления всходов – третья декада апреля. Для борьбы с сорной растительностью применяли гербицид Мерлин Флекс, КС 0,3 л/га, до появления всходов культуры.

Погодные условия периода исследования

Средняя температура за 2023/2024 г. сельскохозяйственный год составила 12,9 °С, что на 2,2 °С выше среднемноголетних значений. Средняя температура зимнего периода была на уровне среднемноголетней, что, при отсутствие сильных морозов, способствовало хорошей перезимовки насекомых. За 2024/2025 г. сельскохозяйственный год среднемесячная температура составила 10,8 °С, что выше среднемноголетних значений на 0,1 °С. Зимний период отличался продолжительными отрицательными температурами в феврале при обилии снежного покрова.

Методы проведения исследования

При фенологических наблюдениях использовали методику ГСИ¹. Учёт численности личинок, питающихся на растениях нута, проводили маршрутным методом²: по диагонали поля равномерно отбирали

10 проб по 10 растений, устанавливали количество личинок на 100 растений с пересчётом на 1 м². Для определения начала лета имаго нуттовой минирующей мухи устанавливали клеевые ловушки площадью 80 см² на высоте 10 см из расчета 10 шт/га. Учет численности имаго самцов хлопковой совки проводили с использованием феромонных ловушек (производства – АО Щёлково Агрохим). Их размещали на поле после посева по общепринятой методике из расчёта 4 шт/га, до начала массового лет осмотр проводили ежедневно, затем один раз в три – пять дней.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В сложившихся условиях в период исследования на нуте были зафиксированы как свойственные для данной зоны полифаг (хлопковая совка) и специализированный вредитель (нуттовая минирующая муха), так ранее и не имевший значительной численности в агроценозах фитофаг – гороховый трипс (рисунок 1). За 2024/2025 г. потери урожая от деятельности данных вредителей на посевах достигали 40 %.

Наибольшее экономическое значение при возделывании нута имеет хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hbn.) (рисунок 2) [21].

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.; 1989. 194 с.

² Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М. : Высш. школа; 1971. 424 с.



Рисунок 2
Helicoverpa armigera Hbn.: имаго (слева), гусеница (справа) (ориг.)

Figure 2
Helicoverpa armigera Hbn.: imago (left), caterpillar (right) (orig.)

Наиболее благоприятна для развития хлопковой совки температура воздуха от 28 до 33 °С и относительная влажность воздуха 60 % и выше [22]. В 2024 г. высокие температуры весной (в марте и апреле выше среднемноголетних на 1,6 °С и 6 °С соответственно), а также возвратные заморозки привели к растянутому вылету вредителя. Единичные особи в приусадебных участках появлялись еще в I–II декадах апреля, но в полевых условиях лет первого поколения начался во II декаде мая. В конце июня – начале июля при среднесуточной температуре в 23,9 °С было начало массового лета при наложении двух поколений вредителя, нут находился в фазе образования бобов – налива семян. Максимальная численность гусениц хлопковой совки в 2024 г. достигала 23,4 шт/м² в III декаде июля. Третье поколение было отмечено на таких культурах, как кукуруза и подсолнечник, а последние особи в году в условиях приусадебных участков встречались во второй декаде сентября.

В 2025 г. в связи с более низкими температурами в мае (на 0,8 °С ниже среднемноголетних) и июне (0,8 °С меньше среднемноголетних) вылет первого поколения был также растянут и начался в третьей декаде мая, первые бабочки второго поколения появились в III декаде июня. Массовый лет был отмечен в I декаде июля, когда нут находился в фазу налива семян; а максимальная численность гусениц на посевах нута (16 шт/м²) в III декаде июля.

В Ставропольском крае в течение ряда лет отмечались вспышки массового размножения данного вредителя: в 2000–2001, 2003–2005, 2010–2011, 2014–2015 и в 2018–2019 гг. В 2019 г. отмечалась наиболее высокая численность – 54 гусеницы на 1 м². Значительный спад численности наблюдался в 2017 г. –

до 2,3 экз/м². В целом в Ставропольском крае за последние 20 лет нарастание популяции отмечается каждые 2–3 года, затем в последующие два года наблюдается депрессия в развитии вредителя [23; 24]. В 2024 и в 2025 гг. численность совки превышала экономический порог вредоносности (ЭПВ) (1–2 гусеницы на 10 растений). Данные о сильной зависимости динамики численности хлопковой совки от климатических условий и о наложении разных поколений согласуются с исследованиями об этом вредителе на других культурах [25].

Основной вред хлопковая совка наносила повреждая генеративные органы растений, потери бобов в годы исследования достигали 30 %, также в период массового отрождения гусеницы первых возрастов наносили серьезный ущерб листовому аппарату верхнего яруса.

Нутовая минирующая муха (*Liriomyza cicerina* (Rondani, 1875)) (рисунок 3) является широко распространенным вредителем в Европе, Азии и Африке. В условиях места исследования ей не уделяется значительного внимания, при этом данный фитофаг ежегодно отмечается на посевах.

В годы исследования отмечалось 3 поколения вредителя. Полный жизненный цикл одного поколения продолжался 20–30 дней. Высокие температуры в апреле 2024 г., в первой декаде которого производился сев нута, способствовали более раннему развитию и вылету имаго перезимовавшего поколения в III декаде месяца. Первые личинки были отмечены в I декаде мая на ранних этапах роста нута, при активном развитии листового аппарата, когда он наиболее уязвим для этого вредителя. Но погодные условия следующего месяца, с возвратными холодами, задержали массовое распространение



Рисунок 3

Liriomyza cicerina: имаго на листе нута (слева), личинки в листьях нута (справа) (ориг.)

Figure 3

Liriomyza cicerina: imago on chickpea leaf (left), larvae in chickpea leaves (right) (orig.)

вредителя. Максимальной численности в 59 личинок/м² в 2024 г. он достиг во II декаде июля.

Отсутствие повышенных температур весной 2025 года привело к более позднему началу лета, первые мухи зимовавшего поколения появились во II декаде мая, что не позволило данному вредителю заселить посевы нута в период наибольшей уязвимости растения. В дальнейшем высокие летние температуры свыше 25 °С привели к резкому росту численности до 102 личинок/м² во II декаде июля.

На листьях в течение всего вегетационного периода с момента появления личинок *L. cicerina* наблюдали мины внутри листа, впоследствии эти листья скручивались, засыхали и опадали. Закончив питание, личинки в большинстве случаев уходили в почву на окукливание, но в некоторых случаях окукливание происходило на листе. Зимовали куколки в почве. ЭПВ для нутового минера не разработан,

что свидетельствует о недостаточной изученности данного вредителя.

Нутовая минирующая муха является основным вредителем нута во многих Африканских и Азиатских странах с теплым климатом [26]. Нами отмечено, что изменение климата, в частности повышение среднегодовых температур, способствует расширению ареала обитания нутовой минирующей мухи, увеличению ее популяции и удлинению сезона активности в условиях Ставропольского края, где ранее она не имела экономического значения. Данное наблюдение согласуется с выводами европейских исследователей, отмечающих расширение ареала минирующих мух, включая нутовую [27].

В период наблюдений на посевах нута питался также **гороховый трипс** (*Kakothrips robustus* (Uzel, 1895)), ранее не отмечавшийся в зоне исследования (рисунок 4).

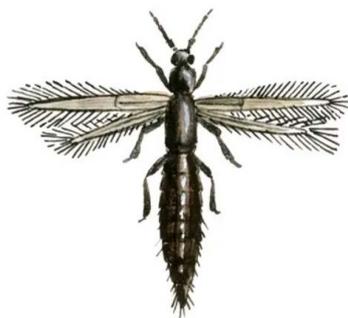


Рисунок 4

Kakothrips robustus: имаго (слева) (E. Leenders), листья нута с повреждениями (справа) (ориг.)

Figure 4

Kakothrips robustus: imago (left) (E. Leenders), chickpea leaves with damage (right) (orig.)

Зимовали нимфы в почве. На опытных делянках в оба года исследования было отмечено одно поколение вредителя, на развитие которого уходило 25–35 дней. В 2024 году гороховый трипс заселил посеы нута во II декаде июня при средней температуре воздуха 23 °С. Максимальная численность в 76 особей/м² была отмечена во II декаде июля при среднесуточной температуре 26 °С. В 2025 году более низкие температуры начала лета привели к более позднему выходу вредителя на растения в III декаде июня. При массовом распространении в III декаде того же месяца численность достигала 77 особей/м².

При питании личинки и взрослые трипсы высасывали сок из тканей растений, собираясь на поврежденных органах (листья, цветки, молодые бобы) значительными группами. Поврежденные молодые листья и цветки скручивались, на них появлялись некротические пятна. В годы исследования в фазу формирования бобов налив семян ЭПВ (2 экз. на 1 боб³) не достигал.

Некоторые авторы относят данного вредителя к потенциально опасным на горохе [11], однако исследования на нуте в России по вредителю нами не были найдены. По данным нашего исследования, гороховый трипс сильно подвержен влиянию погоды. Отсутствие высоких температур весной и в начале лета 2025 года привело к более позднему появлению его на посевах нута по сравнению с 2024 годом. Но при этом после установления высоких летних температур трипсы быстро нарастили свою численность до уровня 2024 года. Сильная зависимость от погодных условий согласуется с данными других авторов [28].

Вклад авторов

А. В. Чернов: проведение исследования, написание черновика рукописи.

Е. В. Ченикалова: научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В агроценозе нута зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края выявлено расширение видового состава фитофагов, с формированием характерного комплекса из трех основных вредителей, таких как хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hb.), нутовая минирующая муха (*Liriomyza cicerina* R.) и гороховый трипс (*Kakothrips robustus* Uz.). Установлена прямая зависимость между динамикой численности, фенологией развития вредителей и погодными условиями. Теплые весенние периоды способствуют более раннему и растянутому лёту этих насекомых, что увеличивает период вредоносности, в то время как прохладная погода сдвигает пики численности на более поздние сроки.

У хлопковой совки подтверждён статус наиболее значимого вредителя, наносящего ущерб генеративным органам и листовому аппарату, с численностью, стабильно превышающей ЭПВ. У нутовой минирующей мухи, ранее не считавшейся высоко вредоносной в регионе, в годы исследования была отмечена высокая плотность популяции (до 102 личинок/м²), что указывает на рост ее значимости. Выявление горохового трипса в качестве нового для региона вредителя нута свидетельствует о расширении ареала его вредоносности и требует включение его в систему мониторинга и защиты.

Для обеспечения стабильной урожайности нута необходима разработка дифференцированной системы защиты, основанной на постоянном фитосанитарном мониторинге, учете погодных факторов для прогнозирования вспышек размножения и применении защитных мероприятий, направленных на подавление выявленного комплекса вредителей.

Contributions

A. V. Chernov: investigation, writing-original draft.

E. V. Chenikalova: supervision, writing-review & editing.

³ Бухонова Ю.В., Михина Н.Г., Алехин В.Т. Методические указания по мониторингу вредителей и болезней зернобобовых культур. Воронеж; 2018. 117 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Aguilera Y., Martín-Cabrejas M.A., Benítez V., Mollá E., López-Andréu F.J., Esteban R.M. Changes in carbohydrate fraction during dehydration process of common legumes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2009;22:678-683. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.02.012>
2. Summo C., de Angelis D., Ricciardi L., Caponio F., Lotti C., Pavan S., Pasqualone A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2019;84:103306. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103306>
3. Гринько А.В. Защита нута от хлопковой совки (*Helicoverpa armigera* Hb.). *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;4(60):56-59. EDN: WJUMQP
Grinko A.V. Protection of chickpea from cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hb.). *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2016;4(60):56-59. (In Russ.) EDN: WJUMQP
4. Пташник О.П. Семенная продуктивность нута в условиях степного Крыма. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2020;85:208-213. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-85-208-213> EDN: GEYBBJ
Ptashnik O.P. Seed productivity of chickpea in the conditions of the steppe Crimea. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020;85:208-213. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-85-208-213> EDN: GEYBBJ
5. Koul B., Sharma K., Sehgal V., Yadav D., Mishra M., Bharadwaj C. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Biology and Biotechnology: From Domestication to Biofortification and Biopharming. *Plants*. 2022;11:2926. <https://doi.org/10.3390/plants11212926>
6. Reddy M.S.S., Agnihotri M., Divija S.D., Belal B., Karthik S. Host plant resistance profiling of chickpea genotypes against *Helicoverpa armigera* (Hübner) through SEM and GC-MS studies. *International Journal of Tropical Insect Science*. 2022;42:1627-1638. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00684-4>
7. Srivastava V.K., Dwivedi A.C., Tripathi A. Efficacy of insecticides in the management of the gram pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) in chickpea under field conditions. *Journal Journal of Experimental Zoology India*. 2025;28(1):855-860. <https://doi.org/10.51470/jez.2025.28.1.855>
8. Волошенкова Т.В., Антонов С.А., Калашникова А.А., Перегудов С.В. Тенденции изменения климата в засушливых районах Ставропольского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2023;37(11):5-11. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_11_5 EDN: QEHDPN
Voloshenkova T.V., Antonov S.A., Kalashnikova A.A., Peregudov S.V. Climate change trends in the arid regions of the Stavropol Territory. *Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex*. 2023;37(11):5-11. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_11_5 EDN: QEHDPN
9. Fite T., Tefera T., Negeri M., Legesse H. Farmers status, knowledge and management practices on major chickpea insect pests in some selected zones of Ethiopia. *Journal of Agricultural Science*. 2019;11(1):31-46. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n1p31>
10. Sane Y., Farkhour K.E., Boulamta R., Sobeh M., Bouhssini M.E. Defense mechanisms of chickpea against chickpea pod borer *Helicoverpa armigera* and chickpea leafminer, *Liriomyza cicerina*. *ACS Omega*. 2025;10(30):587-605. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c01339>
11. Бухонова Ю.В., Михина Н.Г. Мониторинг вредителей и болезней зернобобовых культур. *Защита и карантин растений*. 2022;3:22-26. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_3_22 EDN: UMUOPT
Bukhonova Yu.V., Mikhina N.G. Monitoring of pests and diseases of leguminous crops. *Plant Protection and Quarantine*. 2022;3:22-26. (In Russ.) https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_3_22 EDN: UMUOPT
12. Коломыцева В.А., Черкашин Г.В. Эффективность новых инсектицидов в борьбе с хлопковой совкой в посевах зернобобовых культур. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017;4(66):88-90. EDN: ZGRXZX
Kolomytseva V.A., Cherkashin G.V. Efficacy of new insecticides against cotton bollworm in leguminous crops. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2017;4(66):88-90. (In Russ.) EDN: ZGRXZX
13. Fite T., Tefera T. The cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and Azuki bean beetle (*Callosobruchus chinensis*): major chickpea (*Cicer arietinum* L.) production challenges on smallholder farmers in Ethiopia. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2022;83:11. <https://doi.org/10.1186/s41936-022-00275-w>

14. Singla A., Singh R., Taggar G.K., Sujayanand G.K., Singh S. Role of host plant resistance in chickpea against *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Journal of the Entomological Research Society*. 2022;46(2):238-243. <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2022.00043.3>
15. Полиенко Е.А., Безуглова О.С., Гринько А.В., Лыхман В.А., Патрикеев Е.С. Повышение эффективности инсектицидов в посевах нута при использовании гуминовых веществ. *Земледелие*. 2020;8:42-47. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10808> EDN: FTTHRK
Polienko E.A., Bezuglova O.S., Grinko A.V., Lykman V.A., Patrikeev E.S. Increasing the efficacy of insecticides in chickpea crops by using humic substances. *Agriculture*. 2020;8:42-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10808> EDN: FTTHRK
16. Soltani A., Abda M.B., Amri M., Carapelli A., Jemaa J.M.B. Seasonal incidence of the leaf miner *Liriomyza cicerina* Rond (Diptera: Agromyzidae) in chickpea fields and effects of climatic parameters, chickpea variety, and planting date on the leaf miner infestation rate. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2021;5:58-68. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00198-4>
17. Soltani A., Yangui I., Hamdi S.H., Sahbani Z., Mesaoud C., Jemaa J.M.B. Secondary metabolites fluctuation caused by *Liriomyza cicerina* (Diptera: Agromyzidae) infestation in chickpea, faba bean and lentil crops. *International Journal of Tropical Insect Science*. 2022;42(2): 1105-1112. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00626-0>
18. Rehman S.A., Gul S., Parthiban M., Isha I., Sai Reddy M.S., Chitikineni A., Thudi M., Penmetsa R.V., Varshney R.K., Mir R.R. Genetic resources and genes/QTLs for gram pod borer (*Helicoverpa armigera* Hübner) resistance in chickpea from the Western Himalayas. *The Plant Genome*. 2024;17(3):20483. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20483>
19. Шутко А.П., Михно Л.А., Шутко В.Р., Загорулько А.А. Насекомые-вредители нута посевного в засушливой агроклиматической зоне Ставропольского края. *Труды Ставропольского отделения Русского энтомологического общества*. 2025;22:114-119. <https://doi.org/10.48612/FARC/3034-2392/013.22.2025>
Shutko A.P., Mikhno L.A., Shutko V.R., Zagorulko A.A. Insect pests of cultivated chickpea in the arid agroclimatic zone of the Stavropol Territory. *Proceedings of the Stavropol Branch of the Russian Entomological Society*. 2025;22:114-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.48612/FARC/3034-2392/013.22.2025>
20. Мухатова Ж.Н., Жужукин В.И., Беткалиева Ж.Н. Оценка сортообразцов нута (*Cicer arietinum* L.) к повреждению (*Bruchus pisorum* L.) и (*Liriomyza cicerina*). *Сборник статей I Национальной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета*. Саратов. 2023;1:183-190. EDN: RDHMRY
Mukhatova Zh.N., Zhuzhukin V.I., Betkaliyeva Zh.N. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties for resistance to damage by (*Bruchus pisorum* L.) and (*Liriomyza cicerina*). *Collection of Articles of the 1st National Scientific and Practical Conference Dedicated to the 110th Anniversary of Vavilov University*. Saratov. 2023;1:183-190. (In Russ.) EDN: RDHMRY
21. Mahmood M.T., Akhtar M., Ahmad M., Saleem M., Aziz A., Rasool I., Ali Z., Amin M. An update on biology, extent of damage and effective management strategies of chickpea pod borer (*Helicoverpa armigera*). *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2021;34(1):91-101. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.1.91.101>
22. Черкашин В.Н., Черкашин Г.В., Коломыцева В.А. Влияние повреждений хлопковой совки на структуру урожая кукурузы. *Аграрная наука*. 2021;344(1):85-89. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-85-89> EDN: IZZDQR
Cherkashin V.N., Cherkashin G.V., Kolomytseva V.A. The effect of cotton bollworm damage on corn yield structure. *Agrarian Science*. 2021;344(1):85-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-85-89> EDN: IZZDQR
23. Ченикалова Е.В., Коломыцева В.А. Хлопковая совка продвигается на север. Проблемы прогноза численности. *Защита и карантин растений*. 2021;2:31-33. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2021_2_31 EDN: GXIABH
Chenikalova E.V., Kolomytseva V.A. Cotton bollworm is moving north. Problems of population forecasting. *Plant Protection and Quarantine*. 2021;2:31-33. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2021_2_31 (In Russ.) EDN: GXIABH
24. Черкашин В.Н., Ченикалова Е.В., Черкашин Г.В., Коломыцева В.А. Хлопковая совка – опасный вредитель полевых культур. *Вестник АПК Ставрополя*. 2019;3(35):73-77. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-35-73-77> EDN: FPINVS

- Cherkashin V.N., Chenikalova E.V., Cherkashin G.V., Kolomytseva V.A. Cotton bollworm – a dangerous pest of field crops. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2019;3(35):73-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-35-73-77> EDN: FPINVS
25. Чистин М.И., Лихацкая С.Г., Еськов И.Д. Эффективность применения трихограммы для защиты кукурузы от хлопковой совки в Левобережье Саратовской области. *Аграрный научный журнал*. 2023;7:56-61. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp56-61> EDN: AUUEQA
Chistin M.I., Likhatskaya S.G., Eskov I.D. The effectiveness of using a trichogram to protect corn from cotton scoops in the Left bank of the Saratov region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(7):56-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp56-61> EDN: AUUEQA
26. El Bouhssini M., Mardini K., Malhotra R.S., Joubi A., Kagka N. Effects of planting date, varieties and insecticides on chickpea leaf miner (*Liriomyza cicerina* R.) infestation and the parasitoid *Opisus monilicornis* F. *Crop Protection*. 2008;27(6):915-919. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.11.006>
27. Černý M., Barták M., Kubík Š., Vála M. New records of Agromyzidae (Diptera) from Bulgaria. *Zootaxa*. 2022;5175(4):401-438. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5175.4.1>.
28. Morse J.G., Hoddle M.S. Invasion biology of thrips. *Annual review of entomology*. 2006;51:67-89. <https://doi.org/10.1146/annurev.Ento.51.110104.151044>.

Сведения об авторах

Чернов Александр Вадимович –

аспирант лаборатории защиты растений,
Северо-Кавказский федеральный научный центр,
Михайловск, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-1542-9733>

SPIN-код: 9604-0208

Chernoal.2000@mail.ru

Ченикалова Елена Владимировна –

доктор биологических наук, профессор, главный
научный сотрудник лаборатории защиты растений,
Северо-Кавказский федеральный научный центр,
Михайловск, Россия

<https://orcid.org/0009-0001-4626-5085>

SPIN-код: 6118-7722

entomolsgau@mail.ru

About the authors

Alexander V. Chernov –

Postgraduate Student, Plant Protection Laboratory,
North Caucasus Federal Scientific Center, Mikhailovsk,
Russia

<https://orcid.org/0009-0006-1542-9733>

Chernoal.2000@mail.ru

Elena V. Chenikalova –

Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher, Plant
Protection Laboratory, North Caucasus Federal
Scientific Center, Mikhailovsk, Russia

<https://orcid.org/0009-0001-4626-5085>

entomolsgau@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-101-111>

Определение пестицидов в подморе пчел с применением газовой хромато-масс-спектрометрии

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Алла Владимировна Новикова
E-mail: navbaa@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Халявин И.А., Екатерина С.О., Мурашкин М.Р., Новикова А.В. Определение пестицидов в подморе пчел с применением газовой хромато-масс-спектрометрии. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):101-111. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-101-111> EDN DFXZGK

ПОСТУПИЛА: 14.02.2026

ДОРАБОТАНА: 30.02.2026

ПРИНЯТА: 10.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Халявин И.А., Осина Е.С., Мурашкин М.Р., Новикова А.В.



И.А. Халявин , Е.С. Осина , М.Р. Мурашкин ,
А.В. Новикова ✉
ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Пестициды, применяемые в сельском хозяйстве, могут вызывать гибель пчел – важнейших опылителей и биоиндикаторов экологического состояния. В Российской Федерации отсутствует нормативная база по контролю остаточного содержания пестицидов в подморе пчел, что затрудняет объективную диагностику причин гибели пчелиных семей.

ЦЕЛЬ. Разработка и аттестация методики определения 22 пестицидов в подморе пчел методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС/МС) с использованием пробоподготовки по методу QuEChERS.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования выполнены в Испытательной центральной научно-методической ветеринарной лаборатории ФГБУ «ВНИИЗЖ» (ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Москва) в 2024–2025 гг. Проанализировано 15 образцов подмора пчел. Экстракцию и очистку проводили по методу QuEChERS с применением ацетонитрила, набора солей цитрата, сорбентов PSA и C18. Анализ выполняли на хромато-масс-спектрометре GCMS-TQ8050 (Shimadzu) с колонкой Rxi-5ms. Валидацию методики проводили по показателям линейности, чувствительности, степени извлечения и селективности.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Методика характеризуется линейностью калибровочных кривых с коэффициентом детерминации $R^2 > 0,98$ для всех аналитов. Пределы количественного определения (LOQ) составили 0,012–0,018, пределы обнаружения (LOD) – 0,0041–0,0062 мг/кг. Степень извлечения варьировала от 88 до 97 %. Селективность метода подтверждена отсутствием мешающих хроматографических пиков на временах удерживания целевых соединений. Полученные значения соответствуют критериям приемлемости для мультиэстаточных методов анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанная методика позволяет надежно идентифицировать и количественно определять 22 пестицида в подморе пчел и может быть рекомендована для лабораторной практики с целью установления причин острых и хронических отравлений пчелиных семей, а также для проведения мониторинговых исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пчелиный подмор, пестициды, газовая хроматография-масс-спектрометрия, валидация метода, QuEChERS, анализ, обработка образцов

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-101-111>

Determination of pesticides in bee mortality using gas chromatography-mass spectrometry

CORRESPONDENCE:

Alla V. Novikova

E-mail: navbaa@mail.ru

FOR CITATION:

Khalyavin I.A., Osinova E.S., Murashkin M.R., Novikova A.V. Determination of pesticides in bee mortality using gas chromatography-mass spectrometry. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*.

2026;16(1):101-111. (In Russ.)

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-101-111>

RECEIVED: 14.02.2026

REVISED: 30.02.2026

ACCEPTED: 10.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Khalyavin I.A., Osinova E.S., Murashkin M.R., Novikova A.V.



I.A. Khalyavin , E.S. Osinova , M.R. Murashkin ,
A.V. Novikova ✉

Research Center for Scientific and Medical Research of Veterinary Medicine, Federal Center for Animal Health (ARRIAH), Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Pesticides used in agriculture can cause the death of bees, which are crucial pollinators and bioindicators of ecological status. In Russia, there is no regulatory framework for the control of residual pesticide content in dead bees, complicating the objective diagnosis of causes of honey bee colony mortality.

AIM. To develop and validate a method for the determination of 22 pesticides in dead bees using gas chromatography–tandem mass spectrometry (GC-MS/MS) with QuEChERS-based sample preparation.

MATERIALS AND METHODS. The research was conducted at the Testing Central Scientific Methodological Veterinary Laboratory of FGBI “ARRIAH” (Moscow) in 2024–2025. A total of 15 samples of dead bees were analyzed. Extraction and purification were performed using the QuEChERS method with acetonitrile, a citrate salt mixture, and PSA and C18 sorbents. Analysis was carried out on a GCMS-TQ8050 (Shimadzu) chromatograph–mass spectrometer equipped with an Rxi-5ms column. Method validation was conducted based on linearity, sensitivity, recovery, and selectivity.

RESULTS. The method demonstrated linearity of calibration curves with coefficients of determination $R^2 > 0.98$ for all analytes. Limits of quantification (LOQ) ranged from 0.012 to 0.018 mg/kg, and limits of detection (LOD) ranged from 0.0041 to 0.0062 mg/kg. Recovery rates varied from 88 to 97%. Selectivity was confirmed by the absence of interfering chromatographic peaks at the retention times of the target compounds. The obtained values meet the acceptability criteria for multi-residue analytical methods.

CONCLUSION. The developed method enables reliable identification and quantification of 22 pesticides in dead bees and can be recommended for use in laboratory practice to determine the causes of acute and chronic poisoning of honey bee colonies, as well as for conducting monitoring studies.

KEYWORDS: dead bees, pesticides, gas chromatography–tandem mass spectrometry, method validation, QuEChERS, analyte, sample preparation

ВВЕДЕНИЕ

Пестициды являются одним из важнейших открытий, которое оказало влияние на развитие сельскохозяйственной отрасли за счет предотвращения роста заболеваний целевых культур, увеличения производства продуктов питания и кормовой базы для сельскохозяйственных животных, что оказало благоприятное влияние на валовой сбор урожая и экономическую безопасность государства. Однако, как и любые химические средства, пестициды обладают рядом негативных характеристик, которые при несоблюдении регламентов их применения могут оказывать нежелательное воздействие на биологические системы, а также накапливаться в сельскохозяйственной продукции и тем самым загрязнять её [1; 2]. Одним из наиболее значимых негативных эффектов является их способность аккумулироваться в почве, водных экосистемах и продуктах питания, а также мигрировать по трофическим цепям, увеличивая свою концентрацию на каждом последующем уровне. Это явление может привести к значительным изменениям в экосистемных балансах и потенциально негативно сказаться на здоровье человека и других организмов [3–5].

Термин «пестициды» включает в себя несколько классов химических соединений, один из которых – это инсектициды, применяющиеся для борьбы с насекомыми в основном у плодовых, декоративных деревьев, а также и в растениеводстве, результат которых оценивается как незаменимый агротехнологический процесс, обеспечивающий параметры роста и продуктивности растений [6–8]. Однако их использование приводит к гибели нецелевых видов насекомых, таких как пчелы, с которыми сталкиваются ежегодно пчеловоды [9; 10]. Несмотря на принятый ряд мер, в том числе и законодательных, пчеловоды продолжают сталкиваться с мором пчелиных семей. Специалисты выделяют две основные причины: болезни пчел различной этиологии и отравления химикатами в период аграрных работ.

Основными видами отравления насекомых являются контактное, пероральное и ингаляционное отравление. По клиническим проявлениям выделяют течение заболевания/отравления в острой и хронической формах. При острой форме пчелы становятся малоподвижными, теряют ориентацию в пространстве, ползают по дну улья и земле, могут проявлять агрессию и впоследствии погибают. При хронической форме пчелы употребляют с водой и кормом сублетальные дозы пестицида, что приводит к ослаблению и заражению всей

семьи, что в итоге отражается на качестве выпускаемого продукта, здоровье, приводит к снижению продолжительности жизни пчел, а также существенно наносит экономический ущерб пчеловодству [11].

Пчелы представляют интерес не только в качестве объектов биомониторинга, но и как важное звено агропромышленного комплекса, поскольку они выступают производителями ценных продуктов питания и лекарственных средств, а также участвуют в опылении сельскохозяйственных растений [12]. Следовательно, мониторинг мора пчелиных семей является крайне важной задачей. Сложность в мониторинге представляет тот факт, что отравление пестицидами часто не имеет явной клинической картины, а установить точные причины мора пчел без специальных аналитических (методов) методик невозможно. В связи с этим возникает потребность в разработке и внедрении в практику лабораторных методик количественного определения содержания пестицидов на широкий их перечень в подморе пчел [12–14].

Существующие методики анализа подмора пчёл ориентированы на ограниченный перечень действующих веществ и не учитывают всю номенклатуру пестицидов, применяемых в современном сельском хозяйстве [15]. Данное ограничение создаёт научный пробел: высока вероятность, что случаи отравления пчел соединениями, не входящими в стандартные схемы анализа, остаются невыявленными, что искажает реальную картину гибели пчел.

Цель работы – разработка и аттестация методики измерений 22 пестицидов в подморе пчел хромато-масс-спектрометрическим методом для установления причин гибели пчелиных семей при отравлениях пестицидами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Исследование выполняли в Испытательной центральной научно-методической ветеринарной лаборатории ФГБУ «ВНИИЗЖ» (ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ») в период с 2024 по 2025 г. В качестве объектов исследования использовались образцы подмора пчел. Количество – 15 образцов, которые поступали на исследования в химикотоксикологический отдел лаборатории. Природа происхождения и география обитания пчел нам не известна, так как мы работали с зашифрованными пробами, зная только матрицу – подмор пчел.

Оборудование

Аналитические исследования проводились с использованием системы газовой хроматографии (Shimadzu, Япония), сопряженной с tandemным масс-спектрометром с тройным квадруполом GCMS-TQ8050. Разделение компонентов осуществлялось на хроматографической колонке Rxi-5ms (30м*0,25мм*0,25мкм (фаза: 5 %-фенил 95 %-метилполисилоксан) Restek, США). Вспомогательное оборудование: аналитические весы Sartorius AC 121S (Sartorius, Германия); лабораторная центрифуга SL40R (Thermo Scientific, США); шейкер MultiReax (Heidolph, Германия), система упаривания в замкнутом контуре TurboVar II (Caliper Life Sciences, США).

Реактивы

Для проведения анализа использовался органический растворитель ацетонитрил. Использовались наборы для экстракции пестицидов методом QuEChERS (Lab-Standard® QuE-Lab EN 15662:2018 LLe Citrate). Метод QuEChERS, разработанный в США, является стандартом для определения пестицидов. Данный метод признан быстрым и простым методом выявления сразу нескольких видов аналитов, основанным на ацетонитрильной экстракции/разделении и дисперсионной твердофазной экстракции для определения остатков пестицидов в продуктах [16]. В качестве стандартного образца применяли аналитические стандарты (Lab-Standard, Италия), аллетрин, бифлутамид, бромфосэтиловый, диклоцимет, димепипарат, зоксамид, мекарбам, метидатион, метопрен, пропафос, процимидон, транс-хлордан, триадименол, трифлумизол, феноксикарб, фентоат, феримзон, фипронил, фуралаксил, хиналфос, хинометионат, хлорбензид.

Приготовление градуировочных растворов

Матричные градуировочные растворы готовили из «чистых» проб массой $2,00 \pm 0,05$ г, не содержащих остаточных количеств определяемых аналитов, в которые добавляли смесь стандартных образцов пестицидов 20, 35, 50, 100, 150, 200 мкг/кг соответственно. Для построения градуировочного графика использовали матричные градуировочные растворы, приготовленные из образцов, не содержащих целевые аналитические соединения. Калибровочные кривые строили путем линейной аппроксимации зависимости концентрации аналита (по оси X) от отношения площади пика аналита без принудительного прохождения через ноль. Линейность калибровочных кривых оценивалась путем расчета коэффициента детерминации (R^2) и обратного расчета концентраций калибровочных стандартов.

Первичная подготовка проб

Экстракция и очистка образцов

Пробы подмора пчел перед проведением анализа тщательно гомогенизировали с помощью лабораторной мельницы или другого измельчающего оборудования. Пробоподготовку для экстракции пестицидов проводили методом QuEChERS, проиллюстрированным на рисунке 1.

Условия хроматографического анализа и детектирования

В центрифужные пробирки отбирали навески измельченного образца по $2,00 \pm 0,05$ г и проводили пробоподготовку двух параллельных проб в условиях повторяемости для каждого образца с последующим добавлением деионизирующей воды в объеме 10 см^3 , после чего перемешивали.

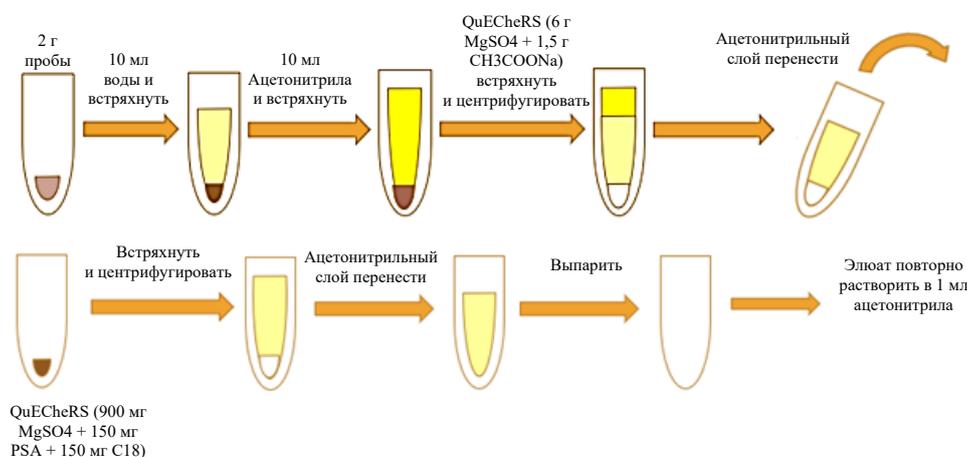


Рисунок 1

Схема этапов пробоподготовки образцов подмора пчел для определения пестицидов

Figure 1

Steps for pesticide determination of sample preparation of bee mortality

Затем добавляли 10 см³ ацетонитрила (для матричной градуировки 9 см³, плотно закрывали пробирку и помещали в вибрационный шейкер на 5 мин). Далее в пробирку добавляли содержимое пакета набора для экстракции, содержащего 4,0±0,3 % г сульфата магния безводного, 1,0 г хлорида натрия, 1,0 г натрия лимоннокислого тризамещенного двойного гидрата и 0,5 г натрия лимоннокислого двузамещенного полуторного гидрата. Пробирку помещали в ротационный шейкер на 15 мин, после чего центрифугировали при 4 °С в течение 10 мин с частотой вращения 4500 об/мин. После центрифугирования отбирали 6 мл ацетонитрильного экстракта и переносили его в пробирку объемом 15 мл, содержащую 900±0,5 % мг сульфата магния безводного, 150±0,8 % мг сорбента Bondesil-PSA, 150±0,8 % мг сорбента C18. Пробирку помещали на ротационный шейкер на 5 мин, а затем центрифугировали при 4 °С в течение 10 мин с частотой вращения 4500 об/мин. По окончании центрифугирования отбирали 4 мл экстракта и упаривали экстракт на устройстве для упаривания растворителей в токе азота с нагревательным модулем при температуре 30 °С досуха. Полученный сухой остаток перерастворяли в ацетонитриле, фильтруя через шприцевой фильтр в виалу для проведения хроматографического анализа.

Детектирование пиков проводили методом «регистрации множественных реакций» (Monitoring Multiple Reactions, MRM). Для каждого пестицида изме-

ряли сигнал не менее чем двух характеристичных переходов MRM, наиболее интенсивный из которых выбирался в качестве расчетного (по его пику на хроматограмме проводят расчёт концентрации аналита), остальные – в качестве подтверждающих для качественной идентификации аналита.

Градуировочную характеристику строили в координатах зависимости площади пика определяемого соединения от концентрации аналита. При построении градуировочной характеристики использовали линейную регрессию. Коэффициент корреляции должен быть не менее 0,98. Построение градуировочной характеристики проводили при каждой серии измерений.

Метод идентификации пестицидов основывается на газовой хроматографии в сочетании с tandemной масс-спектрометрией (ГХ-МС/МС), реализованной в режиме MRM. Дочерние ионы вводили в масс-спектрометр стандартные индивидуальные растворы пестицидов с концентрацией 100,0 нг/мл для установления ионов-предшественников. Массы иона-предшественника, дочерних ионов, а также параметры режима программного обеспечения MRM представлены в таблице 2.

На рисунке 2 показана масс-хроматограмма стандартного образца смеси 22 пестицидов с концентрацией 100,0 нг/мл, полученная при описанных условиях анализа.

Таблица 1

Условия хроматографического разделения и параметры регистрации масс-спектрометрического детектора

Table 1

Conditions of chromatographic separation and registration parameters of the mass spectrometric detector

Условия газохроматографического разделения	
Режим инжектора	Без деления потока
Задержка деления потока	2 минуты
Температура инжектора	250 °С
Инжектируемый объем	2 мкл
Задержка включения филаментов	1,5 минуты
Температурный режим колонки	Нагрев до 105 °С в течение 3 мин; нагрев со скоростью 10 °С/мин до 130 °С; нагрев со скоростью 10 °С/мин до 200 °С; нагрев со скоростью 15 °С/мин до 290 °С с задержкой 3 мин
Скорость потока газа-носителя (гелия) через колонку	1,4 мл/мин
Условия масс-спектрометрического детектирования	
Температура интерфейса	280 °С
Температура ионного источника	230 °С
Устанавливают программу работы масс-спектрометра для селективного детектирования характеристических ионов действующих веществ пестицидов с переходами	

Таблица 2
Параметры в режиме мониторинга множественных реакций

Table 2
Parameters in mode monitoring multiple reactions (MRM)

№ п/п	Аналит	Время удерживания, мин	Ион-предшественник, масса/заряд	Энергия соударения, эВ	Ион-продукт, масса/заряд
1	Аллетрин	5,19	136,10/186,10	13/30	93,10/109,10
2	Бефлубутамид	7,6	368,90/123,10	23/29	214,90/81,10
3	Бромфосэтиловый	7,6	329,00/366,90	16/11	159,10/212,90
4	Диклоцимет	8,2	221,10/329,00	22/10	155,00/131,10
5	Димепипарат	9,6	91,00/277,10	11/14	65,00/221,10
6	Зоксамид	10,2	145,10/176,00	8/17	112,10/91,00
7	Мекарбам	10,5	146,10/119,10	27/22	91,00/91,10
8	Метидатион	11,3	128,10/146,10	17/20	65,00/118,00
9	Метопрен	11,6	273,90/168,10	25/6	246,00/70,00
10	Пропафос	11,9	95,00/273,90	13/16	67,00/125,00
11	Процимидон	11,9	187,00/242,00	20/10	123,00/95,00
12	Транс-хлордан	12,4	111,10/187,00	20/13	83,00/159,00
13	Триадименол	12,4	285,00/111,10	22/13	96,00/55,00
14	Трифлумизол	13,8	125,00/283,00	7/14	99,00/96,00
15	Феноксикарб	15,2	254,10/125,00	21/20	137,10/89,00
16	Фентоат	16,3	278,10/239,10	11/14	73,00/107,00
17	Феримзон	15,8	206,00/206,10	15/24	148,00/179,10
18	Фипронил	8	372,80/234,00	10/15	263,90/206,00
19	Фуралаксил	13,53	145,00/374,80	12/17	58,00/265,90
20	Хиналфос	5,19	220,10/145,00	13/20	125,10/85,00
21	Хинометионат	12,2	221,10/220,10	8/25	155,00/140,10
22	Хлорбензид	17,1	302,90/277,10	15/21	284,90/221,10

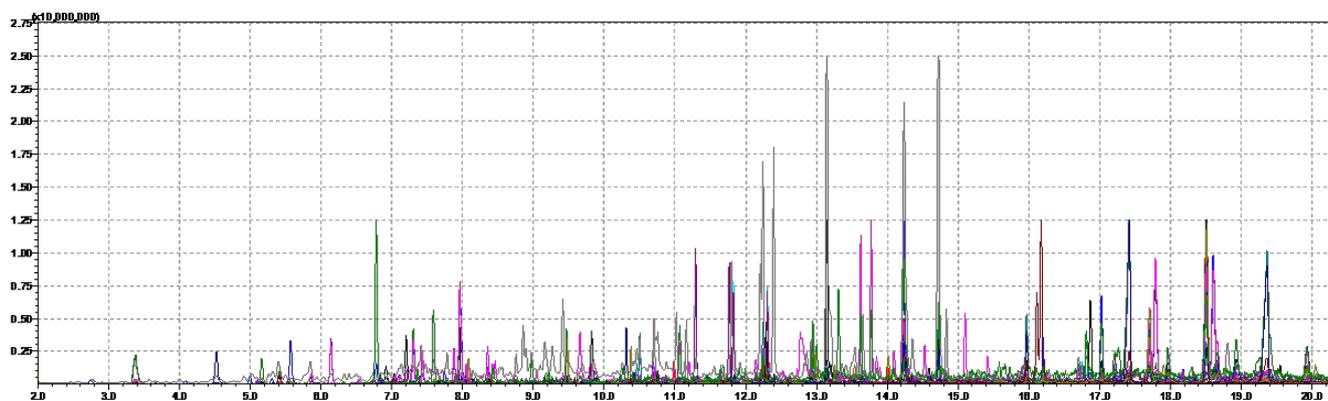


Рисунок 2
Хроматограмма 22 пестицидов 100 нг/мл с колонкой Restek Rxi-5ms

Figure 2
Chromatogram of 22 pesticides 100 ng/ml with a column Restek Rxi-5ms

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Апробация представленной методики проводилась с целью минимизации влияния матричных эффектов и увеличения чувствительности метода. Исследование состояло из нескольких этапов, направленных на определение точности, воспроизводимости и пригодности методики для практических целей. Определение зависимости сигнала от концентрации пестицидов проводилось на основании построения калибровочной кривой. Для подтверждения селективности метода проводилось сравнение хроматограмм и масс-спектров. Исследованы чистые стандарты в растворителях, стандарты и образцы подмора пчел, не содержащие анализируемых веществ.

Результаты показали отсутствие хроматографических интерференций со стороны компонентов матрицы подмора пчел в моменте удерживания целевых соединений. Масс-спектры пестицидов в растворителях

и экстрактах матрицы оказались практически идентичными. Сопоставление относительных интенсивностей ключевых ионов для каждого пестицида в обоих типах стандартов выявило высокую степень совпадения (в пределах $\pm 15\%$), что значительно превосходит установленный критерий допустимого отклонения ($\pm 30\%$). Данный факт свидетельствует о высокой надежности идентификации и отсутствии значимого влияния матричных компонентов на масс-спектральное подтверждение аналитов, что критически важно для исключения ложноположительных результатов.

Предварительно было установлено, что во всех используемых растворителях и анализируемых образцах отсутствовали хроматографические пики, мешающие определению пестицидов. Результаты сравнения, представленные в таблице 3, свидетельствуют о том, что разработанный метод обеспечивает удовлетворительную степень выделения большинства соединений и необходимую очистку экстрактов.

Таблица 3

Аналитические характеристики метода определения содержания 22 пестицидов в подморе пчел

Table 3

Analytical characteristics of the proposed method for determining the content of 22 pesticides in bee mortality

Аналит	Линейность R^2	Степень выделения, %	LOD*, мкг/кг	LOQ**, мкг/кг
Аллетрин	0,990	94	0,0055	0,0165
Бефлубутамид	0,996	97	0,0048	0,0144
Бромфосэтиловый	0,978	89	0,0045	0,0135
Диклоцимет	0,985	93	0,0044	0,0132
Димепипарат	0,995	92	0,0048	0,0144
Зоксамид	0,992	94	0,0046	0,0138
Мекарбам	0,987	95	0,0052	0,0156
Метидатион	0,995	91	0,0061	0,0183
Метопрен	0,992	96	0,0047	0,0141
Пропафос	0,983	92	0,0044	0,0132
Процимидон	0,987	94	0,0062	0,0186
Транс-хлордан	0,981	94	0,0062	0,0186
Триадименол	0,993	93	0,0043	0,0129
Трифлумизол	0,997	93	0,0047	0,0141
Феноксикарб	0,985	90	0,0049	0,0147
Фентоат	0,978	91	0,0061	0,0183
Феримзон	0,999	98	0,0043	0,0129
Фипронил	0,998	91	0,0041	0,0123
Фуралаксил	0,986	88	0,0056	0,0168
Хиналфос	0,982	96	0,0055	0,0165
Хинометионат	0,993	88	0,0053	0,0159
Хлорбензид	0,996	93	0,0054	0,0162

*Предел обнаружения аналита

** Предел количественного определения аналита

В таблице 3 представлена линейность $R^2 > 0,98$. Полученные коэффициенты детерминации (R^2) для всех анализов превышали 0,98, что подтверждает хорошую линейность зависимости сигнала от концентрации во всем исследуемом диапазоне. Отклонение обратных расчетов концентраций от истинных значений не превышало 20 %. Высокие показатели извлечения (97–98 %) отмечены для бифлутамида и феримзона, что свидетельствует об оптимальности условий экстракции для данных веществ. Несколько более низкие значения для фуракса и хинометионата (88 %) могут быть связаны с их частичной сорбцией на этапе очистки или особенностями физико-химических свойств, однако полученные значения полностью соответствуют критериям приемлемости для мультиэlementных методов анализа (70–120 %) [17; 18]. Разработанный аналитический метод продемонстрировал высокую чувствительность, что подтверждается определенными пределами обнаружения (Limit of Detection, LOD) и количественного определения (Limit of Quantification, LOQ). Эти пределы были установлены путем сравнения шума в пустых образцах с сигналами пестицидов при низких концентрациях, используя соотношение сигнал/шум (3x для LOD и 10x для LOQ). Полученные значения LOD-LOQ (0,0041–0,0062 и 0,012–0,018 мкг/кг соответственно).

В работе Л. А. Осинцевой [19] приводится исследование сублетального отравления фипронилом. Токсичное воздействие в отношении методической пчелы составило 0,013 мкг на пчелу, в то время как разработанная нами методика на определение 22 анализов показывает значения LOQ значительно ниже максимально допустимых уровней (МДУ) для подобных соединений в продукции пчеловодства, что делает методику пригодной для контроля даже следовых количеств пестицидов, способных вызвать хроническую интоксикацию пчелиных семей.

В работе Роика [20] и Ермилова [21] степень извлечения для ряда фосфорорганических пестицидов составляла 85–95 %, что сопоставимо с нашими результатами. Преимуществом разработанной методики является расширенный перечень одновременно определяемых соединений (22 вещества) и сокращенное время анализа (менее 21 мин), что повышает производительность лабораторных исследований по сравнению с традиционными подходами.

Полученные результаты согласуются с исследованием других авторов, применявших метод QuEChERS для анализа пестицидов в сельскохозяйственных объектах [22]. Преимуществом разработанной методики является расширенный перечень одновременно определяемых соединений (22 аналита) и сокращенное время анализа (менее 21 мин), что повышает производительность лабораторных исследований.

Этапы апробации подтвердили, что разработанная методика подходит для регулярного применения в лабораторных исследованиях и мониторинговых программах контроля содержания пестицидов в подморе пчёл. Сочетание высокой чувствительности, селективности и удовлетворительных показателей извлечения позволяет рекомендовать методику для установления причин как острых, так и хронических отравлений пчелиных семей. Установлено, что наилучшие результаты достигаются при указанных в таблице 1 условиях. Исследования охватывали широкий диапазон концентраций от низких (<20 мкг/кг) до высоких уровней (до 200 мкг/кг).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана и валидирована методика определения 22 пестицидов в подморе пчел методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС/МС) с пробоподготовкой по методу QuEChERS. Установлено, что методика характеризуется высокой чувствительностью (пределы количественного определения 0,012–0,018 мкг/кг), хорошей линейностью ($R^2 > 0,98$), приемлемой степенью извлечения (88–97 %) и селективностью, что соответствует современным критериям валидации. Практическая значимость работы заключается в возможности применения методики в лабораторной практике для установления причин гибели пчелиных семей при острых и хронических отравлениях пестицидами, а также для мониторинговых исследований. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением перечня определяемых соединений и адаптацией методики для других объектов пчеловодства.

Вклад авторов

И. А. Халявин: разработка концепции, курирование данных, разработка концепции, формирование цели, научное руководство, разработка методологии, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Е. С. Осина: разработка методологии, выполнение экспериментов, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи.

М. Р. Мурашкин: выполнение экспериментов, проверка воспроизводимости результатов, визуализация, написание черновика рукописи.

А. В. Новикова: проведение критического анализа рукописи, курирование данных, формальный анализ, визуализация, написание черновика рукописи.

Contributions

I. A. Khalyavin: concept development, data curation, concept development, goal formulation, scientific supervision, methodology development, writing-review & editing.

E. S. Osinova: project administration, methodology, validation, visualization, writing-original draft.

M. R. Murashkin: methodology, visualization, writing-original draft.

A. V. Novikova: conducting critical review of the manuscript, data curation, formal analysis, visualization, writing-original draft.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Jeffrey R. Applegate Jr. DVM, DACZM, Olivia A. Petritz DVM, DACZM. Common and Emerging Infectious Diseases of Honeybees (*Apis mellifera*). *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. 2020;2:285-297. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2020.01.001>
2. Туктаров В.Р., Андреева А.В., Ильясова З.З. Применение водных экстрактов и спиртовых настоек растительного происхождения в пчеловодстве. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2022;249(1):214-217. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_214
Tuktarov V.R., Andreeva A.V., Ilyasova Z.Z. Application of water extracts and alcoholic tinks of vegetable origin in beekeeping. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. 2022;249(1):214-217. (In Russ.) https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_214
3. Пашаян С.А. Экономический ущерб в пчеловодстве от применения гербицидов «зета» и «имквант 0,5/0,5». *АПК: инновационные технологии*. 2023;60:25-29. https://doi.org/10.35524/2687-0436_2023_01_25
Pashayan S.A. Damage to beekeeping due to the application of herbicides “Zeta” and “Imkvant 0.5/0.5”. *AIC: Innovative Technologies*. 2023;60:25-29. (In Russ.) https://doi.org/10.35524/2687-0436_2023_01_25
4. Kratschmer S., Zettel H., Ockermüller E. et al. Threat Ahead? An Experts’ Opinion on the Need for Red Lists of Bees to Mitigate Accelerating Extinction Risks – The Case of Austria. *Bee World*. 2021;98(3):74-77. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2021.1940734>
5. Сатыбаев Б.Г. Экологические проблемы пчеловодства в Западно-Казахстанской области. *Наука и образование*. 2022;1(67):252-259. EDN QZOJQI.
Satybaev B.G. Environmental problems of beekeeping in the west Kazakhstan region. *Science and Education*. 2022;1(67):252-259. (In Russ.) EDN QZOJQI.
6. Айсанов Т.С., Романенко Е.С., Селиванова М.В. и др. Параметры роста и продуктивности летних и зимних сортов яблони. *Аграрная Россия*. 2019;(2):17-21. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-2-17-21>
Aysanov T.S., Romanenko E.S., Selivanova M.V. et al. Parameters of growth and productivity of summer and winter apple varieties. *Agrarian Russia*. 2019;(2):17-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-2-17-21>
7. Smirnov M.A., Bartenev I.I., Nechaeva O.M. Prospects of Using Chemical and Physical Methods of Raw-Material Protection in Sugar Beet Seed-Growing. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49(5):552-557. <https://doi.org/10.3103/s1068367423050129>

8. Дворянкин Е.А., Бартенев И.И. Эффективные способы борьбы с сорняками на семенниках сахарной свеклы. *Сахарная свекла*. 2024;(6):15-18. <https://doi.org/10.25802/SB.2024.27.42.003>
Dvoryankin E.A., Bartenev I.I. Effective methods of weed control in sugar beet crops. *Sugar beet*. 2024;(6):15-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.25802/SB.2024.27.42.003>
9. Калинникова Т.Б., Гатиятуллина А.Ф., Егорова А.В. Токсическое действие пестицидов на пчел: обзор. *Российский журнал прикладной экологии*. 2021;№ 3(27):50-57.
Kalinnikova T.B., Gatiyatullina A.F., Egorova A.V. Toxic effects of pesticides on honey bees: review. *Rossiiskij zurnal prikladnoj ekologii*. 2021;№ 3(27):50-57. (In Russ.)
10. Авраменко А.С., Миронова А.А., Авраменко М.В. Диагностика инфекционных заболеваний пчел. *Ветеринария Северного Кавказа*. 2024;9:131-137. <https://doi.org/10.24412/cl-37120-2024-9-131-137>
Avramenko A.S., Mironova A.A., Avramenko M.V. Diagnostics of infectious diseases of bees. *Veterinary medicine of the North Caucasus*. 2024;9:131-137. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/cl-37120-2024-9-131-137>
11. Delso N.S., Mędrzycki P., Sgolastra F. et al. Apitox – The COLOSS Task Force to Investigate the Impact of Pesticides on Bees. *Bee World*. 2022;99(1):32-34. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2021.2016291>
12. Rui C., Vincent B., Thomas P. et al. Bee pollination outperforms pesticides for oilseed crop production and profitability. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*. 2019;286:1550-1550. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1550>
13. Słowik-Borowiec M., Baryła N., Kubis H. Determination of pesticides, antibiotics, PAHs, PCBs, and plasticizers in honeybees, honey, and other bee products – modified QuEChERS method. Method review for 2018–2024. *Food Chemistry*. 2026;504:147864.
14. Shubina E.G., Novikova A.V., Khalyavin I.A. Creation and experience of using a multi-method for controlling pesticides in grain on the territory of the Russian Federation. *International Conference on Advance in Energy, Ecology and Agriculture (AEEA2024)*. KHUJAND, 24-26 June 2024. KHUJAND, Tajikistan, EDP Sciences, 2024;1048. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412601048> EDN EIOTRR
15. Tong L., Nieh J.C., Tosi S. Combined nutritional stress and a new systemic pesticide (flupyradifurone, Sivanto^(R)) reduce bee survival, food consumption, flight success, and thermoregulation. *Chemosphere*. 2019;237:124408. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124408>
16. Veiga-del-Bano J.M. et al. Overview of the evolution and trends of the QuEChERS sample preparation procedure. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2024;262(1):22. <https://doi.org/10.1007/s44169-024-00073-1>
17. Margaoan R., Papa G., Nicolescu A. et al. Environmental pollution effect on honey bees and their derived products: a comprehensive analysis. *Emerging Chemical Pollution of the Planet*. 2025;32:10370-10391. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33754-4>
18. Осинцева Л. А. Состояние популяций медоносных пчёл *Apis mellifera* L. при росте пестицидной нагрузки в агроценозах. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023;4(69):253-271. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-69-4-253-271>
Osintseva L.A. The state of populations of honey bees *Apis mellifera* L. with an increase in the pesticide load in agro- noses. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023;(4):253-271. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-69-4-253-271>
19. Роик Б.О., Ермилов И.В. Определение пестицидов методом газовой хроматографии в подморе медоносных пчел после летальной интоксикации. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2019;3(43):69-78. <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2019-10041>
Roik B.O., Ermilov I.V. Determination of pesticides by gas chromatography in the corpses of honey bees after lethal intoxications. *Actual Questions of Veterinary Biology*. 2019;3(43):69-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2019-10041>
20. Iwasaki J.M., Hogendoorn K., Iwasaki J.M. Non-insecticide pesticide impacts on bees: A review of methods and reported outcomes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2021;314:107423. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107423>
21. Balsebre A., Báez M.E., Martínez J. et al. Matrix solid-phase dispersion associated to gas chromatography for the assessment in honey bee of a group of pesticides of concern in the apicultural field. *Journal of Chromatography A*. 2018;1567:47-54. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.06.062>

22. Śmiełowska M., Vilčiauskis A., Dzingelevičius N. et al. Solid-Phase Microextraction (SPME) for Food Safety: Recent Innovations in Monitoring Anthropogenic Endocrine Disruptors. *Reda Kubiliūtė*. 2026; 56. <https://doi.org/10.1080/10408347.2026.2628134>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Халявин Илья Александрович –

младший научный сотрудник
химико-токсикологического отдела,
ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ», Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-6656-7515>

SPIN-код: 6174-6305

raiderpetrovich@mail.ru

Осина Екатерина Сергеевна –

младший научный сотрудник
химико-токсикологического отдела,
ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ», Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4088-6822>

SPIN-код: 9063-6384

osinova_kat@mail.ru

Мурашкин Михаил Ростиславович –

ветеринарный врач химико-токсикологического
отдела, ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ», Москва, Россия

<https://orcid.org/0009-0004-4049-2588>

SPIN-код: 5472-7047

1mrmur2000@yandex.ru

Новикова Алла Владимировна –

кандидат сельскохозяйственных наук, младший
научный сотрудник химико-токсикологического
отдела, ИЦНМВЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ», Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-5992-8565>

SPIN-код: 7879-1590

navbaa@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Ilya A. Khalyavin –

Junior Researcher, Research Center for Scientific
and Medical Research of Veterinary Medicine, Federal
Center for Animal Health (ARRIAH), Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-6656-7515>

raiderpetrovich@mail.ru

Ekaterina S. Osinova –

Junior Researcher, Chemical Toxicology Department,
Research Center for Scientific and Medical Research
of Veterinary Medicine, Federal Center for Animal
Health (ARRIAH), Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4088-6822>

osinova_kat@mail.ru

Michael R. Murashkin –

Veterinarian, Chemical Toxicology Department,
Research Center for Scientific and Medical Research
of Veterinary Medicine, Federal Center for Animal
Health (ARRIAH), Moscow, Russia

<https://orcid.org/0009-0004-4049-2588>

1mrmur2000@yandex.ru

Alla V. Novikova –

Cand. Sci. (Agric.), Junior Researcher, Chemical
Toxicology Department, Research Center for Scientific
and Medical Research of Veterinary Medicine, Federal
Center for Animal Health (ARRIAH), Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5992-8565>

navbaa@mail.ru

Аграрный вестник Северного Кавказа / Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Журнал «Вестник АПК Ставрополя / Bulletin of Agro-industrial complex of Stavropol Region»
перерегистрирован в «Аграрный вестник Северного Кавказа / Agrarian Bulletin of the North Caucasus»
в связи с изменением названия СМИ.

ISSN 2949-4796

Издатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.

Публикуется в авторской редакции

Подписано в печать 27.03.2026. Дата выхода в свет 31.03.2026.
Формат 60x84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура «Verdana». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 13,02. Тираж 300 экз. Заказ № 136.

Отпечатано в типографии ИПК СтГАУ «АГРУС», г. Ставрополь, ул. Пушкина, 15.

СВОБОДНАЯ ЦЕНА



www.vapk26.ru
vapk@stgau.ru