



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2025 Том 20 № 3

Сортовая селекция — отбор и закрепление хозяйственно ценных признаков

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77–61171 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Главный редактор

Ватников Ю.А., д-р вет. наук,
проф., директор департамента
ветеринарной медицины АТИ,
РУДН, Москва, Российская
Федерация
E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Пакина Е.Н., д-р биол. наук,
директор Агробiotехнологического
департамента АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: pakina-en@rudn.ru

Ответственный секретарь

Куликов Е.В., канд. биол. наук,
доц. департамента ветеринарной
медицины АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Азизи С., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Астарханова Т.С., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Валентини Р., д-р биол. наук, проф., лауреат Нобелевской премии мира (2007), Университет Тушини, Витербо, Италия
Васильев А.А., д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Гинс М.С., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ
Довлетярова Э.А., д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Долженко В.И., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ВНИИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, РФ
Донник И.М., д-р биол. наук, проф., академик РАН, Российская академия наук, Москва, РФ
Дубенок Н.Н., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Дускаев Г.К., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, Оренбург, РФ
Егоров И.А., д-р биол. наук, академик РАН, проф., ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Сергиев Посад, РФ
Еланский С.Н., д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ
Забережный А.Д., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФГБНУ ВНИТИБП, Московская обл., РФ
Завалин А.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ
Заргар М., канд. с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ
Игнатов А.Н., д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Ковео Д., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Салоники, Греция
Котцаев А.Г., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., КубГАУ, Краснодар, РФ
Котарев В.И., д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВНИВИПФит», Воронеж, РФ
Кузяков Я.В., д-р биол. наук, проф., Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Геттинген, Германия
Ленченко Е.М., д-р вет. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГУП», Москва, РФ
Мохаммади-Неджад Г., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Никитченко Д.В., д-р биол. наук, проф., ОМПК, Москва, РФ
Новиков А.Е., д-р тех. наук, доц., ВолГТУ, Волгоград, РФ
Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, ВолГАУ, Волгоград, РФ
Пивоваров В.Ф., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская обл., РФ
Пименов Н.В., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Плескачев Ю.Н., д-р с.-х. наук, проф., ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., РФ
Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Соловьев А.А., д-р биол. наук, проф. РАН, проф., ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, РФ
Сычев В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ
Ткачев А.В., д-р с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ
Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуж. деятель науки и техники РФ, академик РАН, МГУП, Москва, РФ
Юлдашбаев Ю.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Юсефи М., канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

**Вестник Российского университета дружбы народов.
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО**

ISSN 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

4 выпуска в год (ежеквартально)

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

Цели и тематика. Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследования в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарно-санитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки, биологические науки), 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки), 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки, биологические науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>

Редактор *О.В. Горячева*

Редактор англоязычных текстов *М.И. Яблонская, В.М. Бяхова*

Компьютерная верстка *М.В. Рогова*

Адрес редакции:

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Почтовый адрес редакции

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2

Тел.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Подписано в печать 25.09.2025. Выход в свет 30.09.2025. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитуры Tinos, Roboto.

Усл. печ. л. 15,4. Тираж 500 экз. Заказ № 1266. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-08-61; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2025 VOLUME 20 No. 3

Varietal breeding — selection and retention of agronomic traits

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3

agrojournal.rudn.ru

Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA NAMED AFTER PATRICE LUMUMBA

EDITOR-IN-CHIEF

Yuriy A. Vatnikov,

D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor,
Director of Department of Veterinary
Medicine, Agrarian and Technological
Institute, RUDN University, Moscow,
Russian Federation

E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. Pakina,

D.Sc. in Biology, Director of
Agrobiotechnology Department,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation

E-mail: pakina-en@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Evgeniy V. Kulikov,

Ph.D. in Biology, Associate Professor,
Department of Veterinary Medicine,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation

E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Sonia Agigi — D.Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Tamara S. Astarkhanova — D.Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Victor I. Dolzhenko — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation

Irina M. Donnik — D.Sc. in Biology, Professor, Academician of the RAS, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Elvira A. Dovletyarova — D.Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Nikolai N. Dubenok — D.Sc. in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Galimzhan K. Duskaev — D.Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Federal Scientific Center biological systems and agricultural technologies RAS, Orenburg, Russian Federation

Ivan A. Egorov — D.Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, Head of the Scientific Direction of Poultry Nutrition, All-Russian Research and Technological Poultry Institute of RAS, Sergiev Posad, Russian Federation

Sergey N. Elansky — D.Sc. in Biology, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Murat S. Gins — D.Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation

Alexander N. Ignatov — D.Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Andrey G. Koshaev — D.Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

Vyacheslav I. Kotarev — D.Sc. in Agriculture, Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation

Dimtrios Koveos — PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

Yakov V. Kuzyakov — Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Göttingen, Göttingen, Germany

Ekaterina M. Lenchenko — D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Ghasem Mohammadi-Nejad — PhD, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Dmitry V. Nikitchenko — D.Sc. in Biology, Professor, Ostankino Meat Processing Plant, Moscow, Russian Federation

Andrey E. Novikov — D.Sc. in Technology, Associate Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Aleksey S. Ovchinnikov — D.Sc. in Agriculture, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

Nikolai V. Pimenov — D.Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

Viktor F. Pivovarov — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation

Yury N. Pleskachev — D.Sc. in Agriculture, Professor, Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Region, Russian Federation

Vadim G. Plyushchikov — D.Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Alexander A. Solovov — D.Sc. in Biology, Professor of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation

Victor G. Sychev — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

Alexander V. Tkachev — D.Sc. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Boris V. Usha — D.Sc. in Veterinary Medicine, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Academician of the RAS, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Riccardo Valentini — D.Sc. in Biology, Professor, Nobel Peace Prize Laureate (2007), University of Tuscia, Viterbo, Italy

Aleksey A. Vasiliev — D.Sc. in Biology, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

Morteza Yousefi — Ph.D. in Biology, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Yusupzhan A. Yuldashbaev — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Aleksey D. Zaberezhny — D.Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor, All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, Moscow Region, Russian Federation

Meisam Zargar — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Aleksey A. Zavalin — D.Sc. in Agriculture, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES
Published by the Peoples' Friendship University of Russia
named after Patrice Lumumba (RUDN University),
Moscow, Russian Federation

ISSN 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

Aims and Scope

RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries is an peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference “Innovation Processes in Agriculture”, which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>

Editor *O.V. Goryacheva*

English text editor *M.I. Yablonskaya, V.M. Byakhova*

Computer design *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:

3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation

Ph.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Postal Address of the Editorial Board:

8 Miklukho-Maklaya St, bldg 2, 117198 Moscow, Russian Federation

Ph.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia Named After Patrice Lumumba (RUDN University)

6 Miklukho-Maklaya St, 117198 Moscow, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation

Ph.: +7 (495) 955-08-61; e-mail: publishing@rudn.ru

Содержание

Сортовая селекция — отбор и закрепление хозяйственно ценных признаков

От редакции	341
Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А., Богданович Т.В., Токмаков С.В., Степанов И.В. Маркерный отбор перспективного сортового и селекционного материала яблони	344
Наджодов Б.Б., Рубец В.С., Дивашук М.Г. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы <i>Triticum aestivum</i> L. к бурой ржавчине в условиях Центрального Нечерноземья	354
Радюкевич Т.Н., Карташева Л.И., Пасынкова Е.Н. Характеристика селекционных признаков у новых образцов ячменя ярового <i>Hordeum vulgare</i> L. в условиях Северо-Запада России	368
Попова В.Н., Живалов В.Н. Продовольственная безопасность в РФ: проблема реализации внутренних потребностей на фоне расширения экспортных возможностей	384
Салтан Н.В., Святковская Е.А., Заводских М.С., Корнейкова М.В. Технология зеленого черенкования древесных растений в Арктическом регионе ...	403

Почвоведение и агрохимия

Козлова Е.В., Мязин В.А., Мурзаева М.Ш. Микробное сообщество прибрежной зоны Кольского залива Баренцева моря в условиях антропогенной нагрузки	417
--	-----

Животноводство

Иванищева А.П., Сизова Е.А., Холодилина Т.Н. Качественный состав мяса цыплят-бройлеров и переваримость корма при введении в рацион новой органоминеральной кормовой добавки как альтернативы антибиотикам.....	433
Темирдашева К.А., Гукежев В.М. Тепловой стресс как проблема отрасли животноводства	445

Генетика и селекция животных

Акопян Н.А., Гильдилов Д.И., Селиванова И.Р. Митохондриальные гаплотипы: эффект нарушения репродукции свиней	455
--	-----

**Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О.,
Калмыкова М.С.** Ассоциация сайтов a80v, r25c, y7f гена лептина
с продолжительностью продуктивного долголетия у коров холмогорской породы ..471

Ветеринария

Инапшба К.Т., Качалин М.Д., Борхунова Е.Н., Кислиновская Н.В.
Экспериментальное обоснование применения хирургических клеев на желудке
у кроликов482

Глазов Н.А., Ватников Ю.А., Якунина М.Н. Клинические особенности опухолей
головного мозга у собак в Московском регионе: ретроспективное исследование497

Contents

Varietal breeding – selection and retention of agronomic traits

From the editorial.....	341
Ulianovskaya E.V., Chernutskaya E.A., Bogdanovich T.V., Tokmakov S.V., Stepanov I.V. Marker selection of promising varietal and breeding material of apple tree.....	344
Najodov B.B., Rubets V.S., Divashuk M.G. Resistance of spring wheat <i>Triticum aestivum</i> L. to leaf rust under the conditions of the Central Non-Black-Earth region	354
Radyukevich T.N., Kartasheva L.I., Pasynkova E.N. Characteristics of selection traits in new accessions of spring barley <i>Hordeum vulgare</i> L. in the conditions of North-West Russia	368
Popova V.N., Zhivalov V.N. Food security in the Russian Federation: realization of domestic demands amid export opportunities expansion	384
Saltan N.V., Sviatkovskaya E.A., Zavodskikh M.S., Korneykova M.V. Technology of green cuttings of woody plants for landscaping arctic cities	403

Soil science and agrochemistry

Kozlova E.V., Myazin V.A., Murzaeva M.Sh. Microbial community of the Coastal Zone of Kola Bay under anthropogenic impact.....	417
--	-----

Animal breeding

Ivanishcheva A.P., Sizova E.A., Kholodilina T.N. Meat qualitative composition of broiler chickens and feed digestibility when introducing a new organo-mineral feed additive into the diet as an alternative to antibiotics.....	433
Temirdasheva K.A., Gukezhev V.M. Heat stress as a problem in the livestock industry.....	445

Genetics and selection of animals

Akopyan N.A., Gildikov D.I., Selivanova I.R. Mitochondrial haplotypes: the effect of reproductive disorders in pigs	455
Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Klassen I.A., Stupina A.O., Kalmykova M.S. Association of A80V, R25C, AND Y7F leptin gene sites with productive longevity duration in Kholmogory cows.....	471

Veterinary science

Inapshba K.T., Kachalin M.D., Borkhunova E.N., Kislinovskaya N.V.
Experimental validation of the use of surgical adhesives on the stomach in rabbits482

Glazov N.A., Vatnikov Yu.A., Yakunina M.N. Clinical features of brain tumors
in dogs in the Moscow region: a retrospective study497



Сортовая селекция — отбор и закрепление хозяйственно ценных признаков

Varietal breeding — selection and retention of agronomic traits

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-341-343

EDN ULIRGI

От редакции

Современные методы анализа селекционно значимых признаков сельскохозяйственных растений открывают новые возможности для создания российских сортов с комплексной устойчивостью к патогенам и улучшенными качественными характеристиками. Применение молекулярно-генетических подходов существенно ускоряет идентификацию и отбор источников ценных признаков продуктивности, качества, устойчивости к различным стрессовым факторам, обеспечивая ускоренное создание конкурентоспособного адаптивного российского сортимента культурных растений.

В составивших основную тему номера журнала научных статьях представлены результаты селекционного отбора по хозяйственно ценным признакам растений, выявления генов устойчивости к биотическим факторам. Авторы статьи «Маркерный отбор перспективного сортового и селекционного материала яблони» выполнили фенотипическую оценку по комплексу основных хозяйственных, биологических и адаптивно-значимых признаков и выделили носителей нескольких генов устойчивости яблони к парше, что послужит материалом для создания устойчивых сортов. Полученные авторами статьи «Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине в условиях Центрального Нечерноземья» свидетельствуют, что имеющиеся у изученного набора сортов гены устойчивости относительно эффективно защищают их в годы с невысокой инфекционной нагрузкой, однако в годы эпифитотий их защиты недостаточно. В статье «Характеристика селекционных признаков у новых образцов ячменя ярового *Hordeum vulgare* L. в условиях Северо-Запада России» выявлены источники хозяйственно ценных признаков из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова по основным элементам структуры урожая для создания ценного селекционного материала ячменя ярового. Выделенные образцы будут использованы в селекционном процессе в качестве генетических источников хозяйственно ценных признаков. О важности развития российской селекции для получения собственных сортов и гибридов, необходимых для повышения уровня урожайности культур, говорится и в статье

«Продовольственная безопасность в РФ: проблема реализации внутренних потребностей на фоне расширения экспортных возможностей». Авторы отмечают активное развитие российского рынка производства российских сортов и гибридов как для открытого, так и закрытого грунта. Уже имеющиеся хозяйственно ценные признаки важно сохранить в популяции однородных растений. У вегетативно размножаемых культур зеленое черенкование позволяет сохранить полезные признаки и свойства культур, полностью воспроизводит черты (цвет, форму и размеры) материнского растения. В статье «Технология зеленого черенкования древесных растений в Арктическом регионе» авторы описали скорректированную для арктических регионов технологию зеленого черенкования, что представляется крайне важным для продвижения культурных растений в северные широты.

Обеспечение продовольственного суверенитета России неразрывно связано с развитием российской селекции и семеноводства, базирующихся на достижениях молекулярно-генетических исследований по поиску и идентификации надежных источников ценных признаков и свойств культурных растений, включению их в селекционные программы. Представленные в тематическом выпуске исследования демонстрируют современные подходы к решению этой стратегически важной задачи.

Е.Н. Пакина, заместитель главного редактора

ENG

From the editorial

Modern approaches to the analysis of breeding-relevant traits in agricultural crops are opening new opportunities for the development of Russian cultivars with combined pathogen resistance and improved quality characteristics. The integration of molecular and genetic tools greatly accelerates the identification and selection of sources of valuable traits related to productivity, quality, and resistance to various stress factors, thereby facilitating the rapid development of a competitive and adaptive range of Russian crop varieties.

The scientific articles that comprise the main topic of this issue present the results of selection for agronomic plant traits and identification of genes for resistance to biotic factors. The authors of the article 'Marker selection of promising varietal and breeding material of apple tree' performed a phenotypic assessment for a range of key economic, biological, and adaptively significant traits and identified carriers of several apple scab resistance genes, which will serve as the basis for developing resistant varieties. The results obtained by the authors of the article 'Resistance of spring wheat *Triticum aestivum* L. to leaf rust under the conditions of the Central Non-Black-Earth region' indicate that

the resistance genes present in the studied set of cultivars provide relatively effective protection in years with a low infection load, but their protection is insufficient during epiphytotic years. The article ‘Characteristics of selection traits in new accessions of spring barley *Hordeum vulgare* L. in the conditions of North-West Russia’ identifies sources of agronomic traits from the collection of the Federal Research Center of Vavilov Russian Institute of Plant Genetic Resources, based on the main elements of crop structure, to create valuable spring barley breeding material. The identified accessions will be used in the breeding process as genetic sources of economically valuable traits. The article ‘Food Security in the Russian Federation: realization of domestic demands amid export opportunities expansion’ also discusses the importance of developing Russian breeding to obtain Russian cultivars and hybrids necessary for increasing crop yields. The authors note the active development of the Russian market to produce Russian cultivars and hybrids for both open and protected ground. It is important to preserve existing agronomic traits in a population of homogeneous plants. In vegetatively propagated crops, green cuttings preserve the beneficial traits and properties of crops, fully reproducing the characteristics (color, shape, and size) of the parent plant. In the article ‘Technology of green cuttings of woody plants for landscaping Arctic cities’, the authors described a green cutting technology adapted for Arctic regions, which is crucial for advancement of cultivated plants in northern latitudes.

Ensuring Russia’s food sovereignty is inextricably linked to the progress of national plant breeding and seed production. This progress relies on the achievements of molecular genetic research directed toward the discovery and characterization of reliable sources of agronomically important traits and their effective incorporation into breeding programs. The studies presented in this thematic issue highlight contemporary approaches to addressing this strategically important challenge.

E.N. Pakina, Deputy Chief Editor



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-344-353

EDN USWZLV

УДК 634:11:631.52

Научная статья / Research article

Маркерный отбор перспективного сортового и селекционного материала яблони

Е.В. Ульяновская  , Е.А. Чернуцкая , Т.В. Богданович ,
С.В. Токмаков , И.В. Степанов 

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия,
Краснодар, Российская Федерация
 ulyanovskaya_e@mail.ru

Аннотация. Яблоня (*Malus × domestica* Borkh.) — ведущая сельскохозяйственная семечковая культура, одна из основных среди многолетних плодовых растений мира, коммерчески востребована и широко распространена в отрасли садоводства России, в т.ч. региона Северного Кавказа. В решении проблемы создания высококачественных российских сортов яблони с долговременным типом устойчивости к парше (основному заболеванию культуры; возбудитель — *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) значительна роль предбридинга, в т.ч. исследований, направленных на ускоренный отбор методом ДНК-маркирования ценных носителей нескольких генов *Rvi* устойчивости к парше. Цель исследования — по результатам изучения аллельного полиморфизма 15 генов устойчивости яблони к парше (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) у 33 сортовых и селекционных образцов яблони выделить источники долговременной устойчивости для усиления эффективности селекционного процесса. Исследование проводили согласно программам и методикам по сортоизучению яблони; использованы «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур» (ЦКП ИСК ГРСК) и ЦКП «Приборно-аналитический». Применен ДНК-маркерный анализ. Для экстракции ДНК применяли метод СТАВ в модификации Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, что позволило вести более качественную очистку подготовленных проб ДНК от полифенольных соединений. Использованы 22 маркера для идентификации 15 генов устойчивости яблони к парше: *Rvi1*; *Rvi2*; *Rvi3*; *Rvi4*; *Rvi5*; *Rvi6*; *Rvi8*; *Rvi9*; *Rvi11*; *Rvi12*; *Rvi13*; *Rvi14*; *Rvi15*; *Rvi16*; *Rvi17*. Маркерный отбор нового сортового и селекционного материала позволил выделить носителей нескольких генов устойчивости яблони к парше, имеющих в геноме от 2 до 6 различных генов *Rvi* в разных вариантах сочетания, это носители 6 генов: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi15* — 12/1–21–24; 5 генов в сочетаниях: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi6*, *Rvi13* — Кармен; *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi15* — Михсан; 4 генов в сочетаниях: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi6* — Надежное; *Rvi1*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi15* — Гайто Газданов; *Rvi1*, *Rvi3*, *Rvi6*, *Rvi8*–12/1–20–56 и др. Выделенные генотипы яблони российской селекции, в т.ч. созданные в творческом содружестве с коллегами из Всероссийского НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК) и Ставропольской ОС садоводства (СОСЦ), перспективны для

© Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А., Богданович Т.В., Токмаков С.В., Степанов И.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

дальнейшей селекции и ускоренного создания новых качественных, адаптивных сортов с длительным высоким потенциалом устойчивости к основному грибному патогену культуры.

Ключевые слова: сорт, гибрид, *Malus*, ген, ДНК-анализ, устойчивость к парше

Вклад авторов: Ульяновская Е.В. — разработка концепции, анализ и интерпретация данных, подготовка и редактирование текста; Чернуцкая Е.А., Богданович Т.В., Токмаков С.В., Степанов И.В. — сбор и обработка материалов, утверждение окончательного варианта статьи.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 10 апреля 2024 г., принята к публикации 9 июня 2025 г.

Для цитирования: Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А., Богданович Т.В., Токмаков С.В., Степанов И.В. Маркерный отбор перспективного сортового и селекционного материала яблони // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 344–353. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-344-353 EDN: USWZLV

Marker selection of promising varietal and breeding material of apple tree

Elena V. Ulianovskaya  , Evgeniya A. Chernutskaya ,
Tatyana V. Bogdanovich , Sergey V. Tokmakov , Ilya V. Stepanov 

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar,
Russian Federation
 ulyanovskaya_e@mail.ru

Abstract. Apple tree (*Malus × domestica* Borkh.) is a leading agricultural pome crop, one of the main perennial fruit plants in the world, commercially in demand and widespread in the horticultural industry of Russia, including the North Caucasus region. In solving the problem of creating high-quality domestic apple varieties with a long-term type of resistance to the scab (pathogen — *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter), the role of prebreeding, including research aimed at accelerated selection using the DNA method, is significant tagging valuable carriers of several *Rvi* scab resistance genes. The purpose of the study was to study the allelic polymorphism of 15 apple tree scab resistance genes (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) in 33 varietal and breeding samples of apple trees to identify sources of long-term resistance to increase efficiency of breeding process. The research was carried out in accordance with programs and methods for the study of apple varieties; Research and Selection Collection of Genetic Resources of Horticultural Crops and the Instrumentation and Analytical Center were used. DNA analysis methods were used in this work. For DNA extraction, a modification of the CTAB method was used, developed at North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, allowing for better purification of DNA samples from polyphenolic compounds. The work used 22 markers to identify 15 apple scab resistance genes: *Rvi1*; *Rvi2*; *Rvi3*; *Rvi4*; *Rvi5*; *Rvi6*; *Rvi8*; *Rvi9*; *Rvi11*; *Rvi12*; *Rvi13*; *Rvi14*; *Rvi15*; *Rvi16*; *Rvi17*. Marker selection of new varietal and breeding material made it possible to identify carriers of several genes for apple tree resistance to scab, having in the genome from 2 to 6 different *Rvi* genes in different combinations. Carriers of 6 resistance genes were identified as the most promising for selection for long-term resistance to scab: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi15*–12/1–21–24; 5 genes: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi6*, *Rvi13* — Karmen; *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi15* — Mikhsan; 4 genes: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi6* — Nadezhnoye; *Rvi1*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi15* — Gaito Gazdanov; *Rvi1*, *Rvi3*, *Rvi6*, *Rvi8*–12/1–20–56, etc. Identified apple genotypes of domestic breeding, including those created in creative collaboration with colleagues from the Russian Research Institute for Breeding Fruit Crops and Stavropol Experimental Horticulture Station,

promising for further breeding and accelerated creation of new high-quality, adaptive varieties with long-term high potential for resistance to the main fungal pathogen of the crop.

Key words: cultivar, hybrid, *Malus*, gene, DNA analysis, scab resistance

Authors' contribution: Ulianovskaya E.V. — concept development, analysis and interpretation of results, scientific writing; Chernutskaya E.A., Bogdanovich T.V., Tokmakov S.V., Stepanov I.V. — data collection and processing, approval of the final version of the manuscript.

Conflicts of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 10 April 2024; accepted 9 June 2025.

For citation: Ulianovskaya EV, Chernutskaya EA, Bogdanovich TV, Tokmakov SV, Stepanov IV. Marker selection of promising varietal and breeding material of apple tree. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):344–353. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-344-353 EDN: USWZLV

Введение

Яблоня — важнейшая сельскохозяйственная многолетняя культура, основная среди плодовых растений мира — наиболее широко распространена в отрасли садоводства России, в т.ч. Северного Кавказа, коммерчески привлекательна, востребована и популярна у потребителей продукции плодовогодства. Основной ресурс увеличения российского производства качественной продукции ведущей плодовой культуры — селекционное обновление сортимента яблони на основе продуктивных сортов, высокоустойчивых к абиотическим и биотическим стрессорам региона возделывания [1]. На современном этапе селекционной работы необходимо сочетание в получаемых генотипах повышенных показателей адаптивности, продуктивности и качества плодов, способствующих как увеличению рентабельности и экономической эффективности промышленного производства, так и достаточно успешной конкуренции на потребительском рынке новых сортов с существующими зарубежными аналогами [2–7]. В условиях необходимости решения существующих проблем биологизации, экологизации и рационального природопользования российской отрасли садоводства перспективно создание иммунных к парше сортов яблони, позволяющих получать плоды высокой товарности с коммерчески значимыми характеристиками при общем оздоровлении экологической обстановки в саду [5, 8, 9].

Современный сортимент яблони на Северном Кавказе достаточно разнообразен и обширен. В 2024 г. Госреестр Российской Федерации селекционных достижений, допущенных к использованию (Госреестр), насчитывает по яблоне 506, а Госреестр по Северо-Кавказскому региону — 165 сортов¹. Однако значительный и достаточно разнообразный количественный состав и высокие темпы обновления сортимента яблони не решают в полной мере основную проблему необходимости создания и культивирования сортов, сочетающих высокую устойчивость к биотическим

¹ Реестр селекционных достижений. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения: 22.03.2024).

и абиотическим стрессорам региона возделывания с повышенными коммерческими характеристиками плодов.

Использование современных методов оценки сортового и гибридного материала для изучения биоразнообразия и формирования идентифицированного состава генофонда рода *Malus* Mill. — основа наиболее эффективного создания качественных и адаптивных российских сортов для южного плодоводства.

Современные методы исследования генетики ведущих селекционных признаков, в т.ч. устойчивости к патогенам на долговременной основе, особенно в сочетании с повышенными показателями качества плодов, в значительной мере облегчают решение важнейших селекционных задач по созданию российских адаптивных, конкурентоспособных сортов, а также позволяют в достаточно сжатые сроки вести отбор перспективных доноров и комплексных доноров целевых хозяйственных признаков для дальнейшей селекции.

Ускорению и оптимизации ряда важнейших этапов селекционного процесса многолетних плодовых культур, в частности яблони, способствуют методы ДНК-анализа. С развитием ДНК-технологий комплексное генотипирование и фенотипирование изучаемых многолетних растений, в т.ч. яблони, идет все активнее. Процессы совмещения и интеграции многолетних селекционных данных с данными генетических исследований играют важную роль для совершенствования методов селекции яблони на основе все более активного использования маркеров, расширяя генетическое понимание важнейших признаков культуры и обеспечивая в максимальной степени доступность и высокую информативность полученных данных для ученых-селекционеров [10]. Довольно существенно сократить длительность, уменьшить трудоемкость и энергоемкость процесса селекции яблони позволяет маркерный отбор источников целевых генов и аллелей генов [11]. Применение метода ДНК-маркирования важно, как на начальном этапе селекционного процесса — для изучения и отбора наиболее ценных родительских форм, так и в дальнейшем — для выделения перспективного гибридного материала, элитных форм и новых сортов.

Цель исследования — по результатам изучения аллельного полиморфизма 15 генов устойчивости яблони к парше (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) у 33 сортовых и селекционных образцов яблони выделить источники долговременной устойчивости для усиления эффективности селекционного процесса.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования — 33 генотипа яблони, имеющие разное эколого-географическое и генетическое происхождение.

Исследование выполнено в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (СКФНЦСВВ). Научно-исследовательская работа проводилась в двух центрах коллективного пользования (ЦКП) — «Приборно-аналитический» и «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур» (ЦКП ИСК ГРСК), расположенная в Северо-Кавказском регионе садоводства РФ (г. Краснодар, ЗАО ОПХ «Цен-

тральное»). Образцы для выполнения ДНК-анализа отбирали на коллекционных и селекционных насаждениях яблони, произрастающих на подвое М9 по схеме 4×1 м, 2015–2017 гг. посадки.

В исследовании использовали программы и методики селекции и сортоизучения для плодовых культур (яблони)² [12]; молекулярно-генетические методы отбора ценных для дальнейшей селекции источников долговременной устойчивости яблони к парше [13; 14], метод ДНК-анализа, основанный на ПЦР с последующим электрофоретическим анализом продуктов. При этом применена выполненная в СКФНЦСВВ [15] модификация метода СТАВ на основе 1%-й концентрации поливинилпирролидона в лизирующем буфере, что сделало очистку проб ДНК от полифенольных соединений более качественной.

Использовали 22 маркера 15 генов устойчивости к парше: *Rvi1* — CH01D03 (SSR-маркер); *Rvi2* — CH02b10 (SSR-маркер); *Rvi3* — Hi08e04 (SSR-маркер); *Rvi4* — CH02c02a, CH02f06 (SSR-маркер); *Rvi5* — Hi07h02, FMACH_Vm3 (SSR-маркеры); *Rvi6* — CH-Vf1 (SSR-маркер), VfC1F+VfC2 (SCAR-маркер); *Rvi8* — OPL 19 (SCAR-маркер); *Rvi9* — CH03d01, CH05e03 (SSR-маркер); *Rvi11* — CH05e03; *Rvi12* — SSR23.17, SSR24.91 (SSR-маркеры); *Rvi13* — CH04f03, CH02b07 (SSR-маркеры); *Rvi14* — HB09 (SSR-маркер); *Rvi15* — CH02c02a, CH02f06 (SSR-маркеры); *Rvi16* — NH030a (SSR-маркер); *Rvi17* — CH-Vf1 (SSR-маркер).

В качестве положительных контролей при молекулярно-генетической идентификации аллелей ДНК-маркеров искомым генов устойчивости яблони к парше использованы сорта, видовые и гибридные формы, входящие в международный набор дифференциаторов для определения расового состава возбудителя парши: Golden Delicious — ген *Rvi1*; *Malus pumila* R12740–7A — ген *Rvi2*; Q71 (*Rvi3*); *Malus atrosanguinea* 840 (*Rvi5*); Priscilla (*Rvi6*); B45 (*Rvi8*); J34 (*Rvi9*); *M. baccata* jackii (*Rvi11*); Hansen's *baccata* (*Rvi12*), Durello di Forlì — (*Rvi13*); Dulmener Rosenapfel — (*Rvi14*); GMAL2473 (*Rvi15*).

Результаты исследования и обсуждение

Для выявления носителей потенциальной долговременной устойчивости к парше и пополнения идентифицированной части коллекционного фонда яблони в СКФНЦСВВ исследовали 33 образца нового сортового и селекционного материала методом ДНК-маркирования. Выполнена фенотипическая оценка по комплексу основных хозяйственных, биологических и адаптивно-значимых признаков (сроки вступления в плодоношение, основные фенофазы развития, сила роста дерева, компактность кроны и тип плодоношения, устойчивость к парше, монилиоузу, мучнистой росе, филlostиктозу, устойчивость к весенним заморозкам, к засухе, регулярность плодоношения, продуктивность, качество плодов и др.). Фенотипирование позволило выделить 33 образца яблони (13 гибридов, 6 элитных форм,

² Программа Северо-Кавказского центра по селекции плодовых, ягодных, цветочно-декоративных культур и вино-града на период до 2030 года / Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства РАСХН. Краснодар : Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 2013. 202 с.

11 сортов российской и 3 зарубежной селекции) с сочетанием максимального количества ценных признаков для выполнения ДНК-анализа. Сформированы признаковые субколлекции. В исследуемую выборку образцов для ДНК-анализа включили новые сорта и элиты селекции СКФНЦСВВ, в т.ч. созданные совместно с коллегами из ВНИИСПК и Ставропольской ОСС (табл. 1).

Таблица 1

Происхождение нового сортового и селекционного материала яблони

Название генотипа	Страна происхождения, оригинатор	Происхождение
17/1–6–2	Россия, СКФНЦСВВ	Кармен × Gemeni
17/1–6–32	Россия, СКФНЦСВВ	Champion × Modi
17/1–6–57	Россия, СКФНЦСВВ	Liberty × Renuartsiv
17/1–6–65	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–21–63 (Golden Delicious (4x) × 2034 [F ₂ M. floribunda × Golden Delicious]) × Modi
17/1–6–74	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–21–63 (Golden Delicious (4x) × 2034 [F ₂ M. floribunda × Golden Delicious]) × Modi
17/2–6–9	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–21–24 (Idared × Balsgard 0247E) × Arksharm
17/2–6–2	Россия, СКФНЦСВВ	Champion × Modi
17/1–7–2	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–21–24 (Idared × Balsgard 0247E) × Arksharm
17/1–7–3	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–21–24 (Idared × Balsgard 0247E) × Arksharm
17/1–7–16	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–20–56 (Black Stayman × Prima) × Fujion
17/1–7–18	Россия, СКФНЦСВВ	12/1–20–56 (Black Stayman × Prima) × Fujion
17/1–7–26	Россия, СКФНЦСВВ	Champion × Modi
17/1–7–27	Россия, СКФНЦСВВ	Champion × Modi
12/1–20–56	Россия, СКФНЦСВВ, ВНИИСПК	Black Stayman × Prima
12/1–21–24	Россия, СКФНЦСВВ, ВНИИСПК	Idared × Balsgard 0247E
12/1–21–63	Россия, СКФНЦСВВ, ВНИИСПК	Golden Delicious (4x) × 2034 (F ₂ M. floribunda × Golden Delicious)
6–4–12	Россия, СКФНЦСВВ	44–30–7 (Welsey (4x) × Бессемянка Мичуринская) × Florina
6–6–11	Россия, СКФНЦСВВ	44–30–7 (Welsey (4x) × Бессемянка Мичуринская) × Florina
Егоровское	Россия, СКФНЦСВВ, ВНИИСПК, СОСС	Redfree × Папировка тетраплоидная
Кармен	Россия, СКФНЦСВВ, ВНИИСПК	Prima × Welsey (4x)
Багрянец Кубани	Россия, СКФНЦСВВ	Клон сорта Кубанское багряное
Ренет Платона	Россия, СКФНЦСВВ	Клон сорта Ренет Симиренко, мутационная селекция
Памяти есаулу	Россия, СКФНЦСВВ	(Розмарин × Prima) × Кандиль краснодарский
Прикубанское	Россия, СКФНЦСВВ	Red Delicious × Opalescent
Солнечное	Россия, СКФНЦСВВ	Клон сорта Celeste, мутационная селекция
Делишес Марии	Россия, СКФНЦСВВ	Delicious spur × Kidd's Orange Red, мутационная селекция
Зимнее утро	Россия, СКФНЦСВВ	Liberty × Scarlett Staymared, мутационная селекция
Михсан	Россия, СОСС, СКФНЦСВВ	Liberty × Golden Delicious

Окончание табл. 1

Название генотипа	Страна происхождения, оригинатор	Происхождение
Надежное	Россия, СКФНЦСВВ, ВНИИСПК, СОСС	Idared × Balsgard 0247E
Гайто Газданов	Россия, СОСС, СКФНЦСВВ, СПК «Де-Густо»	Golden Delicious × Liberty
Renuartsiv	Italy, C.I.V. – SOCIETA' CONSORTILE A R.L.	Серия «Sweet Resistants», получен с участием сорта Granny Smith
Honey Crisp	USA, Minnesota Agricultural Experiment Station's Horticultural Research Center	Macoun × Honeygold
Red Delicious King Roat	Italy, KIKU GmbH	Клон сорта Harpe

Источник: выполнено Е.В. Ульяновской, Е.А. Чернуцкой.

На основе метода ДНК-анализа у выделенных образцов яблони идентифицированы 15 генов: *Rvi1-Rvi6*, *Rvi8*; *Rvi9*, *Rvi11-Rvi17*, детерминирующих устойчивость к парше *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter.

Установлено, что значительная часть (42,4 %) изученной выборки образцов — это носители гена *Rvi6* устойчивости к парше. Ген *Rvi6* (ранее известный как ген *Vf*) — широко распространенный и достаточно часто используемый еще с начала XX в. в мировой селекции яблони. Изучение нового гибридного и сортового материала позволило идентифицировать в геноме 14 из 33 образцов (5 сортов и 9 элитных и отборных форм) маркеры CH-Vf1 и VfC1F+VfC2 (сцепленные с геном *Rvi6*).

Почти половина образцов — носители гена *Rvi3* (16 из 33 изученных или 48,5 %). К наиболее распространенным генам устойчивости к парше в выборке также отнесены: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi8*, частота встречаемости их в выборке составила 42,4; 33,3 и 36,4 % соответственно. Частота встречаемости в выборке генов *Rvi4*, *Rvi15*, *Rvi13* и *Rvi14* составила 24,2; 18,2; 9,1 и 9,1 % соответственно.

Не установлено наличие 4 генов устойчивости: *Rvi5*, *Rvi11*, *Rvi12* и *Rvi16*.

Частота встречаемости генов *Rvi17* и *Rvi9* составила 6,1 и 3,0 % соответственно, поэтому данные гены устойчивости к парше можно отнести к достаточно редко встречаемым в изученной выборке.

Выделены носители нескольких генов устойчивости яблони к парше, имеющие в геноме от 2 до 6 различных генов системы *Rvi* в разных сочетаниях, ценные для дальнейшей селекции на долговременную, длительную устойчивость к патогену (табл. 2, рис.).

Таблица 2

Носители генов устойчивости яблони к парше (*Rvi*)

Наличие генов устойчивости к парше (<i>Rvi</i>)	Название генотипа
<i>Rvi1</i> , <i>Rvi2</i> , <i>Rvi3</i> , <i>Rvi4</i> , <i>Rvi6</i> , <i>Rvi15</i>	12/1–21–24
<i>Rvi1</i> , <i>Rvi2</i> , <i>Rvi3</i> , <i>Rvi6</i> , <i>Rvi13</i>	Кармен
<i>Rvi1</i> , <i>Rvi2</i> , <i>Rvi4</i> , <i>Rvi6</i> , <i>Rvi15</i>	Михсан

Окончание табл.2

Наличие генов устойчивости к парше (Rvi)	Название генотипа
Rvi1, Rvi2, Rvi3, Rvi6	Надежное
Rvi1, Rvi4, Rvi6, Rvi15	Гайто Газданов
Rvi1, Rvi3, Rvi6, Rvi8	12/1–20–56
Rvi1, Rvi2, Rvi3, Rvi8	17/1–6–57
Rvi3, Rvi4, Rvi14, Rvi15	17/1–7–3
Rvi2, Rvi3, Rvi4, Rvi6	17/1–7–16

Источник: выполнено Е.В. Ульяновской, Е.А. Чернуцкой, Т.В. Богданович.



Кармен



Гайто Газданов



Михсан



Надежное

Новые российские сорта яблони
Источник: выполнено Е.В. Ульяновской.

Необходимо отметить, что новый селекционный материал был получен от гибридизации обладающих повышенными показателями качества плодов, перспективных сортов и форм российской, западноевропейской, североамериканской, японской селекции. Достаточно высокую селекционную ценность нового селекционного материала подтверждает высокая доля (84,2 %, или 16 из 19 изученных образцов) выявленных носителей 2–4 генов устойчивости к парше. Установлено, что значительное количество носителей нескольких генов устойчивости к парше созданы путем географически отдаленной гибридизации с участием элитных форм региональной селекции и западноевропейских сортов (12/1–21–63 и Modi), японских (12/1–20–56 и Fujion) или североамериканских (12/1–21–24 и Arksharm); североамериканского и западноевропейского сорта (Liberty и Renuartsiv). Результаты маркерного отбора нового селекционного и сортового материала по генам устойчивости к парше перспективны для пополнения идентифицированного состава генофонда яблони и увеличения эффективности дальнейшего процесса селекции.

Заключение

Согласно полученным данным в исследуемой выборке из 33 сортов и гибридных форм яблони разного эколого-географического и генетического происхождения выявлены носители нескольких генов устойчивости яблони к парше, имеющие в геноме от 2 до 6 различных генов системы *Rvi* в разных сочетаниях. К наиболее распространенным в выборке генам устойчивости к парше среди изученных 15 генов отнесены: *Rvi3* и *Rvi6*, а также: *Rvi1*, *Rvi2*, *Rvi8*. Выделены носители: 6 генов устойчивости к парше — 12/1–21–24; 5 генов устойчивости — Кармен и Михсан; 4 генов: Надежное, Гайто Газданов, 12/1–20–56, 17/1–6–57, 17/1–7–3, 17/1–7–16, ценные для селекции на долговременную устойчивость к биопатогену.

Список литературы

1. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А. Методические подходы к биологизации интенсификационных процессов (на примере промышленного плодоводства) // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 71 (5). С. 1–22. doi: 10.30679/2219-5335-2021-5-71-1-22 EDN: FCWTET
2. Technology Transfer of Plant Biotechnology (1st ed.)/ ed. by P.M. Gresshoff. CRC Press, 2013. P. 111–125. <https://doi.org/10.1201/9780203737323>
3. Юшков А.Н., Савельева Н.Н., Земисов А.С. Новые сорта яблони для современного садоводства // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2022. С. 135–139. EDN: FLROIM
4. Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Лучшие сорта яблони, созданные во ВНИИСПК для современного садоводства // Современное садоводство. 2021. № 2. С. 1–13. doi: 10.52415/23126701_2021_0201 EDN: ZHWCJP
5. Ульяновская Е.В., Беленко Е.А. Современные мировые тенденции развития селекции яблони // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 92. С. 177–182. doi: 10.21515/1999-1703-92-177-182 EDN: DXXRIF
6. Савельева Н.Н. Биологические и генетические особенности яблони и селекция иммунных к парше и колонновидных сортов : монография. Мичуринск, 2016. 280 с. EDN: YMNQFE
7. Юшков А.Н. Селекция плодовых растений на устойчивость к абиотическим стрессорам : монография. Мичуринск, 2019. 332 с. EDN: ZAPLZR

8. Савельева Н.Н., Лыжин А.С. Маркер-контролируемый скрининг генотипов яблони с иммунитетом к парше // *Аграрная наука*. 2019. № 3. С. 135–137. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-135-137 EDN: FGEPHK
9. Савельева Н.Н., Юшков А.Н., Земисов А.С., Борзых Н.В., Чивилев В.В., Лыжин А.С. Обеспечение стабильности устойчивости генотипов яблони к грибу *Venturia inaequalis* (Cooke) Wilt // *Биосфера*. 2022. Т. 14. № 4. С. 384–386. EDN: BNNIHQ
10. Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Маркер-опосредованный скрининг иммунных к парше (Rvi6+Rvi4) генотипов яблони // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021. № 67 (1). С. 1–9. doi: 10.3067/2219-5335-2021-1-67-1-9 EDN: YNUIXH
11. Корнеева С.А., Седов Е.Н., Янчук Т.В., Пикунова А.В., Лаврусевич Н.Г. Конструирование новых геномов колонновидной яблони во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур // *Аграрная наука*. 2024. № 10. С. 154–158. doi: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-154-158 EDN: YBLSXY
12. Егоров Е.А., Еремин Г.В., Ульяновская Е.В., Луговской А.П., Заремук Р.Ш., Ильницкая Е.Т., Петров В.С. Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве: монография. Краснодар : СКЗНИИСиВ, 2012. 569 с. EDN: PYBRHP
13. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // *Nucleic acids research*. 1980. Vol. 10. № 19. P. 4321–4326. doi: 10.1093/nar/8.19.4321 EDN: IUOPAH
14. Patocchi A., Walser M., Tartarini S., Broggini G.A.L., Gennari F., Sansavini S., Gessler C. Identification by genome scanning approach (GSA) of a microsatellite tightly associated with the apple scab resistance gene *Vm* // *Genome*. 2005. Vol. 48. № 4. P. 630–636. doi: 10.1139/g05-036
15. Сунпун И.И. Оптимизированная методика микросателлитного генотипирования яблони и груши // *Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография*. Краснодар, 2017. С. 188–196. EDN: ZSSSOV

Об авторах:

Ульяновская Елена Владимировна — доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией сортоизучения и селекции садовых культур, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3987-7363 SPIN-код: 5577-5173

Богданович Татьяна Валерьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: tatyanka-bogdanovich@mail.ru

ORCID: 0009-0009-9677-9891 SPIN-код: 7519-3784

Чернуцкая Евгения Анатольевна — младший научный сотрудник лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ev.belenko95@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-5140-9891 SPIN-код: 2219-0777

Токмаков Сергей Вячеславович — кандидат биологических наук, заведующий селекционно-биотехнологической лабораторией, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ad-a-m@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2092-7757 SPIN-код: 3196-9049

Степанов Илья Владимирович — младший научный сотрудник селекционно-биотехнологической лаборатории, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ivstepanof@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6251-300X SPIN-код: 3968-1982



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-354-367

EDN VAXWJL

УДК 631.527.21: 632.4.01.08: 632.938.1

Научная статья / Research article

Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине в условиях Центрального Нечерноземья

Б.Б. Наджодов^{1,2}  , В.С. Рубец^{2,3} , М.Г. Дивашук^{1,2} ¹Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии,
г. Москва, Российская Федерация³Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва, Российская Федерация
 boburnajodov@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований полевой устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к бурой ржавчине в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России (ЦРНЗ). Изучены 15 сортообразцов яровой мягкой пшеницы в полевых условиях в 2021–2024 гг. Цель исследования — установить зависимость урожайности сортов яровой пшеницы от эффективности генов устойчивости к бурой ржавчине в условиях ЦРНЗ. Для поиска публикаций по теме исследования и идентификации сортов с *Lr*-генами использованы базы данных Wheatpedigree, Scopus, NCBI, PubMed, Google Scholar, РИНЦ и Cyberleninka. Оценка устойчивости сортов к бурой ржавчине проводили по универсальной 9-балльной шкале ВИР. Выявлено, что в годы с благоприятными метеорологическими условиями в период от всходов до колошения устойчивость сортов пшеницы к листовой ржавчине положительно влияет на урожайность зерна, при засухе в этот период — нет. Гены устойчивости *Lr*, имеющиеся у изученного набора сортов, относительно эффективно защищают их в годы с невысокой инфекционной нагрузкой. В годы эпифитотий их защиты недостаточно. Поэтому следует искать более эффективные гены или их комплексы при создании новых сортов в ЦРНЗ. Наиболее эффективными за 2021–2024 гг. оказались гены *Lr19 + Lr6* (донор сорт Тулайковская 108) и *Lr 21* (донор сорт Гранни).

Ключевые слова: *Puccinia triticina*, селекция на устойчивость, листовая ржавчина, *Lr*-гены

Вклад авторов: Наджодов Б.Б. — проведение полевых экспериментов, сбор и статистический анализ данных, интерпретация результатов, подготовка первоначального варианта рукописи, утверждение окончательной версии статьи; Рубец В.С., Дивашук М.Г. — общее научное руководство, критический анализ и редактирование текста рукописи, утверждение окончательной версии статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Наджодов Б.Б., Рубец В.С., Дивашук М.Г., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 25 октября 2024 г., принята к публикации 10 июля 2025 г.

Для цитирования: Наджодов Б.Б., Рубец В.С., Дивашук М.Г. Устойчивость сортов бурой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 354–367. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-354-367 EDN: VAXWJL

Resistance of spring wheat *Triticum aestivum* L. to leaf rust under the conditions of the Central Non-Black-Earth region

Boburjon B. Najodov^{1, 2}  , Valentina S. Rubets^{2, 3} ,
Mikhail G. Divashuk^{1, 2} 

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

²All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation

³Tsitin Main Moscow Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

 boburnajodov@gmail.com

Abstract. The results of experimental studies on field resistance of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to leaf rust in the Central Region of the Non-Black Soil Zone of Russia were described. Fifteen spring wheat varieties were evaluated under field conditions from 2021 to 2024. The study aimed to analyze the yield performance of these varieties depending on the effectiveness of resistance genes (Lr genes) against leaf rust in the Central Non-Black Earth region of Russia. A search for relevant publications and identification of Lr genes in the varieties was conducted using databases such as Wheatpedigree, Scopus, NCBI, PubMed, Google Scholar, RSCI, and Cyberleninka. Resistance to brown rust was assessed using the 9-point VIR scale. The results showed that in years with favorable weather conditions from sprouting to heading, resistance to leaf rust positively influenced grain yield. However, during drought periods, this resistance had no significant effect on yield. Lr resistance genes in the studied varieties provided relatively effective protection in years with low infection pressure, but were insufficient during epidemic years. Therefore, more effective genes or their combinations should be considered when developing new varieties for the Central Non-Black Earth region of Russia. The most effective resistance genes identified from 2021 to 2024 were *Lr19 + Lr6* (from the donor variety Tulaykovskaya 108) and *Lr21* (from the donor variety Granny).

Key words: *Puccinia triticina*, breeding for resistance, brown rust, Lr genes

Authors' contribution. Najodov B.B. — conducting field experiments, data collection, statistical analysis and interpretation of results, preparation of the original manuscript draft and approval of the final manuscript version; Rubets V.S., Divashuk M.G. — general scientific supervision, critical review, editing, and approval of the final manuscript version.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 25 October 2024; accepted 10 July 2025.

For citation: Najodov BB, Rubets VS, Divashuk MG. Resistance of spring soft wheat *Triticum aestivum* L. varieties to leaf rust in conditions of Central Non-Black Earth region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):354–367. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-354-367 EDN: VAXWJL

Введение

Сокращение потерь урожая, вызванных грибными патогенами, является эффективной мерой для увеличения производства пшеницы [1]. Вредители и болезни ежегодно приводят в мире к потерям 20...40 % урожая продовольственных культур и экономическим убыткам около 220 млрд долларов США¹. В ходе длительного естественного отбора и искусственной селекции пшеница потеряла множество отличных генов устойчивости к болезням [3, 4]. Один из самых вредоносных грибных патогенов пшеницы — *Puccinia triticina* Eriksson (Pt) — возбудитель бурой (листовой) ржавчины пшеницы. Это заболевание встречается в большинстве регионов выращивания пшеницы и вызывает значительные потери урожая у восприимчивых сортов при благоприятных климатических условиях [5–7]. Наиболее эффективным, экономически выгодным и экологически оправданным способом защиты растений от болезней является селекция и районирование устойчивых сортов. Однако для Центральной Нечерноземной и Черноземной зон России эта проблема остается нерешенной [8].

По некоторым оценкам, устойчивость к листовой ржавчине, обусловленная определенным геном *Lr*, сохраняется не более 5–7 лет [9], поэтому задача поиска и использования новых эффективных генов *Lr* весьма актуальна в селекции. Первым широко распространенным сортом, устойчивым к листовой ржавчине благодаря гену *Lr14a*, стал Repown (зарегистрирован в 1937 г.) [10–12]. Для Центрального региона России (ЦРНЗ) характерна устойчивость к листовой ржавчине, обеспечиваемая генами *Lr19*, *Lr23*, *Lr9*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr27*, *Lr31* и *Lr39*, а для Центрально-Черноземного региона важны гены *Lr9*, *Lr44* и *Lr49*, которые обеспечивают ювенильную устойчивость, в то время как гены возрастной устойчивости, такие как *Lr24*, *Lr38*, *Lr39*, *Lr43*, *Lr49*, *Lr1*, *Lr2* и *LrAgi*, проявляют высокую эффективность в полевых условиях [13, 14]. Анализ литературных источников показал, что ген *Lr10*, локализованный на хромосоме 1AS, встречается у сортов Злата (st), Саратовская 74, Агата, Симбирцит и Маргарита. Данный ген широко использовался в селекционных программах в России, Австралии, США и международном центре CIMMYT долгие годы [15].

К настоящему времени каталогизировано более 82 *Lr*-генов устойчивости к листовой ржавчине [16, 17], из которых около 50 % происходят от других видов. Эти гены распределены по всем 21 хромосоме пшеницы, причем большинство из них находятся на коротких плечах хромосом [18, 19]. Однако из-за размера и сложности генома пшеницы до сих пор удалось клонировать только десять генов *Lr1*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr4a*, *Lr21*, *Lr22a*, *Lr34*, *Lr42* и *Lr67* [6, 20–22].

Цель исследования — оценить устойчивость набора сортов яровой мягкой пшеницы к бурой ржавчине на естественном инфекционном фоне ЦРНЗ и подтвердить эффективность генов *Lr*, выявленных по литературным источникам.

¹ The Food and Agriculture Organization of the United Nations Home Page. Режим доступа: <https://www.fao.org/director-general/news/news%20article/zh/c/1301879/> (Дата обращения: 15.11.2022).

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили 15 сортов яровой мягкой пшеницы коллекции РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева (табл. 1). Полевые эксперименты проводили в 2021–2024 гг. по общепринятой агротехнике для данной зоны. Устойчивость к бурой ржавчине оценивали по универсальной 9-балльной шкале ВИР дважды: в фазу колошения и фазу цветения, согласно методическим рекомендациям по изучению мировой коллекции пшеницы². Использовали стандартную 9-балльную шкалу:

- 1 балл (очень низкая устойчивость) соответствовал сильному поражению листьев (более 50...100 % площади);
- 3 балла (низкая устойчивость) — сильному поражению (около 50 %);
- 5 баллов (средняя устойчивость) — умеренному поражению (20...30 %);
- 7 баллов (высокая устойчивость) — слабому поражению (10...20 %);
- 9 баллов (очень высокая устойчивость) — отсутствию поражения (0 %).

Таблица 1

Материал для исследования

Сорт	Оригинатор	Страна	Год допуска
Злата (st)	ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»	Россия	2009
Саратовская 74	ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»	Россия	2012
Агата	ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Немчиновка», ФГБНУ «ВИМ»	Россия	2014
Тулайковская 108	ФГБНУ «СФИИЦ РАН», ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого	Россия	2014
Симбирцит	ФГБНУ «СФИИЦ РАН», ФГУП «Колос»	Россия	2006
Тюменская 29	ФГБНУ «ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН	Россия	2013
Обская 2	ФГБНУ ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»	Россия	2014
Тобольская	ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр Агробиотехнологий»	Россия	2014
Алтайская Жница	ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»	Россия	2014
Маргарита	ФГБНУ «Самарский ФИИЦ РАН», АО «Приволжское»	Россия	2008
Учитель	ФГБНУ «ФНЦ Биологических систем и агротехнологий РАН»	Россия	2001
Фаворит	ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»	Россия	2007
Гранни	SAATBAU LINZ EGEN	Чехия	2009
Тризо	DEUTSCHE SAATVEREDELUNG AG (DSV)	Германия	2004
Ирень	ФГБНУ «Уральский ФАНИЦ РАН	Россия	1998

Источник: выполнено Б.Б. Наджодовым.

² Дорофеев В.Ф., Руденко М.И., Шитова И.П., Корнейчук В.А. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы. Л. : ВИР; 1977.

Образцы, имеющие оценки в диапазоне 7–9 баллов, относили к высокоустойчивым. Для поиска и подтверждения наличия генов устойчивости (*Lr*-генов) у исследуемых сортов использовали данные из опубликованных источников (табл. 2)³.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали методы однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), позволяющего выявить достоверное влияние сортов на урожайность в условиях многолетних полевых испытаний. В дополнение применен анализ главных компонент (PCA), направленный на обобщение и визуализацию взаимосвязей между тремя ключевыми признаками: урожайностью, степенью устойчивости к бурой ржавчине и наличием генов устойчивости (*Lr*-генов). PCA позволил выявить дифференциацию сортов по их адаптивным реакциям в разные годы — от благоприятных до засушливых. Такой подход позволяет комплексно оценивать вклад в формирование урожая как биотических, так и абиотических факторов. Все расчеты и визуализация выполнены с использованием языка программирования Python (версия 3.13) с применением библиотек *pandas*, *scipy*, *statsmodels*, *matplotlib* и *sklearn*.

Результаты исследования и обсуждение

Бурая ржавчина наблюдается в условиях ЦРНЗ не каждый год. Для ее развития необходимы благоприятные метеорологические условия. В годы исследований они довольно сильно различались, и, как следствие, не во все годы было отмечено развитие болезни (рис. 1, табл. 2).

В 2021 г. посев провели 11 мая вследствие переувлажнения почвы и низких температур. Погода в первую половину вегетации благоприятствовала развитию растений. Однако во второй половине наблюдалась жесткая засуха при высокой температуре воздуха. Такие условия неблагоприятны для развития листовой ржавчины, тем не менее естественный инфекционный фон имел место. Все сорта пшеницы были поражены в той или иной степени.

Стандарт Злата, Тулайковская 108, Алтайская Жница, Маргарита, Фаворит, Гранни и Тризо показали среднюю степень устойчивости (5 баллов). Почти у всех перечисленных сортов имеются различные идентифицированные гены устойчивости *Lr* (табл. 2). Эти сорта сформировали высокую урожайность (рис. 2).

Более высокой устойчивостью и урожайностью отличались сорта Саратовская 74, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Тобольская (7 баллов). Не для всех сортов удалось найти в литературе, какие гены устойчивости *Lr* содержатся в их генотипе. Однако они оказались эффективными для защиты растений от болезни в условиях ЦРНЗ.

Различную степень восприимчивости показали сорта Агата, Учитель и Ирен. Такие результаты неожиданны для сорта Агата, несущего комплекс генов *Lr10 + Lr19* (табл. 2). Несмотря на довольно сильное поражение, этот сорт

³ Реестр селекционных достижений. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения: 01.10.2024); GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale). Режим доступа: <http://www.wheatpedigree.net/> (дата обращения: 01.10.2024).

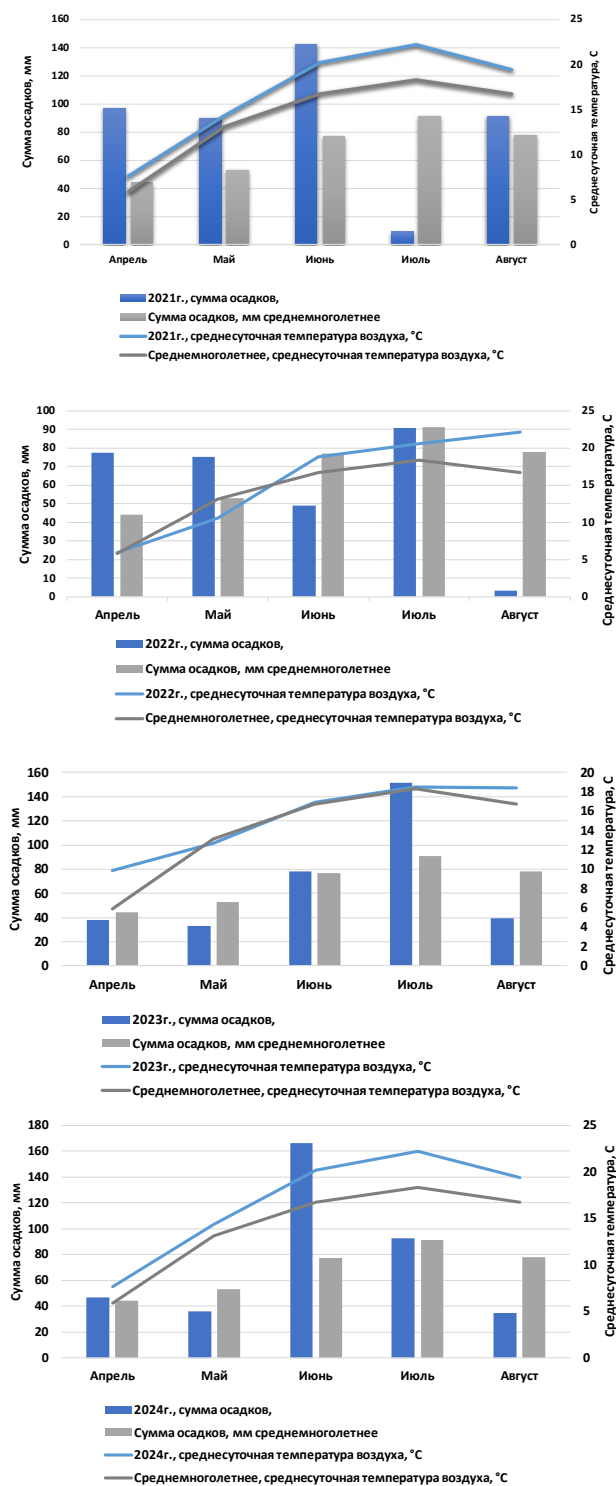


Рис. 1. Метеорологические условия в годы исследований (2021–2024 гг.)
Источник: выполнено Б.Б. Надждовым с помощью MS Excel и MS Word.

оказался толерантным и сформировал высокую урожайность (рис. 2). В целом корреляционный анализ показал, что в 2021 г. наблюдалась довольно сильная положительная корреляционная связь между урожайностью зерна и устойчивостью к бурой ржавчине $r = 0,616$ (рис. 3). Коэффициент детерминации r^2 показывает, что около 38 % изменчивости по урожайности пшеницы определяется генотипом.

В 2022 г. посев был проведен в оптимальные сроки, 5 мая, при условиях, близких к среднемуголетним (см. рис. 1). Период от всходов до колошения проходил при пониженных температурах и достаточном увлажнении. Вторая половина вегетации проходила при благоприятных для развития фитопатогенов (в т. ч. листовой ржавчины), что отрицательно сказалось на урожайности (рис. 2).

Возможно, отсутствие визуальных признаков бурой ржавчины (естественный инфекционный фон не наблюдался, табл. 2), а также слабое развитие других болезней растений в 2022 г. и отдельные годы способствовали формированию максимальной урожайности за весь период исследований у некоторых сортов: Маргарита, Учитель, Гранни, Тризо и Ирень (рис. 2, табл. 3). Урожайность остальных сортов в целом оставалась на уровне 2021 г. Однако следует отметить, что оценка устойчивости сортов к болезням традиционно проводится не только по урожайности и степени поражения в условиях естественного инфекционного фона, но и при сравнении с защищенным контролем (фитосанитарной обработанным вариантом того же сорта).

В нашем исследовании защищенный контроль не использовался, что ограничивало возможность полной оценки толерантности сортов. Это требует дополнительных наблюдений в годы с более выраженным развитием патогенов.

Таблица 2

Устойчивость сортов яровой пшеницы к бурой ржавчине, 2021–2024 гг.

Сорт	2021	2022	2023	2024	Среднее	Δ	Гены устойчивости (по литературным источникам)
Злата (st)	5,0	9,0	9,0	3,0	6,5	b	<i>Lr10</i> [23]
Саратовская 74	7,0	9,0	9,0	3,0	7,0	ab	<i>Lr10</i> [24]
Агата	3,0	9,0	5,0	3,0	5,0	c	<i>Lr10, Lr19</i> [25, 26]
Тулайковская 108	5,0	9,0	7,0	7,0	7,0	a	<i>Lr19, Lr6</i> [27, 28]
Симбирцит	7,0	9,0	9,0	3,0	7,0	ab	<i>Lr10</i> [29]
Тюменская 29	7,0	9,0	9,0	3,0	7,0	ab	—
Обская 2	7,0	9,0	9,0	3,0	7,0	ab	—
Тобольская	7,0	9,0	9,0	1,0	6,5	b	—
Алтайская Жница	5,0	9,0	7,0	3,0	6,0	bc	—
Маргарита	5,0	9,0	7,0	3,0	6,0	bc	<i>Lr49, Lr34, Lr10</i> [30]
Учитель	3,0	9,0	9,0	3,0	6,0	bc	—

Окончание табл. 2

Сорт	2021	2022	2023	2024	Среднее	Δ	Гены устойчивости (по литературным источникам)
Фаворит	5,0	9,0	7,0	1,0	5,5	с	Lr6Agi [31]
Гранни	5,0	9,0	9,0	7,0	7,5	а	Lr21 [32, 33]
Тризо	5,0	9,0	7,0	3,0	6,0	bc	Lr2a, Lr18, Lr20 [34–36]
Ирень	1,0	9,0	5,0	5,0	5,0	с	—
Среднее по году	5,0	9,0	7,0	3,0	5,0		—

*Примечание: значения с одинаковыми буквами в столбце «Δ — Группы Дункана» статистически не отличаются друг от друга при уровне значимости $p \leq 0,05$. В 2022 г. отсутствовал естественный инфекционный фон по бурой ржавчине.

Источник: выполнено Б.Б. Наджодовым с помощью MS Excel и MS Word.

В 2023 г. посев осуществили в благоприятные сроки — 22 апреля. Условия теплообеспеченности и увлажнения способствовали быстрому и дружному появлению всходов. Однако дальнейшая вегетация сопровождалась сильной засухой при умеренной температуре (см. рис. 1). В результате растения пшеницы ускорили свое развитие и, в целом, недостаточно сформировали вегетативное тело. Во второй половине вегетации выпавшие осадки распределялись крайне неравномерно. В таких условиях листовая ржавчина проявилась слабо (см. табл. 2).

У сортов не было заметно видимых признаков поражения. Только у сортов Тулайковская 108, Алтайская Жница, Маргарита, Фаворит и Тризо обнаружили немногочисленные пустулы. Сорта Агата и Ирень показали средний уровень устойчивости. В 2023 г. снизили урожайность до минимальной за 4 года многие сорта: Злата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Фаворит (табл. 3, рис. 2). Урожайность остальных также была низкой относительно предыдущих лет. Поскольку ржавчины в 2023 г. было мало, то и ее влияние на урожайность сортов пшеницы была незначительной, что подтверждается отсутствием корреляции между урожайностью и устойчивостью (рис. 3).

Таблица 3

Урожайность сортов яровой пшеницы, г/м², в 2021–2024 гг.

Сорт	Урожайность, г/м²							Δ
	2021	2022	2023	2024	Среднее	min	max	
Злата (st)	421,3	423	272,1	308,7	356,3	272,1	423,0	b
Саратовская 74	436,4	426,2	288,7	231,9	345,8	231,9	436,4	ab
Агата	456,8	415,6	270,7	189,5	333,2	189,5	456,8	с
Тулайковская 108	426,9	294,4	252,1	356,5	332,5	252,1	426,9	а
Симбирцит	478,5	483,5	269	313,6	386,2	269,0	483,5	ab

Окончание табл. 3

Сорт	Урожайность, г/м ²							Δ
	2021	2022	2023	2024	Среднее	min	max	
Тюменская 29	436,6	434,3	232,1	277,9	345,2	232,1	436,6	ab
Обская 2	499,6	469,3	258,9	397,5	406,3	258,9	499,6	ab
Тобольская	527,2	497,4	315,8	273,6	403,5	273,6	527,2	b
Алтайская Жница	460,9	417,4	267,7	336,5	370,6	267,7	460,9	bc
Маргарита	489,3	717,0	353,7	252,8	453,2	252,8	717,0	bc
Учитель	311,9	466,4	219,4	164,6	290,6	164,6	466,4	bc
Фаворит	511,3	498,8	201,4	205,3	354,2	201,4	511,3	c
Гранни	467,9	500,7	282	198,7	362,3	198,7	500,7	a
Тризо	397,4	431,4	276,8	227,5	333,3	227,5	431,4	bc
Ирень	364,0	440,4	256,1	252,9	328,4	252,9	440,4	c
Среднее	445,7	461,1	267,8	336,5	377,8	267,8	461,1	–
НСР ₀₅	76,0	154,4	53,1	57,3	152,2	–	–	–

Примечание. Средние, помеченные одинаковыми буквами, не различаются при $p \leq 0,05$ (критерий Дункана); НСР₀₅ = г/м².

Источник: выполнено Б.Б. Наджодовым с помощью MS Excel и MS Word.

Анализ урожайности сортов яровой пшеницы за 2021–2024 гг. показал существенную изменчивость как по годам, так и между сортами. Средняя урожайность варьировала от 290,6 до 483,5 г/м². Минимальные значения урожайности большинства сортов зафиксированы в 2023 г., что, вероятно, связано с неблагоприятными погодными условиями в первой половине вегетации. Наибольшую стабильность по годам продемонстрировали сорта Злата (ст), Тулайковская 108, Обская 2 и Гранни. Сорт Маргарита показал максимальный уровень урожайности за весь период (717 г/м² в 2022 г.), однако отличался высокой амплитудой между годами (Δ = bc). По результатам однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) различия между сортами статистически значимы; НСР₀₅ = 152,2 г/м². Группировка средних по критерию Дункана выделила сорта с наивысшими показателями — Симбирцит, Тобольская, Обская 2, а также Тулайковская 108, вошедшая в группу «а», что свидетельствует о её высокой и стабильной продуктивности.

Не было заметно видимых признаков поражения сортов, только у сортов Тулайковская 108, Алтайская Жница, Маргарита, Фаворит и Тризо были обнаружены немногочисленные пустулы. Сорта Агата и Ирень показали средний уровень устойчивости. Многие сорта в 2023 г. снизили урожайность до минимальной за 4 года: Злата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Обская 2, Алтайская Жница, Фаворит (см. табл. 3, рис. 2). Урожайность остальных также была низкой

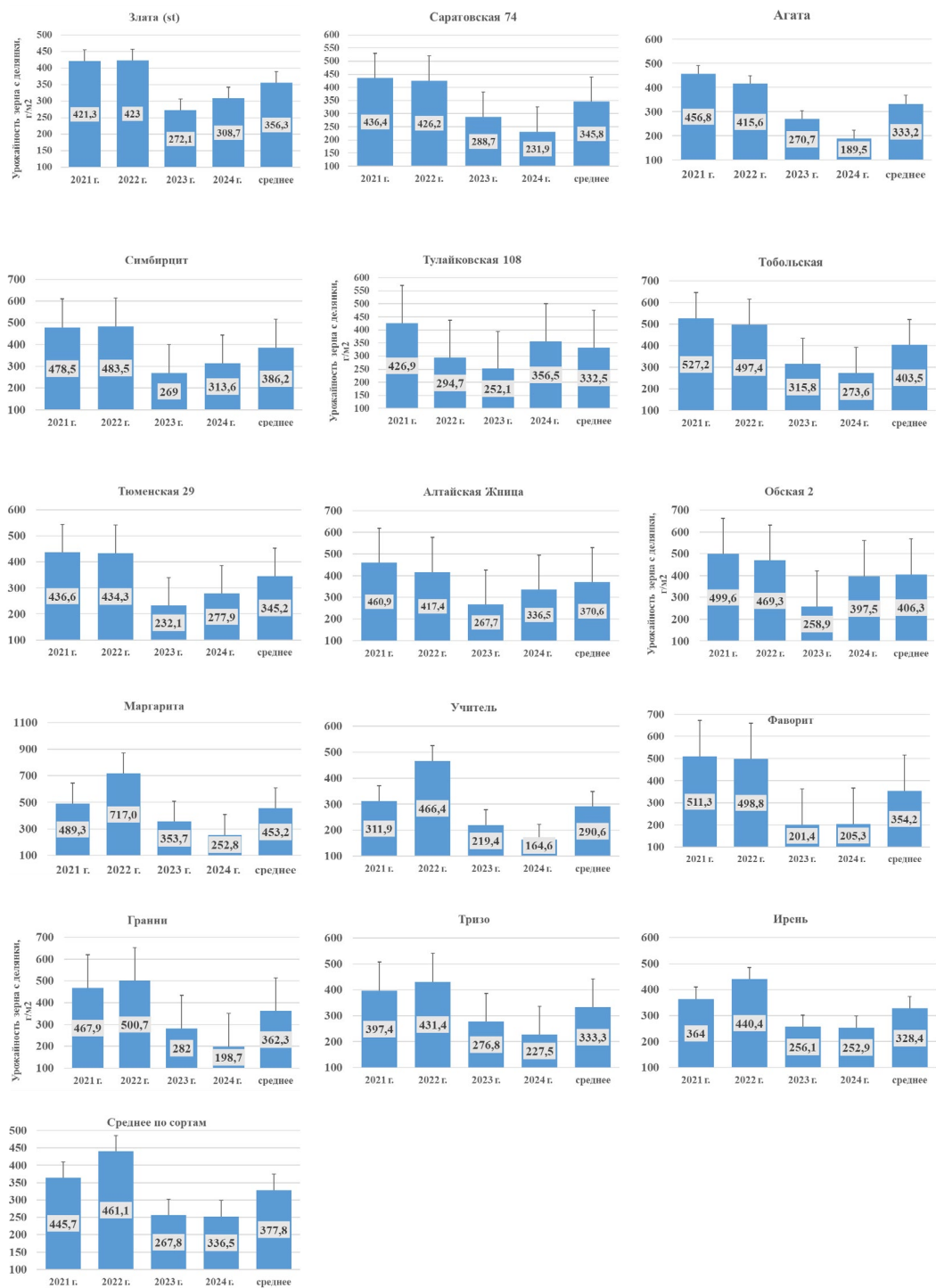


Рис. 2. Урожайность сортов яровой пшеницы, г/м², в 2021–2024 гг. и в среднем по годам (в качестве планки погрешности приведено значение НСР₀₅)

Источник: выполнил Б.Б. Наджодов с помощью программы Python 3.13.

относительно предыдущих лет. Поскольку ржавчины в 2023 г. было мало, то и ее влияние на урожайность сортов пшеницы оказалась незначительной.

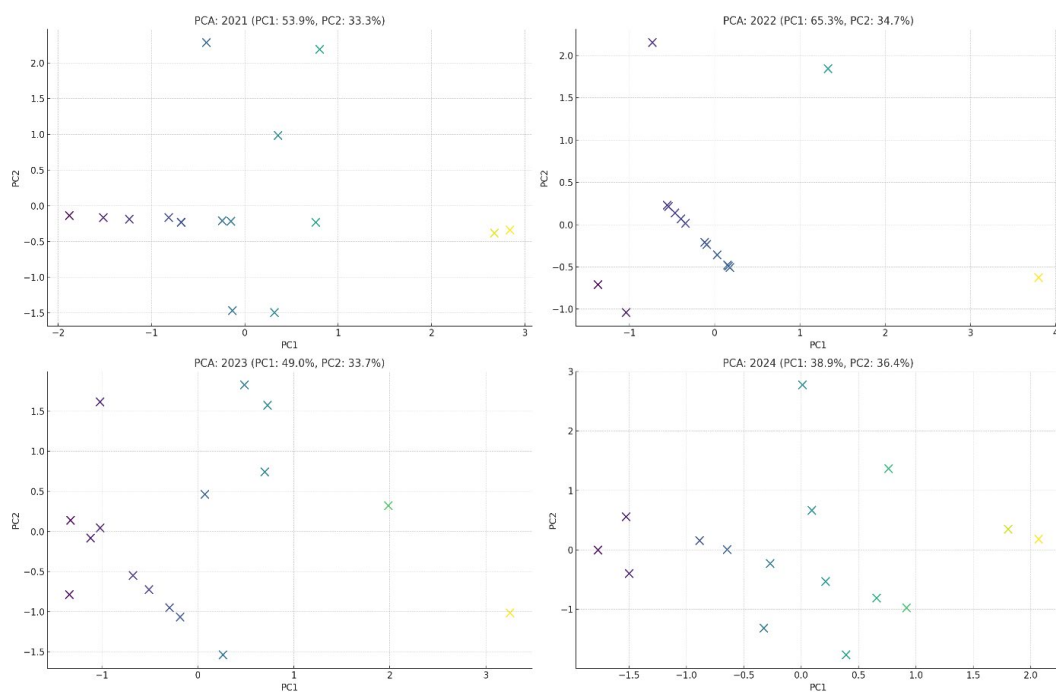


Рис. 3. Результаты анализа главных компонент (PCA) по урожайности, устойчивости к бурой ржавчине и наличию генов устойчивости у сортов яровой пшеницы в 2021–2024 гг.

Источник: выполнил Б.Б. Наджодов с помощью программы Python 3.13.

В 2024 г. после посева 29 апреля наблюдалось резкое понижение температуры, всходы появились только 14 мая. В период от всходов до колошения наблюдалась сильная засуха на фоне высоких температур (см. рис. 1). Это не позволило растениям пшеницы сформировать развитые побеги, аналогично 2023 г. Дальнейшая вегетация проходила при избытке осадков и повышенной температуре, что благоприятствовало развитию бурой ржавчины (см. табл. 2). Из всего набора сортов только Тулайковская 108 и Гранни показали высокую устойчивость (7 баллов), Ирень — среднюю (5 баллов), возможно, вследствие своей раннеспелости. Остальные сорта продемонстрировали различную степень восприимчивости (1–3 балла). Таким образом, в 2024 г. на засуху наложилась эпифитотия бурой ржавчины, что привело к низкой урожайности зерна (см. рис. 2). Отдельные сорта оказались толерантны к болезни и сформировали урожайность несколько выше, чем в 2023 г.: Злата, Тулайковская 108, Симбирцит, Тюменская 29, Алтайская Жница, Обская 2. Анализ главных компонент (PCA), выполненный на основе данных по урожайности, устойчивости к бурой ржавчине и наличию генов устойчивости, позволил дифференцировать сорта яровой пшеницы по их реакции на совокупность биотических и абиотических факторов в условиях Центрального Нечерноземья. Полученные

РСА-графики по годам (2021–2024) продемонстрировали, что в благоприятные годы (например, в 2022) сорта с высокой устойчивостью формировали отдельные группы с повышенной урожайностью. Напротив, в годы с выраженным абиотическим стрессом (например, засуха в 2024 г.), решающим фактором снижения урожайности было ограниченное развитие вегетативной массы, независимо от степени устойчивости к ржавчине. Таким образом, результаты РСА подтверждают, что комплексная адаптивность сортов зависит не только от наличия устойчивости к патогенам, но и от способности противостоять неблагоприятным погодным условиям, особенно в засушливые периоды.

Возвращаясь к генам устойчивости к бурой ржавчине у изученного набора сортов пшеницы мягкой яровой, можно сказать, что в годы с невысоким естественным инфекционным фоном в ЦРНЗ они вполне эффективно защищают растения от болезни. Но в годы, благоприятные для развития эпифитотий, их защиты недостаточно. По нашим данным, наиболее высокую защиту в эпифитотийный год дают гены *Lr19 + Lr6* (сорт Тулайковская 108) и *Lr 21* (сорт Гранни).

Заключение

В годы с благоприятными метеорологическими условиями в период от всходов до колошения в Центральном районе Нечерноземной зоны устойчивость сортов пшеницы мягкой яровой к бурой ржавчине положительно влияет на урожайность зерна. При засухе в этот период основным фактором снижения урожайности является плохое развитие растений. В годы с невысокой инфекционной нагрузкой гены устойчивости *Lr*, имеющиеся у изученного набора сортов, относительно эффективно защищают их. В годы эпифитотий защиты этих генов недостаточно. Поэтому следует искать более эффективные гены или их комплексы при создании новых сортов в ЦРНЗ. Наиболее эффективными за 2021–2024 гг. оказались гены *Lr19 + Lr6* (донор сорт Тулайковская 108) и *Lr 21* (донор сорт Гранни).

Список литературы

1. Chai Y, Senay S, Horvath D, Pardey P. Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1034600. doi: 10.3389/fpls.2022.1034600 EDN: LSNITO
2. Cheng F, Wu J, Cai X, Liang J, Freeling M, Wang X. Gene retention, fractionation and subgenome differences in polyploid plants. *Nature Plants*. 2018;4:258–268. doi: 10.1038/s41477-018-0136-7
3. Liang YM, Liu HJ, Yan JB, Tian F. Natural variation in crops: Realized understanding, continuing promise. *Annual Review of Plant Biology*. 2021;72:357–385. doi: 10.1146/annurev-arplant-080720-090632 EDN: ELZUFR
4. Huerta-Espino J, Singh RP, German S, McCallum BD, Park RF, Chen WQ, et al. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica*. 2011;179:143–160. doi: 10.1007/s10681-011-0361-x EDN: OKOVB
5. Prasad P, Savadi S, Bhardwaj SC, Gupta PK. The progress of leaf rust research in wheat. *Fungal Biology*. 2020;124(6):537–550. doi: 10.1016/j.funbio.2020.02.013 EDN: YJYXSQ
6. Li H, Hua L, Zhao S, Hao M, Song R, Pang S, et al. Cloning of the wheat leaf rust resistance gene *Lr47* introgressed from *Aegilops speltoides*. *Nature Communications*. 2023;14:6072. doi: 10.1038/s41467-023-41833-2 EDN: FDNXXI

7. Репникова Е.Г., Зеленева Ю.В., Судникова В.П. Головневые болезни пшеницы на территории Центрально-Черноземного заповедника, выявление источников и доноров устойчивости // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2020. Т. 29. С. 214–221. doi: 10.30679/2587-9847-2020-29-214-22 EDN: XNREHN
8. Крупин П.Ю., Груздев И.В., Дивашук М.Г., Баженов М.С., Кочешкова А.А., Черноок А.Г., Дудников М.В., Карлов Г.И., Соловьев А.А. Анализ коллекции яровой тритикале по генам устойчивости к листовой ржавчине с помощью ПЦР-маркеров // Генетика. 2019. Т. 55. № 8. С. 893–903. doi: 10.1134/S0016675819080083 EDN: WCJGGM
9. Peturson B. Wheat rust epidemics in Western Canada in 1953, 1954, and 1955. *Canadian Journal of Plant Science*. 1985;38:16–28. EDN: WCJGGM
10. Samborski DJ. Wheat leaf rust. In: Roelfs AP, Bushnell WR. (eds.) *The Cereal Rusts*. New York: Academic Press; 1985. p.39–59.
11. McCallum BD, DePauw RM. A review of wheat cultivars grown in the Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*. 2008;88(4):649–677. doi: 10.4141/CJPS07159
12. Зеленева Ю.В., Гулятьева Е.И., Плахотник В.В. Идентификация Lr-генов у образцов мягкой пшеницы, устойчивых к возбудителю бурой ржавчины в условиях ЦЧР, с использованием ДНК-маркеров // Вестник защиты растений. 2013. № 3. С. 34–39. EDN: RBZVYL
13. Рубец В.С., Лаппо А.А., Пыльнев В.В., Ворончихина И.Н., Ворончихин В.В. Селекция мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в Российской Федерации // Кормопроизводство. 2023. № 7. С. 32–43. doi: 10.25685/krm.2023.7.2023.006 EDN: NSUJLH
14. McIntosh RA, Hart GE, Gale MD. Catalogue of gene symbols for wheat. In: Li ZS, Xin ZY. (eds.) *Proceedings of the 8th International Wheat Genetics Symposium*. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press; 1993. p.1333–1500.
15. Xu XY, Kolmer J, Li G, Tan C, Carver BF, Bian R, et al. Identification and characterization of the novel leaf rust resistance gene *Lr81* in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135:2725–2734. doi: 10.1007/s00122-022-04145-5 EDN: SQYXAO
16. Bariana HS, Babu P, Forrest KL, Park RF, Bansal UK. Discovery of the new leaf rust resistance gene *Lr82* in wheat: Molecular mapping and marker development. *Genes*. 2022;13(6):964. doi: 10.3390/genes13060964 EDN: PKZPQY
17. Kumar K, Jan I, Saripalli G, Sharma PK, Mir RR, Balyan HS, et al. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics*. 2022;13:816057. doi: 10.3389/fgene.2022.816057 EDN: VWWYZA
18. Kou H, Zhang Z, Yang Y, Wei C, Xu L, Zhang G. Advances in the mining of disease resistance genes from *Aegilops tauschii* and the utilization in wheat. *Plants*. 2023;12(4):880. doi: 10.3390/plants12040880 EDN: EHJEDG
19. Lin G, Chen H, Tian B, Sehgal SK, Singh L, Xie J, et al. Cloning of the broadly effective wheat leaf rust resistance gene *Lr42* transferred from *Aegilops tauschii*. *Nature Communications*. 2022;13:3044. doi: 10.1038/s41467-022-30784-9 EDN: XXYONA
20. Krattinger SG, Lagudah ES, Spielmeier W, Singh RP, Huerta-Espino J, McFadden H, et al. A putative ABC transporter confers durable resistance to multiple fungal pathogens in wheat. *Science*. 2009;323(5919):1360–1363. doi: 10.1126/science.11664
21. Moore JW, Herrera-Foessel S, Lan C, Schnippenkoetter W, Ayliffe M, Huerta-Espino J, et al. A recently evolved hexose transporter variant confers resistance to multiple pathogens in wheat. *Nature Genetics*. 2015;47:1494–1498. doi: 10.1038/ng.3439
22. Гулятьева Е.И., Алпатьева Н.В. Устойчивость к возбудителю бурой ржавчины сортов пшеницы, испытываемых на Госсортоучастках Северо-Запада РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2011. Т. 168. С. 95–106. EDN: UBNLRH
23. Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость образцов мягкой пшеницы к *Blumeria graminis* и *Puccinia recondita* с известными генами устойчивости // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 34–42. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11108 EDN: FQYWQD
24. Долматович Т.В., Булойчик А.А., Гриб С.И. Идентификация генов устойчивости к бурой, стеблевой и желтой ржавчине в сортах яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2017. Т. 61. № 5. С. 97–102. EDN: ZSUHLX
25. Сочалова Л.П., Бойко Н.И., Потешкина А.А., Пискарев В.В. Эффективные в Новосибирской области гены устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в связи с изменчивостью популяции *Puccinia*

triticina // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184. № 2. С. 235–244. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-235-244 EDN: WVGXSY

26. Гульяева Е.И. Разнообразие российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине // Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам : тезисы докладов IV Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 11–13 октября 2016. СПб., 2016. С. 24. EDN: WNYGYF

27. Сюков В.В., Зубов Д.Е. Генетическая коллекция мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине: методические рекомендации. Самара : СамНЦ РАН, 2008. 24 с. EDN: XDVRQT

28. Крупнов В.А., Сибикеев С.Н., Крупнова О.В., Воронина С.А., Дружин А.Е. Эффекты взаимодействия транслокаций от пырея удлиненного и пырея промежуточного в генофонде мягкой пшеницы // Аграрный вестник Юго-Востока. 2010. № 1(4). С. 11–14. EDN: WMVNDN

29. Сюков В.В., Тырышкин Л.Г., Захаров В.Г. Доноры полевой устойчивости яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к листовой бурой ржавчине (*Puccinia recondita* Rob ex Desm) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5–3. С. 1166–1172. EDN: TPIEIZ

30. Mebrate SA, Dehne HW, Pillen K, Oerke EC. Postulation of seedling leaf rust resistance genes in selected Ethiopian and German bread wheat cultivars. *Crop Science*. 2008;48(2):507–516. doi: 10.2135/cropsci2007.03.0173 EDN: MMWNSH

31. Bundessortenamt. (ed.) *Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte*. Hannover: Bundessortenamt; 1995.

32. Bundessortenamt. (ed.) *Beschreibende Sortenliste 1997*. Hannover: Landbuch-Verlag; 1997. p.72–73.

33. Stepien L, Chelkowski J, Wenzel G, Mohler V. Combined use of linked markers for genotyping the *Pm1* locus in common wheat. *Cellular and Molecular Biology Letters*. 2004;9:819–827. EDN: MGMURH

34. Kolomiets TM, Kovalenko ED, Zhemchuzhina AI, Pankratova LF, Lapochkina IF. Postulated resistance genes in cultivars and lines with alien genes to leaf rust of wheat. In: *The International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference*; Norwich: John Innes Centre; 2004. p.32.

35. Mohler V, Hsam SLK, Zeller FJ, Wenzel G. An STS marker distinguishing the rye-derived powdery mildew resistance alleles at the *Pm8/Pm17* locus of common wheat. *Plant Breeding*. 2001;120(5):448–450. doi: 10.1046/j.1439-0523.2001.00622.x EDN: BASERJ

36. Neu C, Stein N, Keller B. Genetic mapping of the *Lr20–Pm1* resistance locus reveals suppressed recombination on chromosome arm 7AL in hexaploid wheat. *Genome*. 2002;45(4):737–744. doi: 10.1139/g02-040

Об авторах:

Наджодов Бобурджон Баходурович — аспирант кафедры генетики, селекции и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; лаборант-исследователь лаборатории прикладной геномики и частной селекции сельскохозяйственных растений, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: boburnajodov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1932-9522 SPIN-код: 9735-3156

Рубец Валентина Сергеевна — доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории спидбридинга в селекции сельскохозяйственных культур, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; ведущий научный сотрудник, Отдел отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Российская Федерация, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 4; e-mail: Valentina.rubets50@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1870-7242 SPIN-код: 8963-2357

Дивашук Михаил Георгиевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией прикладной геномики и частной селекции сельскохозяйственных растений, Курчатowski геномный центр, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: divashuk@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6221-3659 SPIN-код: 8314-5270



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-368-383

EDN VFLWOG

УДК 633.16

Научная статья / Research article

Характеристика селекционных признаков у новых образцов ячменя ярового *Hordeum vulgare* L. в условиях Северо-Запада России

Т.Н. Радюкевич , Л.И. Карташева , Е.Н. Пасынкова  

Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха», д. Белогорка, Ленинградская обл., Российская Федерация

 pasynkova.elena@gmail.com

Аннотация. Исследования проведены в 2020–2021 гг. в Ленинградском НИИСХ «Белогорка» — филиале ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», расположенном в деревне Белогорка Гатчинского района Ленинградской области. Цель — выявить источники хозяйственно ценных признаков из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова по основным элементам структуры урожая для создания ценного селекционного материала ячменя ярового. В соответствии с Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (2012) и Международным классификатором СЭВ рода *Hordeum* L. (1983) изучено 17 новых сортов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения. В качестве стандартов использованы сорта: Суздалец (по урожайности) селекции нескольких организаций и Ленинградский (по скороспелости) селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка». Стандартный сорт Ленинградский по скороспелости в оба года превзошел сорт Магутны (Беларусь). Выделены 7 сортов (Dhow, Докучаевский 15, Лунь, Магутны, Мустанг, J.B. Maltasia, и Казак), у которых созревание наступало на 5–14 дней раньше стандартного сорта Суздалец (вегетационный период в среднем за два года составлял 81 день). По продуктивной кустистости 3 сорта превысили сорт-стандарт Суздалец (3,0 шт.): Магутны — на 0,3, Dhow — 0,5 и J.B. Maltasia — 0,6 шт. Выделены 6 сортов: Rubiola, Шляхтіч, Беатрис, Магутны, Казак и Лунь — по массе 1000 зерен (более 45,9 г) и образец, устойчивый к мучнистой росе в оба года изучения — J.B. Maltasia. Все выделенные образцы будут использованы в селекционном процессе в качестве генетических источников хозяйственно ценных признаков в почвенно-климатических условиях Ленинградской области.

© Наджодов Б.Б., Рубец В.С., Дивашук М.Г., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: сорт, элементы продуктивности, адаптационные индексы, скороспелость, Белогорка

Вклад авторов: Авторы внесли равноценный вклад в получение и обработку результатов исследования, написание статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания FZSW-2019–0011.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 11 ноября 2024 г., принята к публикации 15 июля 2025 г.

Для цитирования: Радюкевич Т.Н., Карташева Л.И., Пасынкова Е.Н. Характеристика селекционных признаков у новых образцов ячменя ярового *Hordeum vulgare* L. в условиях Северо-Запада России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 20. № 3. С. 368–383. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-368-383 EDN: VFLWOG

Characteristics of selection traits in new accessions of spring barley *Hordeum vulgare* L. in the conditions of North-West Russia

Tatiana N. Radyukevich , Ludmila I. Kartasheva , Elena N. Pasyunkova  

Leningrad Research Agricultural Institute ‘Belogorka’, *Leningrad region, Russian Federation*
 pasynkova.elena@gmail.com

Abstract. The research was conducted in 2020–2021 at Leningrad Research Institute ‘Belogorka’ — a branch of Russian Potato Research Centre, located in the village of Belogorka, Gatchina district, Leningrad region. The research was carried out to identify sources of economically valuable traits from the collection of Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources on the main elements of crop structure to create valuable breeding material for spring barley. In accordance with the Methodological Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oats (2012) and the International comecon list of descriptors for genus *Hordeum* L. (1983), 17 new spring barley cultivars of different ecological and geographical origins were studied over two years. Two cultivars were used as standards — Suzdalets (by yield) selected by several organizations and Leningradsky (by early ripening) selected by Leningrad Research Agricultural Institute ‘Belogorka’. The standard cv. Leningradsky surpassed cv. Magutny (Belarus) by early ripening in both years. 7 cultivars were identified (Dhow, Dokuchaevsky 15, Lun, Magutny, Mustang, J.B. Maltasia, and Kazak), for which maturation occurred 5–14 days earlier compared to standard cv. Suzdalets (growing season averaged 81 days over two years). According to productive tillers, 3 cultivars were identified that exceeded the standard cv. Suzdalets (3.0 plants): Magutny — by 0.3, Dhow — by 0.5 and J.B. Maltasia — by 0.6 plants. By weight of 1000 grains (more than 45.9 g), 6 varieties were identified: Rubiola, Shlyakhtsich, Beatrice, Magutny, Kazak and Lun. A cultivar resistant to powdery mildew in both years of study was distinguished — J.B. Maltasia. The selected cultivars will be used in the breeding process as genetic sources of agronomic traits in the conditions of the Leningrad region.

Keywords: cultivar, productivity elements, adaptation indices, early ripening, Belogorka

Authors’ contribution. All authors contributed equally to obtaining and processing the research results presented in this manuscript.

Funding. The work was carried out within the framework of State assignment FZSW-2019–0011.

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Article history: received 11 November 2024; accepted 15 July 2025.

For citation: Radyukevich TN, Kartasheva LI, Pasyunkova EN. Characteristics of selection traits in new accessions of spring barley *Hordeum vulgare* L. in the conditions of North-West Russia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):368–383. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-368-383 EDN: VFLWOG

Введение

Ячмень — основная зернофуражная культура Северо-Западного региона России. Повышение урожайности и увеличение площадей возделывания основных зернофуражных культур является приоритетным направлением в растениеводстве региона. Сорты ячменя ярового интенсивного и полуинтенсивного типов при внесении значительных доз минеральных удобрений и применения пестицидов в условиях Ленинградской области обеспечивают урожайность зерна более 5 т/га [1].

Короткий период вегетации, повышенная кислотность почвы, токсичность алюминия, неравномерное выпадение осадков — основные абиотические стрессоры для растений ярового ячменя в Северо-Западном регионе. Главные биотические стрессы — поражение грибными болезнями и вирусными болезнями (мучнистая роса, листовые пятнистости и желтая карликовость ячменя) [2].

Неисчерпаемым генетическим источником в селекции растений является мировая коллекция Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) [3–8].

Задачи селекционной работы можно решить за счет выявления селекционных достоинств исходного материала и введения в селекционный процесс новых источников устойчивости [9].

Признаки, определяющие продуктивность растений и подлежащие улучшению в процессе селекции, многочисленны и разнообразны. К ним относятся признаки, составляющие структуру урожая: кустистость, длина колоса, число и масса зерен в колосе, масса 1000 зерен, высота растений и т.д. [10–12].

Остается актуальным поиск сортов ячменя, устойчивых к возбудителю темно-бурой пятнистости [13].

Цель исследования — выявить источники хозяйственно ценных признаков из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова по основным элементам структуры урожая для создания ценного селекционного материала ячменя ярового.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служили 17 новых образцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения: из Австралии, Беларуси, Украины, Латвии, Германии, США, Португалии и России (табл. 1).

Таблица 1

Сорта ярового ячменя, их происхождение и разновидность

№ в каталоге ВИР	Наименование сорта	Разновидность	Происхождение
30975	Ленинградский, стандарт	pallidum	Ленинградская область, Россия
30314	Суздалец, стандарт	nutans	Московская область, Россия
31061	Sublette	nutans	США
31065	Винницкий 28	nutans	Украина
31066	Докучаевский 15	nutans	Воронежская область, Россия
31096	Тимерхан	nutans	Татарстан, Россия
31102	Лунинский	nutans	Пензенская область, Россия
31115	Таусень	nutans	Архангельская область, Россия
31145	Rubiola	nutans	Латвия
31156	Dhow	nutans	Австралия
31175	Беатрис	nutans	Германия
31243	J.B. Maltasia	nutans	Германия
31226	K-31226	nutans	Португалия
31225	Шляхтіч	nutans	Беларусь
31101	Лунь	medicum	Пензенская область, Россия
31144	Jumara	deficiense	Латвия
31149	Магутны	deficiense	Беларусь
31224	Мустанг	deficiense	Беларусь
31177	Казак	submedicum	Самарская область, Россия

Источник: выполнено Т.Н. Радюкевич, Л.И. Карташевой, Е.Н. Пасынковой.

Table 1

Spring barley cultivars, their origin and varieties

Catalogue No. VIR	Cultivar	Variety	Origin
30975	Leningradsky, standard	pallidum	Leningrad region, Russia
30314	Suzdalets, standard	nutans	Moscow region, Russia
31061	Sublette	nutans	USA
31065	Vinnitsky 28	nutans	Ukraine
31066	Dokuchaevsky 15	nutans	Voronezh region, Russia
31096	Timerkhan	nutans	Tatarstan, Russia
31102	Luninsky	nutans	Penza region, Russia
31115	Tausen	nutans	Arkhangelsk region
31145	Rubiola	nutans	Latvia
31156	Dhow	nutans	Australia
31175	Beatrice	nutans	Germany
31243	J.B. Maltasia	nutans	Germany
31226	K-31226	nutans	Portugal
31225	Shlyakhtsich	nutans	Belarus
31101	Lun	medicum	Penza region, Russia
31144	Jumara	deficiense	Latvia
31149	Magutny	deficiense	Belarus
31224	Mustang	deficiense	Belarus
31177	Kazak	submedicum	Samara region, Russia

Source: compiled by T.N. Radyukevich, L.I. Kartasheva, E.N. Pasynkova.

Исследования проведены на опытном поле Ленинградского НИИСХ «Белогорка» в течение 2020–2021 гг. (д. Белогорка, Гатчинского района, Ленинградской области).

Опыты размещались после картофеля в севообороте опытного поля института. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ (нитроаммофоска 16:16:16). Посев коллекционных образцов осуществляли в оптимальные сроки — 4–10 мая. Норма высева — 3 млн шт. всхожих зерен на 1 га. Посев и уборку проводили вручную. Площадь учетной делянки — 1 м². Повторность в опыте — однократная с частым повторением стандарта. Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднеоккультуренная, легкосуглинистая с содержанием гумуса 2,41...2,80 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО), подвижный фосфор P_2O_5 —140...185 и обменный калий K_2O — 135...150 мг/кг почвы (по Кирсанову), pH_{KCl} — 4,0...4,5.

В период проведения опыта отмечали сроки наступления фаз развития, поражение болезнями и полегание растений ярового ячменя. Учет морфологических и хозяйственно-биологических признаков проводили в соответствии с Международным классификатором СЭВ рода *Hordeum* L.¹ и Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса². Определяли основные элементы структуры урожая — высоту растений, длину колоса, массу зерна с одного колоса, число зерен в нем, а также массу 1000 зерен.

Адаптационные индексы определяли по формулам Eberhart end Russel [14]:

- адаптационный потенциал растений — отношением

$$ds / dk, \quad (1)$$

где ds — длина стебля; dk — длина колоса;

- индекс экологической пластичности по формуле

$$Jsp = Ss/Sk, \quad (2)$$

где Ss — урожайность сорта; Sk — средняя урожайность всех сортов выборки;

- индекс перспективности

$$Jp = (M1000 \text{ з.})/ds \times 100, \quad (3)$$

где $M1000 \text{ з.}$ — масса 1000 зерен; ds — длина стебля.

В качестве стандарта по урожайности использовали среднеспелый продуктивный сорт Суздалец (совместной селекции 5 научных организаций России: НИИСХ Центральных Районов Нечерноземной зоны, Владимирского НИИСХ, Рязанского НИПТИ АПК, Курского НИИ АГТ и АОЗТ Агропрогресс), который включен в Госреестр по Северо-Западному (2), Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам в 1998 г. Сорт широко возделывается в Ленинградской области, на государственных сортоучастках также является стандартом. Разновидность — нутанс.

Стандартом по скороспелости служил сорт Ленинградский (селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка», 2009 г.). Родословная: Т 2146 (Чехия)х Kaisa (Швеция). Включен в Госреестр по Северо-Западному (2) региону. Рекомендован для возделывания в Вологодской и Ленинградской областях. Разновидность —

¹ Лекеш Я., Бареш И., Форал А., Одигал И., Ружичка Ф., Бобек М., Трофимовская А., Лукьянова М., Корнейчук В., Ильина Н., Ярош Н. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum*. Ленинград : ВИР, 1983. 50 с.

² Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб. : ВИР, 2012. 63 с.

паллидум. Растение короткое. Зерновка средней крупности, масса 1000 зерен — 31...40 г. Средняя урожайность в регионе допуска (в период испытания) составила 29,2 ц/га. Максимальная урожайность 52,4 ц/га получена в 2006 г. в Ленинградской области. Раннеспелый, вегетационный период 64...75 дней, созревает на 10 дней раньше сорта Суздалец. Зернофуражный. Содержание белка — 11,3...11,9 %.

Учет болезней вели по методике О.С. Афанасенко [15].

Статистическая обработка проведена по алгоритму бесповторного опыта с частым стандартом, реализованного в пакете селекционно-ориентированных программ Agros, версия 2.07, 1993–1998 гг.

Для оценки складывающихся метеорологических условий использовали данные по количеству осадков и температуре воздуха, полученные на метеостанции д. Белогорка Гатчинского района Ленинградской области (табл. 2).

Таблица 2

Метеорологическая характеристика вегетационных периодов 2020–2021 гг.

Месяц	2020 г.			2021 г.		
	Среднесуточная температура воздуха, °С	Отклонение от среднего многолетнего значения, °С	Отношение суммы осадков к среднему многолетнему значению, %	Среднесуточная температура воздуха, °С	Отклонение от среднего многолетнего значения, °С	Отношение суммы осадков к среднему многолетнему значению, %
Май	8,5	–0,8	85,2	10,6	+1,3	253,8
Июнь	17,4	+3,4	52,9	19,2	+5,2	31,8
Июль	16,0	–0,7	97,1	20,5	+3,8	22,3
Август	15,5	+0,8	121,4	15,2	+0,4	122,8

Источник: выполнено Т.Н. Радюкевич, Л.И. Карташевой, Е.Н. Пасынковой.

Table 2

Meteorological characteristics of growing seasons in 2020–2021

Month	2020			2021		
	Average daily air temperature, °C	Deviation from the long-term average, °C	Ratio of precipitation to the average long-term value, %	Average daily air temperature, °C	Deviation from the long-term average, °C	Ratio of precipitation to the average long-term value, %
May	8.5	–0.8	85.2	10.6	+1.3	253.8
June	17.4	+3.4	52.9	19.2	+5.2	31.8
July	16.0	–0.7	97.1	20.5	+3.8	22.3
August	15.5	+0.8	121.4	15.2	+0.4	122.8

Source: compiled by T.N. Radyukevich, L.I. Kartasheva, E.N. Pasynkova.

2020 г. В первой и второй декадах мая погода была прохладной и дождливой, в третьей декаде наблюдались заморозки. В июне погода была теплой и сухой. Температура воздуха выше нормы на 34 %, в отдельные дни достигала 30 °С. Дефицит влаги (52,9 % к норме) и высокие температуры воздуха отрицательно сказались на росте и развитии растений ярового ячменя в начальный период вегетации.

Июль чередовался теплой и прохладной погодой. В третьей декаде начались дожди, и созревание всех зерновых затянулось. В августе погода была сухой, умеренно-теплой, в третьей декаде количество осадков выпало выше нормы. Условия для уборки были неблагоприятные, что характерно для Северо-Западного региона России.

2021 г. В мае осадков выпало 253,8 % к норме, температура воздуха была на 13 % выше среднесуточного значения.

В июне погода была жаркой и сухой, температура воздуха выше нормы на 5,2 %. Сумма осадков (20,7 мм) составила всего 31,8 % от климатической нормы. Влагозапасы в почве уменьшались. Развитие растений проходило при большом дефиците влаги в пахотном горизонте и жаркой погоде. В июле жаркая и сухая погода продолжалась, температура воздуха была выше нормы на 3,8 °С, а сумма осадков составила 22,3 % от нормы. Растения испытывали большой недостаток влаги в период колошения и созревания зерна, что привело в дальнейшем к быстрому наливу зерна и вызвало его щуплость. Высокая температура воздуха и дефицит влаги в 2020 и особенно в 2021 г. отрицательно сказались на развитии растений и наливе зерна в колосе и урожайности.

Результаты исследования и обсуждение

Известно, что продолжительность вегетационного периода — одно из основных и важнейшее для Северо-Западного региона с его неустойчивой погодой биологическое свойство сорта [2].

Стандартный сорт Ленинградский (селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка») по скороспелости в оба года превзошел сорт Магутны (Беларусь). В среднем за годы исследований созревание сортов ярового ячменя: Dhow, Докучаевский 15, Лунь, Магутны, Мустанг, J.B. Maltasia и Казак — наступало на 5–14 дней раньше стандартного сорта Суздалец, у которого вегетационный период составил 81 день (табл. 3).

Таблица 3

Агробиологическая характеристика образцов ярового ячменя из коллекции ВИР за 2020–2021 гг.

Сорт	Высота растений, см			Продуктивная кустистость, шт.			Длина вегетационного периода, дн.		
	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее
Ленинградский, стандарт	48,9	63,2	56,1	1,9	2,4	2,2	80	61	71
Суздалец, стандарт	54,8	59,3	57,1	2,8	3,2	3,0	92	70	81
Dhow	30,5	51,7	41,1	2,5	4,4	3,5	73	61	67
Докучаевский 15	42,3	62,4	52,4	2,2	3,1	2,7	87	62	75
Лунь	48,9	68,5	58,7	1,4	3,7	2,6	86	63	75
Магутны	39,8	63,3	51,6	2,2	4,3	3,3	86	65	76
Казак	53,4	71,5	62,5	2,5	2,5	2,5	88	63	76
J.B. Maltasia	47,0	64,9	56,0	3,8	3,3	3,6	88	63	76
Мустанг	43,7	63,3	53,5	2,2	3,1	2,7	88	64	76
Тимерхан	45,4	58,7	52,1	2,0	2,6	2,3	88	65	77
Лунинский	46,1	56,9	51,5	2,5	3,2	2,9	90	63	77
Jumara	44,3	67,7	56,0	2,5	3,3	2,9	87	66	77

Окончание табл. 3

Сорт	Высота растений, см			Продуктивная кустистость, шт.			Длина вегетационного периода, дн.		
	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее
Sublette	46,2	55,5	50,9	2,4	3,2	2,8	90	65	78
Винницкий 28	58,4	62,3	60,4	3,2	2,5	2,9	92	64	78
Rubiola	51,8	65,3	58,6	1,5	2,8	2,2	88	67	78
Беатрис	48,0	57,6	52,8	3,7	2,7	3,2	90	65	78
К-31226	50,7	68,4	59,6	2,6	3,0	2,8	88	67	78
Шляхтціч	43,5	63,8	53,7	2,2	2,7	2,5	92	65	79
Таусень	50,6	67,6	59,1	2,2	3,5	2,9	93	67	80
Среднее	47,1	62,7	54,9	1,9	2,4	2,8	88	65	76
HCP ₀₅	1,9	1,1	1,5	0,1	0,2	0,2	4	4	2

Источник: составлено Т.Н. Радюкевич, Л.И. Карташевой, Е.Н. Пасынковой на основе экспериментальных данных.

Table 3

Agrobiological characteristics of spring barley cultivars from the VIR collection (for 2020–2021)

Variety	Plant height, cm			Productive tillers			Length of growing season, days		
	2020	2021	Average	2020	2021	Average	2020	2021	Average
Leningrad, standard	48.9	63.2	56.1	1.9	2.4	2.2	80	61	71
Suzdalets, standard	54.8	59.3	57.1	2.8	3.2	3.0	92	70	81
Dhow	30.5	51.7	41.1	2.5	4.4	3.5	73	61	67
Dokuchaevsky 15	42.3	62.4	52.4	2.2	3.1	2.7	87	62	75
Lun	48.9	68.5	58.7	1.4	3.7	2.6	86	63	75
Magutny	39.8	63.3	51.6	2.2	4.3	3.3	86	65	76
Kazak	53.4	71.5	62.5	2.5	2.5	2.5	88	63	76
J.B. Maltasia	47.0	64.9	56.0	3.8	3.3	3.6	88	63	76
Mustang	43.7	63.3	53.5	2.2	3.1	2.7	88	64	76
Timerkhan	45.4	58.7	52.1	2.0	2.6	2.3	88	65	77
Luninsky	46.1	56.9	51.5	2.5	3.2	2.9	90	63	77
Jumara	44.3	67.7	56.0	2.5	3.3	2.9	87	66	77
Sublette	46.2	55.5	50.9	2.4	3.2	2.8	90	65	78
Vinnitsky 28	58.4	62.3	60.4	3.2	2.5	2.9	92	64	78
Rubiola	51.8	65.3	58.6	1.5	2.8	2.2	88	67	78
Beatrice	48.0	57.6	52.8	3.7	2.7	3.2	90	65	78
K-31226	50.7	68.4	59.6	2.6	3.0	2.8	88	67	78
Shlyakhttsich	43.5	63.8	53.7	2.2	2.7	2.5	92	65	79
Tausen	50.6	67.6	59.1	2.2	3.5	2.9	93	67	80
Average	47.1	62.7	54.9	1.9	2.4	2.8	88	65	76
LSD ₀₅	1.9	1.1	1.5	0.1	0.2	0.2	4	4	2

Source: compiled by T.N. Radyukevich, L.I. Kartasheva, E.N. Pasynkova based on experimental data.

Продуктивная кустистость — генотипический признак, влияющий на продуктивность сорта, — в неблагоприятных климатических условиях уменьшается.

В фазу кущения погодные условия были неудовлетворительными (недостаток влаги), в результате растения не сформировали достаточного количества стеблей. Изучаемые сорта имели этот показатель от 2,2 до 3,6 шт. Достоверно превысили стандарт Суздалец (3,0 шт.) следующие сорта: Магутны — на 0,3, Dhow — 0,5 и J.B. Maltasia — 0,6 шт.

Продуктивность растения складывается из отдельных элементов структуры урожая (длина колоса, количество зерен в колосе). Известно, что длина колоса существенно влияет на продуктивность сорта. Длина колоса у изучаемых образцов в среднем за два года варьировала от 5,6 до 8,3 см. На уровне стандартного сорта Суздалец (8,5 см) находились сортообразцы: К-31226–8,3 и Лунь — 8,2 (табл. 4).

Таблица 4

Длина колоса и количество зерен в колосе коллекционных образцов ярового ячменя

Сорт	Длина колоса, см			Количество зерен в колосе, шт.		
	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее
Ленинградский, стандарт	5,7	8,4	7,1	36,5	51,9	44,2
Суздалец, стандарт	7,7	9,2	8,5	21,2	23,6	22,4
К-31226	7,6	8,9	8,3	20,0	21,7	20,9
Лунь	6,9	9,4	8,2	15,7	19,3	17,5
Винницкий 28	7,3	8,9	8,1	19,3	21,6	20,5
Таусень	6,2	9,2	7,7	17,3	20,6	19,0
Шляхтціч	6,0	8,9	7,5	17,4	19,6	18,5
Беатрис	6,6	8	7,3	18,0	19,3	18,7
Казак	6,4	8,1	7,3	15,6	17,8	16,7
J.B. Maltasia	6,8	7,7	7,3	17,7	19,2	18,5
Мустанг	6,1	8,4	7,3	18,8	20,4	19,6
Sublette	6,6	8	7,3	18,7	20,5	19,6
Jumara	5,9	8,3	7,1	16,6	19,7	18,2
Лунинский	6,4	7,3	6,9	18,0	17,4	17,7
Докучаевский 15	5,3	7,8	6,6	14,5	19,5	17,0
Магутны	5,4	7,7	6,6	15,6	18,5	17,1
Тимерхан	5,1	7,7	6,4	14,8	18,9	16,9
Rubiola	5,1	7,4	6,3	19,5	23,5	21,5
Dhow	4,2	6,9	5,6	12,0	18,0	15,0
Среднее	6,2	8,2	7,2	18,3	21,6	20,0
НСР ₀₅	0,2	0,3	0,3	2,0	2,0	2,0

Источник: составлено Т.Н. Радюкевич, Л.И. Карташевой, Е.Н. Пасынковой на основе экспериментальных данных.

Table 4

Ear length and number of grains per ear in collection cultivars of spring barley

Cultivar	Ear length, cm			Grains per ear		
	2020	2021	Average	2020	2021	Average
Leningrad, standard	5.7	8.4	7.1	36.5	51.9	44.2
Suzdalets, standard	7.7	9.2	8.5	21.2	23.6	22.4
K-31226	7.6	8.9	8.3	20.0	21.7	20.9
Lun	6.9	9.4	8.2	15.7	19.3	17.5
Vinnitsky 28	7.3	8.9	8.1	19.3	21.6	20.5
Tausen	6.2	9.2	7.7	17.3	20.6	19.0
Shlyakhtsich	6.0	8.9	7.5	17.4	19.6	18.5
Beatrice	6.6	8	7.3	18.0	19.3	18.7
Kazak	6.4	8.1	7.3	15.6	17.8	16.7
J.B. Maltasia	6.8	7.7	7.3	17.7	19.2	18.5
Mustang	6.1	8.4	7.3	18.8	20.4	19.6
Sublette	6.6	8	7.3	18.7	20.5	19.6
Jumara	5.9	8.3	7.1	16.6	19.7	18.2
Luninsky	6.4	7.3	6.9	18.0	17.4	17.7
Dokuchaevsky 15	5.3	7.8	6.6	14.5	19.5	17.0
Magutny	5.4	7.7	6.6	15.6	18.5	17.1
Timerkhan	5.1	7.7	6.4	14.8	18.9	16.9
Rubiola	5.1	7.4	6.3	19.5	23.5	21.5
Dhow	4.2	6.9	5.6	12.0	18.0	15.0
Average	6.2	8.2	7.2	18.3	21.6	20.0
LSD ₀₅	0.2	0.3	0.3	2.0	2.0	2.0

Source: compiled by T.N. Radyukevich, L.I. Kartasheva, E.N. Pasynkova based on experimental data.

Количество зерен в колосе у коллекционных образцов ярового ячменя находилось в пределах 15,0...21,5 шт. (очень низкое и среднее). По этому показателю изучаемые образцы не превосходили стандарт Суздалец (22,4).

Масса зерна с колоса коллекционных образцов в опыте варьировала от 0,8 до 1,3 г. На уровне стандарта Суздалец (1,4) был сорт Rubiola — 1,3 (табл. 5).

Масса зерна с растения — важнейший показатель, определяющий величину урожая. Очень низкую массу зерна с растения (65...71 % к контролю) имели образцы: K-31226, Jumara, Rubiola, Шляхтціч, низкую (79...89 % к контролю) — сорта Лунь, Магутны, Беатрис и Казак.

Масса 1000 зерен характеризует плотность и размер зерна, это один из главных элементов в продуктивности сорта. Низкая масса 1000 зерен была у образцов Тимерхан (36,9 г) и K-31226 (39,1 г), превысили стандарт Суздалец (45,9 г) и имели высокую массу 1000 зерен (48,5...50,7 г) сорта: Лунь, Магутны, Казак, Rubiola, Шляхтціч и Беатрис.

Таблица 5

Масса зерна с колоса, с растения и 1000 зерен коллекционных образцов ярового ячменя

Сорт	Масса зерна с колоса, г			Масса зерна с растения, г			Масса 1000 зерен, г		
	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее
Ленинградский, стандарт	1,9	1,9	1,9	2,7	3,6	3,2	41,1	33,1	37,1
Суздалец, стандарт	1,3	1,5	1,4	2,9	3,9	3,4	48,0	43,8	45,9
Rubiola	1,3	1,3	1,3	1,8	2,9	2,4	50,4	46,5	48,5
Шляхтціч	0,9	1,4	1,2	1,8	2,9	2,4	50,1	46,8	48,5
Лунь	1,1	1,2	1,2	1,7	3,6	2,7	51,7	49,6	50,7
Sublette	1,1	1,1	1,1	2,1	2,8	2,5	43,7	41,4	43,9
Винницкий 28	1,2	1,0	1,1	3,3	2,1	2,7	47,5	40,2	43,9
Беатрис	1,1	1,1	1,1	2,9	2,4	2,7	51,6	45,3	48,5
К-31226	1,0	1,1	1,1	2,0	2,3	2,2	40,1	38,0	39,1
Докучаевский 15	0,9	1,0	1,0	1,5	2,5	2,0	47,8	40,1	44,0
Лунинский	1,0	1,0	1,0	2,1	2,5	2,3	45,2	40,5	42,9
Таусень	1,0	1,0	1,0	1,6	2,9	2,3	41,9	38,8	40,4
Магутны	0,9	1,1	1,0	1,6	3,7	2,7	52,3	45,9	49,1
Казак	1,0	1,0	1,0	2,1	3,9	3,0	53,1	45,0	49,1
J.B. Maltasia	1,0	1,0	1,0	2,6	2,7	2,7	39,8	42,3	41,1
Мустанг	1,0	1	1,0	1,6	2,4	2,0	48,2	38,1	43,2
Тимерхан	0,8	1,0	0,9	1,1	2,0	1,6	36,8	37,0	36,9
Jumara	0,8	1,0	0,9	1,6	2,7	2,2	43,0	47,8	45,4
Dhow	0,7	0,8	0,8	1,4	2,9	2,2	45,0	37,2	41,1
Среднее	1,1	1,1	1,1	2,0	2,9	2,5	46,2	42,0	44,1
НСР ₀₅	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Источник: составлено Т.Н. Радюкевич, Л.И. Карташевой, Е.Н. Пасынковой на основе экспериментальных данных.

Table 5

Grain weight per ear, grain weight per plant and 1000 grain weight for spring barley collection accessions

Cultivar	Grain weight per ear, g			Grain weight per plant, g			1000 grain weight, g		
	2020	2021	average	2020	2021	average	2020	2021	average
Leningrad, standard	1.9	1.9	1.9	2.7	3.6	3.2	41.1	33.1	37.1
Suzdalets, standard	1.3	1.5	1.4	2.9	3.9	3.4	48.0	43.8	45.9
Rubiola	1.3	1.3	1.3	1.8	2.9	2.4	50.4	46.5	48.5
Shlyakhtsich	0.9	1.4	1.2	1.8	2.9	2.4	50.1	46.8	48.5
Lun	1.1	1.2	1.2	1.7	3.6	2.7	51.7	49.6	50.7
Sublette	1.1	1.1	1.1	2.1	2.8	2.5	43.7	41.4	43.9

Ending tabl. 5

Cultivar	Grain weight per ear, g			Grain weight per plant, g			1000 grain weight, g		
	2020	2021	average	2020	2021	average	2020	2021	average
Vinnitsky 28	1.2	1.0	1.1	3.3	2.1	2.7	47.5	40.2	43.9
Beatrice	1.1	1.1	1.1	2.9	2.4	2.7	51.6	45.3	48.5
K-31226	1.0	1.1	1.1	2.0	2.3	2.2	40.1	38.0	39.1
Dokuchaevsky 15	0.9	1.0	1.0	1.5	2.5	2.0	47.8	40.1	44.0
Luninsky	1.0	1.0	1.0	2.1	2.5	2.3	45.2	40.5	42.9
Tausen	1.0	1.0	1.0	1.6	2.9	2.3	41.9	38.8	40.4
Magutny	0.9	1.1	1.0	1.6	3.7	2.7	52.3	45.9	49.1
Kazak	1.0	1.0	1.0	2.1	3.9	3.0	53.1	45.0	49.1
J.B. Maltasia	1.0	1.0	1.0	2.6	2.7	2.7	39.8	42.3	41.1
Mustang	1.0	1	1.0	1.6	2.4	2.0	48.2	38.1	43.2
Timerkhan	0.8	1.0	0.9	1.1	2.0	1.6	36.8	37.0	36.9
Jumara	0.8	1.0	0.9	1.6	2.7	2.2	43.0	47.8	45.4
Dhow	0.7	0.8	0.8	1.4	2.9	2.2	45.0	37.2	41.1
Average	1.1	1.1	1.1	2.0	2.9	2.5	46.2	42.0	44.1
LSD ₀₅	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Source: compiled by T.N. Radyukevich, L.I. Kartasheva, E.N. Pasynkova based on experimental data.

Высокая температура воздуха и обилие осадков в начальный период вегетации способствовали развитию на посевах в 2020 и 2021 гг. эпитофитотии мучнистой росы (*Blumeria graminis*). В 2020 г. поражение было существенным и составило от 10 до 80 %. Восприимчивый сорт Ленинградский имел поражение 80 %. Проявил устойчивость к мучнистой росе сорт J.B. Maltasia. В 2021 г. степень поражения растений ячменя была значительно ниже от 10 до 20 %.

Устойчивость к поражению листовой ржавчиной в 2020 г. показали сорта: Sublette, Тимерхан, Лунь, Беатрис, Мустанг и Таусень. В 2021 г. поражение листовой ржавчиной растений ячменя ярового изучаемых сортов практически отсутствовало или было незначительным.

Устойчивость к патогену темно-бурой пятнистости в 2020 г. проявили сорта: Тимерхан, Лунь, Таусень, Jumara, Магутны и Dhow. В 2021 г. распространения темно-бурой пятнистости не наблюдалось, поражение растений было незначительным.

Степень поражения растений основными болезнями растений ячменя по годам сильно различалась. В 2020 г. растения сильнее повреждались, что связано с метеорологическими условиями года (рис.).

Jsp — индекс экологической пластичности показывает, насколько изучаемый образец имеет преимущество перед другими сортами. Для селекции представляют интерес сорта с этим показателем больше 1,0. Семь сортов показали *Jsp* ≥ 1,0: Rubiola, Лунь, Шляхтіч, Sublette, Винницкий 28, Беатрис и K-31226 (табл. 6).

Таблица 6

Адаптационные индексы изучаемых сортов ярового ячменя, единицы

Сорт	Индекс экологической пластичности	Адаптационный потенциал растений	Индекс перспективности
Ленинградский, стандарт	1,7	7,9	66,1
Суздалец, стандарт	1,2	6,7	80,3
Sublette	1,0	6,9	54,2
Винницкий 28	1,0	7,4	72,6
Докучаевский 15	0,9	7,9	83,9
Тимерхан	0,8	8,1	70,8
Лунь	1,1	7,1	86,3
Лунинский	0,9	7,4	83,3
Таусень	0,9	7,6	68,3
Jumara	0,8	7,6	81,0
Rubiola	1,2	9,3	82,7
Магутны	0,9	7,8	95,1
Dhow	0,7	7,3	100,0
Беатрис	1,0	7,2	91,8
Казак	0,9	8,5	78,5
J.B. Maltasia	0,9	7,6	73,3
Мустанг	0,9	7,3	80,7
K-31226	1,0	7,1	65,6
Шляхтціч	1,1	7,1	90,3

Источник: составлено Т.Н. Радюкевич, Л.И. Карташевой, Е.Н. Пасынковой на основе экспериментальных данных.

Table 6

Adaptation indices of the studied spring barley cultivars, units

Cultivar	Index of ecological plasticity	Adaptive potential of plants	Prospect Index
Leningrad, standard	1.7	7.9	66.1
Suzdalets, standard	1.2	6.7	80.3
Sublette	1.0	6.9	54.2
Vinnitsky 28	1.0	7.4	72.6
Dokuchaevsky 15	0.9	7.9	83.9
Timerkhan	0.8	8.1	70.8
Lun	1.1	7.1	86.3
Luninsky	0.9	7.4	83.3
Tausen	0.9	7.6	68.3
Jumara	0.8	7.6	81.0
Rubiola	1.2	9.3	82.7
Magutny	0.9	7.8	95.1
Dhow	0.7	7.3	100.0
Beatrice	1.0	7.2	91.8
Kazak	0.9	8.5	78.5
J.B. Maltasia	0.9	7.6	73.3
Mustang	0.9	7.3	80.7
K-31226	1.0	7.1	65.6
Shlyakhtsich	1.1	7.1	90.3

Source: compiled by T.N. Radyukevich, L.I. Kartasheva, E.N. Pasynkova based on experimental data.

Адаптационный потенциал растений ds/dk характеризует устойчивость сортов к полеганию и является показателем, определяющим продуктивность растения. Для селекции определенную ценность представляют сорта с долей стебля в общей длине растения менее 10 единиц. Все изучаемые сорта имели значения менее 10 единиц.

Jp — индекс перспективности, который характеризует способность стебля трансформировать пластические вещества непосредственно в зерно. Селекционную ценность представляют сорта, у которых данный показатель выше 50 единиц. Все изучаемые сорта в разных долях представляют ценность для селекции.

Заключение

Выделены новые источники хозяйственно ценных признаков ярового ячменя в природно-климатических условия Ленинградской области: по скороспелости (67...76 дней) — 7 образцов, по продуктивной кустистости (3,3...3,6 шт.) — 3 образца, по массе 1000 зерен (48,5...50,7 г) — 6 образцов. Устойчив к мучнистой росе в оба года исследований сорт J.B. Maltasia.

Выделившиеся образцы будут использованы в селекционном процессе в качестве генетических источников хозяйственно ценных признаков в почвенно-климатических условиях Ленинградской области.

Список литературы

1. Радюкевич Т.Н., Пасынкова Е.Н. Оценка элементов структуры урожая и определение адаптационной способности новых сортов ярового ячменя зарубежной селекции на Северо-Западе России // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 52–55. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11208 EDN: APTEWH
2. Фесенко М.А., Шпанев А.М., Смук В.В. О значимости агрометеорологических и техногенных факторов при возделывании культур полевого севооборота на Северо-Западе России // Научные труды по агрономии. 2020. № 1 (3). С. 28–32. doi: 10.37574/2658-7963-2020-1-28-32 EDN: KWLSVW
3. Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е. Оценка генотипов ярового ячменя из коллекции ВИР на адаптивность и продуктивность в условиях Восточной Сибири // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 2 (27). С. 16–22. doi: 10.35523/2307-5872-2019-27-2-16-22 EDN: XNUGXT
4. Герасимов С.А. Селекционно-ценные образцы ячменя коллекции ВИР по параметрам адаптивности, продуктивности и качества зерна // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020. № 4 (57). С. 16–24. doi: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-16-24 EDN: KOPSH
5. Левакова О.В., Ерошенко Л.М., Ерошенко А.Н., Ромахин М.М., Ерошенко Н.А., Дедушев И.А., Болдырев М.А. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечернозёмной зоны РФ // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 30–33. doi: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33 EDN: BVFFSG
6. Левакова О.В., Дедушев И.А., Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Болдырев М.А., Гладышева О.В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 1. С. 128–135. doi: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135 EDN: APZPOW
7. Саввина В.В. Изучение исходного материала ярового ячменя коллекции ВИР в Центральной Якутии // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.134 EDN: VANGHY
8. Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Лисицын Е.М. Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(2):82–94. doi: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94 EDN: AJDSWU

9. Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 140–146. doi: 10.2575/1995-4301-2020-3-140-146 EDN: ORZBYL
10. Наумова Н.А. Особенности формирования зерновой продуктивности и ее элементов у сортов ярового ячменя в условиях Астраханской области // Аграрный научный журнал. 2021. № 5. С. 29–34. doi: 10.28983/asj.y2021i5pp29-34 EDN: QFQSUM
11. Косых Л.А. Исходный материал для создания сортов ярового ячменя в лесостепной зоне среднего Поволжья // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 3. С. 14–18. doi: 10.31857/S2500262723030031 EDN: EYOTVW
12. Косых Л.А., Столпивская Е.В., Никонорова Ю.Ю. Влияние погодных условий на хозяйственно ценные признаки сортов ячменя ярового в лесостепной зоне Среднего Поволжья // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1 (178). С. 31–38. doi: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38 EDN: DGJDDD
13. Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(3):239–255. doi: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255 EDN: EVMXJJ
14. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966;6(1):36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
15. Афанасенко О.С. Устойчивость ячменя к гембиотрофным патогенам // Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб. : ВИР, 2005. С. 592–615. EDN: XXVDVX

References

1. Radyukevich TN, Pasyunkova EN. Assessment of the elements of the crop structure and determination of the adaptive capacity of new varieties of spring barley bred outside Russia in the North-West of Russia. *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex*. 2020;34(12):52–55. (In Russ.). doi: 10.24411/0235-2451-2020-11208 EDN: APTEWH
2. Fesenko MA, Shpanev AM, Smuk VV. About the importance of agro-meteorological and anthropogenic factors in the cultivation of cultures of field crop rotation in north-west Russia. *Research Papers on Agronomy*. 2020;(1):28–32. (In Russ.). doi: 10.37574/2658-7963-2020-1-28-32 EDN: KWLSVW
3. Surin NA, Gerasimov SA, Lyakhova NE. Assessment of genotypes of yarn barley from the collection of VIR for adaptivity and productivity under conditions of Eastern Siberia. *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2019;(2):16–22. (In Russ.). doi: 10.35523/2307-5872-2019-27-2-16-22 EDN: XNUGXT
4. Gerasimov SA. Selection-valuable barley samples of the VIR collection in terms of adaptability, productivity and grain quality. *Vestnik NGAU*. 2020;(4):16–24. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-16-24 EDN: KOPSII
5. Levakova OV, Eroshenko LM, Eroshenko AN, Romakhin MM, Eroshenko NA, Dedushev IA, Boldyrev MA. Assessment of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the non-chernozem zone of the Russian Federation. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(3):30–33. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33 EDN: BVFFSG
6. Levakova OV, Dedushev IA, Eroshenko LM, Romakhin MM, Eroshenko AN, Eroshenko NA, Boldyrev MA, Gladysheva OV. Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: Ecology, Development*. 2022;17(1):128–135. (In Russ.). doi: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135 EDN: APZPOW
7. Savvina VV. A study of the source material of spring barley collection of the Institute of Plant Industry in Central Yakutia. *International Research Journal*. 2022;(12). (In Russ.). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.134 EDN: VANGHY
8. Zaytseva IY, Shchennikova IN, Lisitsyn EM. Source material for breeding spring barley cultivars with high grain quality. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):82–94. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94 EDN: AJDSWU
9. Volkova LV, Shchennikova IN. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive responses of cereals. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(3):140–146. (In Russ.). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146 EDN: ORZBYL
10. Naumova NA. Peculiarities of grain productivity formation and its elements in varieties of spring barley collection of VIR in conditions of arid climate of Astrakhan region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(5):29–34. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2021i5pp29-34 EDN: QFQSUM

11. Kosykh LA. Source material for creating spring barley varieties in the forest-steppe zone of the middle Volga region. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. 2023;(3):14–18. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500262723030031 EDN: EYOTVW
12. Kosykh LA, Stolpivskaya EV, Nikonorova YY. Weather conditions influence on spring barley varieties economically valuable characteristics in the Middle Volga Region forest-steppe zone. *Bulliten KrasSAU*. 2022;(1):31–38. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38 EDN: DGJDDD
13. Lashina NM, Afanasenko OS. Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):239–255. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255 EDN: EVMXJJ
14. Eberhart SA, Russel WA. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
15. Afanasenko OS. Barley resistance to hemibiotrophic pathogens. In: *Conference proceedings: Identified plant gene pool and selection*. Saint Petersburg; 2005. p. 592–615. (In Russ.). EDN: XXVDVX

Об авторах:

Радюкевич Татьяна Николаевна — старший научный сотрудник, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Российская Федерация, 188338, Ленинградская область, Гатчинский район, д. Белогорка, ул. Институтская, д. 1; e-mail: radyukevich2966@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5666-3696 SPIN-код: 9808-1979

Карташева Людмила Ивановна — научный сотрудник, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Российская Федерация, 188338, Ленинградская область, Гатчинский район, д. Белогорка, ул. Институтская, д. 1; e-mail: kartasheva2656@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4770-5297 SPIN-код: 9898-4824

Пасынкова Елена Николаевна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Российская Федерация, 188338, Ленинградская область, Гатчинский район, д. Белогорка, ул. Институтская, д. 1; e-mail: pasynkova.elena@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6588-8368 SPIN-код: 6862-9193

About authors:

Radyukevich Tatiana Nikolaevna — Senior Researcher, Leningrad Research Agricultural Institute "Belogorka", branch of Russian Potato Research Centre, 1 Institutskaya st., Belogorka vill., Gatchinskiy district, Leningrad region, 188338, Russian Federation; e-mail: radyukevich2966@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5666-3696 SPIN-code: 9808-1979

Kartasheva Ludmila Ivanovna — Researcher, Leningrad Research Agricultural Institute "Belogorka", branch of Russian Potato Research Centre, 1 Institutskaya st., Belogorka vill., Gatchinskiy district, Leningrad region, 188338, Russian Federation; e-mail: kartasheva2656@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4770-5297 SPIN-code: 9898-4824

Pasynkova Elena Nikolaevna — Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Leningrad Research Agricultural Institute "Belogorka", branch of Russian Potato Research Centre, 1 Institutskaya st., Belogorka vill., Gatchinskiy district, Leningrad region, 188338, Russian Federation; e-mail: pasynkova.elena@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6588-8368 SPIN-code: 6862-9193



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-384-402

EDN VSMQPA

УДК 338.439

Научная статья / Research article

Продовольственная безопасность в РФ: проблема реализации внутренних потребностей на фоне расширения экспортных возможностей

В.Н. Попова  , В.Н. Живалов 

Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России, г. Москва,
Российская Федерация
 ajavrik89@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено вопросам обеспечения продовольственной безопасности (ПБ) России и ее стратегическим приоритетам развития. Изучена нормативно-правовая база, определяющая процессы организации и обеспечения ПБ. Раскрыты текущее состояние продовольственных ресурсов России и ее продовольственные балансы. Дана оценка уровня самообеспеченности государства сельскохозяйственными и продовольственными товарами. Приведены объемы производства сельскохозяйственной продукции в хозяйствах всех категорий в сегменте производства животноводческой продукции и сфере растениеводства. Показана динамика изменения индекса производства сельскохозяйственной продукции. Определены возможности наращивания торговли отдельными видами сельскохозяйственных товаров и продовольствия России. Особое внимание уделено вопросам достижения технологической независимости РФ, а именно развитию российской селекционной базы с целью получения собственных сортов и гибридов, необходимых для повышения уровня урожайности и развития животноводства. Кроме того, указаны пороговые значения по самообеспеченности основными видами продовольствия в период 2019–2023 гг., а также показатели, характерные для федеральных округов РФ на фоне многочисленных внешних ограничений. В заключении подчеркнуто, что созданные в России условия обеспечивают развитие сельскохозяйственной сферы и отвечают современным вызовам.

Ключевые слова: доступ к продовольствию, технологическая независимость, уровень самообеспечения, импортозамещение

Вклад авторов. Авторы в равной степени внесли свой вклад в проведение исследования и написание статьи.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минэкономразвития РФ в рамках НИР (код (шифр) научной темы 205-33-25).

© Попова В.Н., Живалов В.Н., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 13 мая 2025 г., принята к публикации 19 июня 2025 г.

Для цитирования: Попова В.Н., Живалов В.Н. Продовольственная безопасность в РФ: проблема реализации внутренних потребностей на фоне расширения экспортных возможностей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 384–402. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-384-402 EDN: VSMQPA

Food security in the Russian Federation: realization of domestic demands amid export opportunities expansion

Veronika N. Popova  , Vladimir N. Zhivalov 

Russian Foreign Trade Academy of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
 ajavrik89@mail.ru

Abstract. The research is devoted to the issues of ensuring food security of the Russian Federation and its strategic priorities of development. The regulatory and legal framework that determines the processes of organizing and ensuring food security was studied. The current state of food resources of Russia and its food balances were discussed. The level of self-sufficiency of the country in agricultural and food products was assessed. The volumes of agricultural production in farms of all categories both in the segment of livestock production and crop production were given. The dynamics of changes in the index of agricultural production was shown, the possibilities of increasing trade in certain types of agricultural goods and foodstuffs in Russia were determined. Special attention was paid to the issues of achieving technological independence of the Russian Federation, namely, the development of domestic breeding base in order to obtain its own cultivars and hybrids necessary to increase the level of crop yields and the development of livestock breeding was of particular importance. Moreover, the research contains the indicators of self-sufficiency level by key types of food in 2019–2023 as well as indicators inherent in federal districts of Russia amid numerous foreign restrictions. In conclusion, it was noted that in Russia there are conditions contributing to agricultural sector development and responding to modern challenges.

Keywords: access to food, technological independence, self-sufficiency level, import substitution

Authors' contribution. The authors contributed equally to this manuscript.

Funding. The work was supported by the Ministry of Economic Development of the Russian Federation within the framework of research (no. 205–33–25).

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 13 May 2025; accepted 19 June 2025.

For citation: Popova VN, Zhivalov VN. Food security in the Russian Federation: realization of domestic demands amid export opportunities expansion. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):384–402. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-384-402 EDN: VSMQPA

Введение

Ликвидация проблемы голода и обеспечение продовольственной безопасности (ПБ) рассматриваются в качестве ключевых задач в области устойчивого развития, зафиксированных ООН на период до 2030 г.¹ В нынешней ситуации достижение данной цели сдерживается целым комплексом факторов, которые негативно влияют на мировую систему продовольствия². В этих условиях вопрос совершенствования собственной стратегии в сфере агропромышленного комплекса (АПК) и разработки инструментов защиты внутреннего рынка продовольствия приобретает особую актуальность для РФ.

Необходимо отметить, что первая Доктрина продовольственной безопасности РФ была утверждена Указом Президента Российской Федерации от 30.01.2010 г. № 120 (утратил силу), вторая — Указом Президента РФ от 21.01.2020 г. № 20³ с последующими изменениями в марте 2025 г. Важность разработки нового варианта обусловило появление угроз и рисков ПБ, напрямую связанных с беспрецедентными экономическими санкциями, введенными большинством крупных западных стран в отношении России, вступлением во Всемирную торговую организацию и усиливающимися интеграционными процессами стран-членов ЕАЭС.

Устойчивая работа АПК — это не только бесперебойное обеспечение производства продуктов питания, но также технологическая и ресурсная независимость в таких вопросах, как сельскохозяйственная техника, развитие собственной селекционной базы, наличие необходимых для животноводства ветеринарных препаратов и др. С этой точки зрения становятся важными дальнейшее развитие политики импортозамещения и реализация всесторонней государственной поддержки для фермерских хозяйств и агропредприятий с целью минимизации зависимости от зарубежных поставок, особенно в условиях внешних ограничений, которые вносят дополнительные сложности в логистические и финансовые операции.

Цель исследования — изучить условия реализации внутренних потребностей в сфере продовольствия на фоне расширения экспортных возможностей с учетом действующих стратегических документов.

Материалы и методы исследования

Основным материалом для исследований послужили стратегические, программные и нормативные документы Российской Федерации в сфере АПК. Использовались фактологические, статистические, аналитические и иные данные,

¹ UN. The sustainable development goals report 2022. Режим доступа: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/> (дата обращения: 26.05.2025).

² FAO, IFAD, UNICEF and WHO. 2023. The State of food security and nutrition in the world 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural-urban continuum. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3017en> (дата обращения: 27.05.2025).

³ Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 19.04.2025).

характеризующие текущее состояние продовольственных ресурсов РФ и ее продовольственные балансы. Проведен анализ всесторонней поддержки сельхозпредприятиям в части компенсации затрат, связанных с сертификацией продукции на внешних рынках.

Методологическую базу исследования составили системный, институциональный подходы к анализу ПБ России и политики ее обеспечения. Применялись такие общенаучные методы познания, как экономико-статистический и логический анализ, синтез, прогностический, сравнительно-сопоставительный методы. Кроме того, в работе использовался экономико-статистический подход, который позволил изучить текущий баланс продовольственных ресурсов, объемы реализации сельскохозяйственной продукции, динамику изменения индекса и объемов производства продукции растениеводства и животноводства в хозяйствах всех категорий, а также оценку по целевым индикаторам, которые установлены в соответствующих стратегических документах и планах в сфере продовольствия.

Результаты исследования и обсуждение

Согласно данным Росстата (рис. 1), в 2024 г. объемы производства сельхозпродукции в хозяйствах всех категорий в РФ составили 8902,9 млрд р., что стало на +4 % в сравнении с предыдущим годом, причем рост наблюдался в сегменте производства животноводческой продукции — с 3245,6 млрд р. до 4195,8 млрд р. в 2021–2024 г., тогда как в сфере растениеводства произошел спад с 4945,6 до 4707,1 млрд р. в 2022–2024 гг.⁴

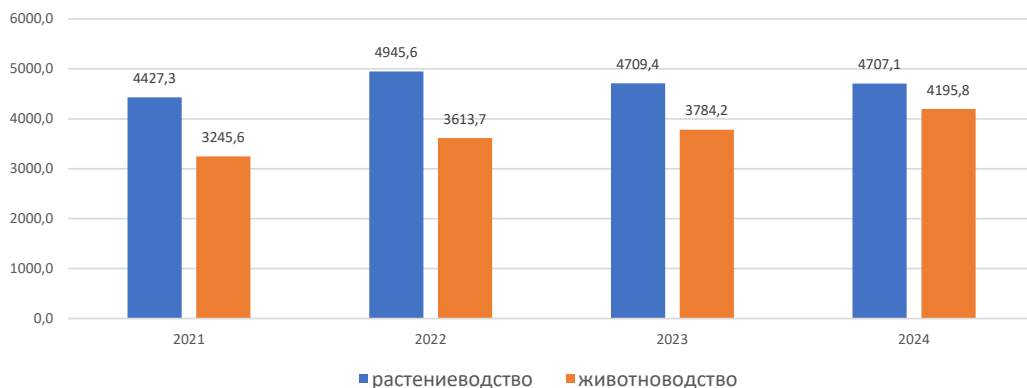


Рис. 1. Объемы производства сельскохозяйственной продукции в хозяйствах всех категорий
 Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата⁵.

⁴ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения: 10.04.2025).

⁵ Там же.

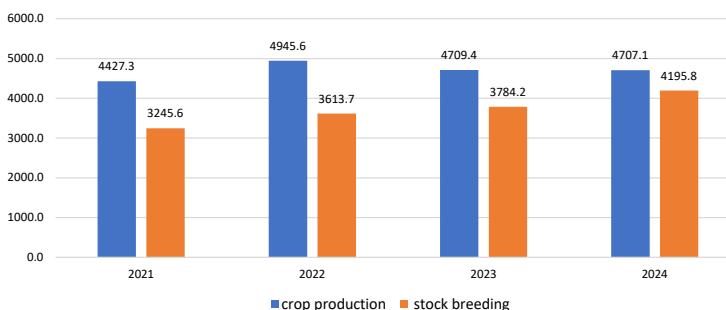


Fig. 1. Agricultural production volumes in farms of all categories

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service⁵.

Сельскохозяйственные организации в структуре сельхозпродукции по категориям хозяйств РФ в 2024 г. составили более 60 %, тогда как на хозяйства населения и фермерство пришлось 25 и 14 % соответственно⁶. В 2021–2023 гг. индекс производства сельхозпродукции демонстрировал спад и в 2024 г. достиг 96,8 %, что стало на 3 % меньше в сравнении с показателем прошлого года [1, 2].

Согласно данным Росстата⁷, показатель валового сбора зерна в 2023 г. в хозяйствах всех категорий имел самое высокое значение по сравнению с показателями другой продукции растениеводства — более 100 млн т, валовые сборы сахарной свеклы и семян подсолнечника составили примерно 48 и 15 млн т соответственно, при этом показатели демонстрировали стабильный рост с 2021 г. — на 37 и 9,4 % соответственно⁸. Наименьший показатель в части сбора продуктов растениеводства в 2023 г. наблюдался у овощей и картофеля — 7,3 и 6,5 тыс. т (рис. 2, табл. 1). Несмотря на то, что овощная продукция на фоне остальной продукции растениеводства демонстрировала по валовому сбору низкий показатель роста, в 2020–2023 гг. в данном сегменте была зафиксирована тенденция роста, особенно в части производства овощей как в открытом грунте, так и в теплицах [1, 3].

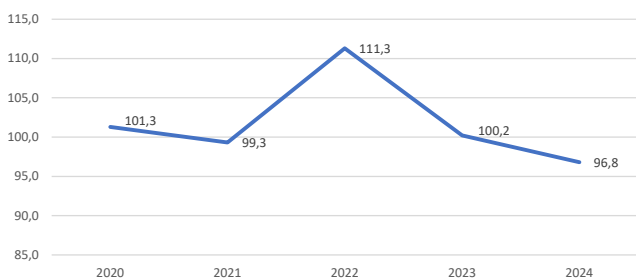


Рис. 2. Динамика изменения индекса производства сельскохозяйственной продукции, %

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым по данным Росстата⁹.

⁶ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 18.04.2025).

⁷ Там же.

⁸ Там же.

⁹ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения: 10.04.2025).

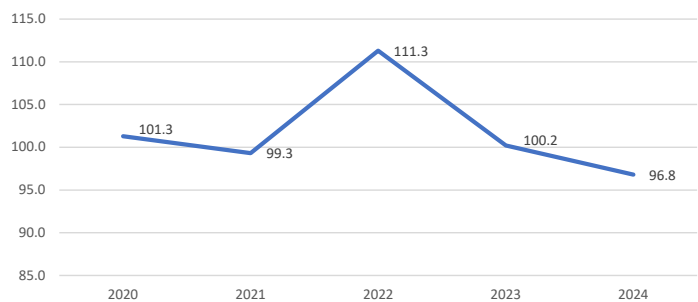


Fig. 2. Dynamics of changes in the agricultural production index, %

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service⁹.

Таблица 1

**Производство основных видов продуктов растениеводства
в хозяйствах всех категорий в 2020–2023 г., тыс. т**

Продукт	2020	2021	2022	2023
Зерно	97342	90123	96653	108734,56
Сахарная свекла	34792	38377	41194	47992
Семена подсолнечника	13417	11272	12660	14690
Картофель	6551	5975	6172	6531
Овощи	6591	6916	6911	7310

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата¹⁰.

Table 1

**Production of the main types of crop products in farms
of all categories in 2020–2023, thousand tons**

Product	2020	2021	2022	2023
Grain	97342	90123	96653	108734.56
Sugar beet	34792	38377	41194	47992
Sunflower seeds	13417	11272	12660	14690
Potatoes	6551	5975	6172	6531
Vegetables	6591	6916	6911	7310

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service¹⁰.

Положительная динамика 2020–2023 гг. в производстве животноводческой продукции наблюдалась в части реализации мяса птицы и свинины с ростом с 2021 г. на 7,7 и 13,3 % соответственно¹¹.

¹⁰ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения: 10.04.2025).

¹¹ Там же.

В 2023 г. общий объем производства животноводческой продукции в части скота и птицы (в живом весе) составил 15,5 тыс. т, молока — 25,8 млн т, яиц — 36,6 млрд шт. (рис. 3, табл. 2).

Таблица 2

Производство основных продуктов животноводства в хозяйствах всех категорий, тыс. т

Продукт	2020	2021	2022	2023
Скот и птица (в живом весе)	14106	14366	14785	15356
в т. ч.				
крупный рогатый скот	2255	2315	2244	2323
свиньи	5159	5224	5551	5846
овцы и козы	284	288	283	286
птица	6339	6471	6640	6830
Молоко, млн т	23,5	23,8	24,6	25,8
Яйца, млрд шт.	34,9	34,3	36,3	36,6
Шерсть	29,3	30,9	27,7	44,1
Мед	31,6	27,4	29,4	30,3

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата¹².

Table 2

Production of basic livestock products in farms of all categories, thousand tons

Product	2020	2021	2022	2023
Livestock and poultry (in live weight)	14106	14366	14785	15356
including:				
cattle	2255	2315	2244	2323
pigs	5159	5224	5551	5846
sheep and goats	284	288	283	286
birds	6339	6471	6640	6830
Milk, mln t	23.5	23.8	24.6	25.8
Eggs, blns (quantity)	34.9	34.3	36.3	36.6
Wool	29.3	30.9	27.7	44.1
Honey	31.6	27.4	29.4	30.3

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service¹².

¹² Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения: 10.04.2025).

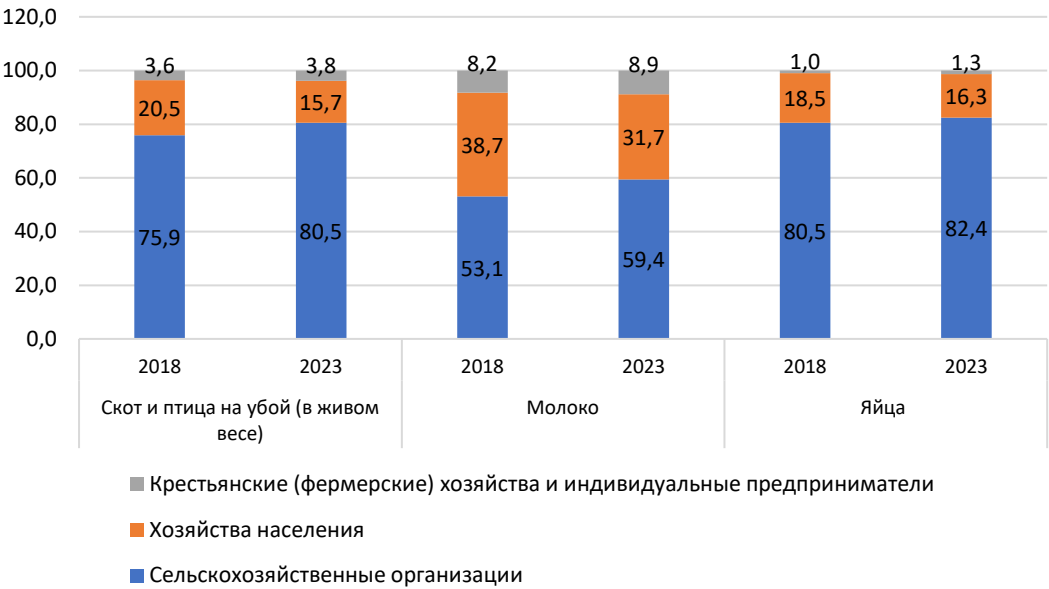


Рис. 3. Структура производства основных продуктов животноводства по категориям хозяйств, % от общего производства в хозяйствах всех категорий
Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата¹³.

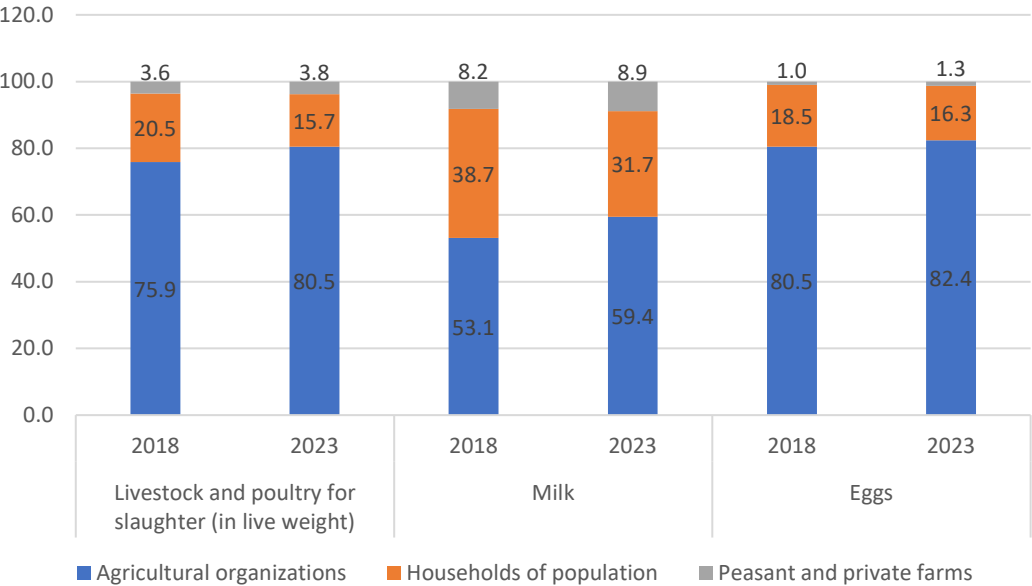


Fig. 3. The structure of production of basic livestock products by farm category, % of total production in farms of all categories
Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service¹³.

¹³ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения: 10.04.2025).

По данным Росстата, потребление основных продуктов питания по РФ (кг на душу населения) в 2023 г.:

- наибольший показатель был в части потребления яиц — 290 шт. на душу населения, а также молочных продуктов — 247 кг¹⁴;
- рост наблюдался в отношении потребления картофеля, фруктов и ягод, а также мяса;
- в части рыбной продукции, также, как и растительного масла, хотя и зафиксирован наименьший показатель — 22,6 и 13,8 кг соответственно, по данным категориям наблюдался рост с 2021 г. — на 7,6 и 2,2 % соответственно¹⁵.

С точки зрения установленных Минздравом России оптимальных норм потребления пищевых продуктов, удовлетворяющих текущие требования здорового питания, достаточно благоприятная ситуация сложилась в части потребления картофеля, мясных продуктов и яиц, в то время как дефицит наблюдается в отношении фруктов и ягод, овощей и молока¹⁶. При этом необходимо отметить, что согласно проведенным исследованиям, с 2006 по 2021 г. рацион населения РФ претерпел изменения в лучшую сторону — это касается как количественных, так и качественных характеристик, которые означают увеличение в рационе продуктов животного происхождения и снижение объемов потребления растительных жиров [2].

По оценкам оперативной отчетности, по организациям розничной торговли, не относящимся к субъектам малого бизнеса, на 1 марта 2025 г. наибольший показатель в части объемов запасов был зафиксирован в отношении муки¹⁷ (120 %, рост составил 14 % по сравнению с февралем 2025 г.), также в отношении растительных масел и круп (табл. 3, 4).

Таблица 3

Динамика потребления основных продуктов питания по РФ, кг на душу населения в год, и сравнение с рекомендуемыми рациональными нормами потребления Минздрава России

Наименование продукта	2021	2022	2023	Рекомендации Минздрава России по потреблению пищевых продуктов (пр. от 19 августа 2016 г.), кг/год/чел.
Картофель	83	84	86	90
Овощи и продовольственные бахчевые культуры	103	104	105	140
Фрукты и ягоды	62	63	66	100
Мясо и мясопродукты	77	78	80	73
Молоко и молочные продукты	239	241	247	325

¹⁴ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/enterprise-esopotu> (дата обращения: 16.04.2025).

¹⁵ Животноводство РФ // Влияние санкций на сельское хозяйство. Режим доступа: <http://zzr.ru/article/vliyanie-sanktsiy-na-selskoe-khozyaystvo> (дата обращения: 07.06.2025).

¹⁶ Приказ Минздрава России от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/#1000> (дата обращения: 10.04.2025).

¹⁷ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Цели устойчивого развития в РФ. Режим доступа: http://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RUS_SDG_in_Russia_2024.pdf (дата обращения: 18.04.2025).

Окончание табл. 3

Наименование продукта	2021	2022	2023	Рекомендации Минздрава России по потреблению пищевых продуктов (пр. от 19 августа 2016 г.), кг/год/чел.
Яйца и яйцепродукты (штук)	279	288	290	260
Рыба и рыбопродукты в живом весе	21	19,2	22,6	22
Сахар	38	39	39	8
Масло растительное	13,5	13,8	13,8	12
Хлеб и макаронные изделия	113	113	112	96

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе Росстата¹⁸.

Table 3

The dynamics of consumption of basic foodstuffs in the Russian Federation, per capita per year, kg, and comparison with the recommended rational consumption standards of the Ministry of Health of the Russian Federation

Products	2021	2022	2023	Recommendations by Ministry of Health about food consumption (dated from 19 th August 2016), kg/year/person
Potatoes	83	84	86	90
Vegetables	103	104	105	140
Fruits and berries	62	63	66	100
Meat	77	78	80	73
Milk and milk products	239	241	247	325
Eggs	279	288	290	260
Fish in live weight	21	19.2	22.6	22
Sugar	38	39	39	8
Vegetable oil	13.5	13.8	13.8	12
Bread and spaghetti	113	113	112	96

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service¹⁸.

Таблица 4

Потребление основных продуктов питания на душу населения в год, % к предыдущему месяцу, в сопоставимых ценах 2025 г.

Продукт	На 1 февраля	На 1 марта
Мясо животных	90,6	100,5
Мясо домашней птицы	106,8	104,7
Животные масла и жиры	87,5	103,9
Растительные масла	105,7	106,2
Сыры жирные	93,8	98,7
Молоко питьевое	107,0	100,0
Яйца	110,5	103,6

¹⁸ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 10.04.2025).

Окончание табл. 4

Продукт	На 1 февраля	На 1 марта
Сахар	103,1	101,8
Мука	105,0	120,5
Крупа	96,4	104,2
Макаронные изделия	100,5	103,6
Свежий картофель	107,6	103,3
Свежие овощи	98,9	101,8
Свежие фрукты	84,8	95,4

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата¹⁹.

Table 4

Consumption of basic foodstuffs per capita per year, % to the previous month, in comparable prices of 2025

Product	dated from 1 st February	dated from 1 st March
Meat of cattle	90.6	100.5
Meat of poultry	106.8	104.7
Animal oil	87.5	103.9
Vegetable oil	105.7	106.2
Cheese	93.8	98.7
Milk	107.0	100.0
Eggs	110.5	103.6
Sugar	103.1	101.8
Flour	105.0	120.5
Cereal	96.4	104.2
Spaghetti	100.5	103.6
Potatoes	107.6	103.3
Vegetables	98.9	101.8
Fruits	84.8	95.4

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service¹⁹.

В Доктрине продовольственной безопасности РФ от 2020 г. подчеркивается, что ключевыми факторами обеспечения ПБ являются такие элементы, как «... автономность в сфере продовольствия, которая определяется как уровень самообеспечения, рассчитываемый как отношение объема производства продукции к объему внутреннего потребления, а также гарантированная физическая и экономическая доступность пищевой продукции, соответствующей обязательным требованиям...» [3]^{20, 21}.

¹⁹ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_escopotu (дата обращения: 10.04.2025).

²⁰ Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 19.04.2025).

²¹ Минькач Т.В. Основы селекции и семеноводства : практикум для обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия / Дальневост. гос. аграр. ун-т, ФАЭ. Благовещенск : Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2020. 101 с.

На фоне расширения экспортных возможностей приоритетной задачей видится достижения всесторонней самообеспеченности страны продуктами питания, в отношении которых установлены пороговые значения в диапазоне 60...95 %, в частности: по зерну — не менее 95, сахару — 90, растительному маслу — 90, мясу — 85, молоку — 90, рыбе — 85, картофелю — 95 %. [4, 5].

Ниже приведены показатели по обеспеченности в России основными видами продовольствия за последние годы (рис. 4) и данные, характеризующие обеспеченность в разрезе федеральных округов РФ (табл. 5). Согласно графику (рис. 4), начиная с 2022 г., вопреки введению масштабных внешних ограничений по большинству видов продовольствия РФ, уровень обеспеченности был почти 100 % (зерновые культуры, мясная и рыбная продукция)²². Среди федеральных округов РФ, лидирующих по уровню самообеспеченности зерном с индикатором более 100 %, можно выделить Южный, Северо-Кавказский, Приволжский и Центральный, по мясу — Центральный и Северо-Кавказский, молоку — Приволжский и Северо-Кавказский и др. Однако, не во всех регионах можно наблюдать положительную динамику. Так, самый низкий уровень самообеспеченности по продуктам питания, в т. ч. по фруктам, наблюдается в Дальневосточном федеральном округе. Здесь пороговое значение по данной категории составляет 7 %, сложившаяся ситуация обусловлена логистическими сложностями, климатическими особенностями региона, а также низкой плотностью населения, которое ограничено в доступе к широкому ассортименту продуктов²³ [6, 7].

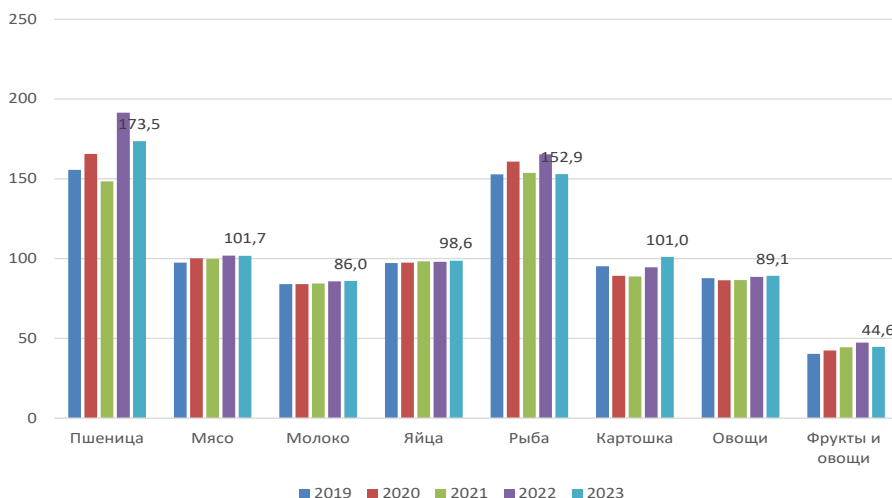


Рис. 4. Уровень самообеспечения основными продуктами питания в Российской Федерации, 2019–2023 гг., %

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата²⁴.

²² Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения: 14.04.2025).

²³ Шалимов А. Дальневосточники жалуются на ассортиментный дефицит. Режим доступа: https://www.ng.ru/kartblansh/2023-09-18/3_8829_kb.html (дата обращения: 05.06.2025).

²⁴ Там же.

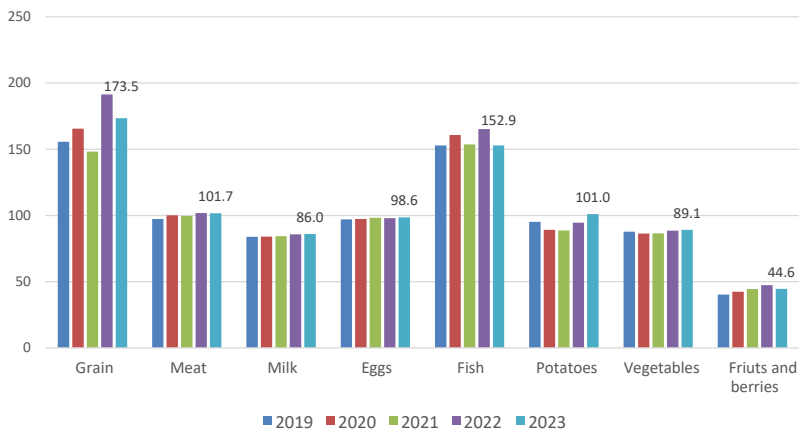


Fig. 4. The level of self-sufficiency in basic foodstuffs in the Russian Federation, 2019–2023, %
Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service²⁴.

Таблица 5

Уровень самообеспечения основными продуктами питания
по федеральным округам Российской Федерации в 2023 г., %

Федеральные округа РФ	Зерно	Мясо	Молоко	Яйца	Картофель	Бахчевые культуры	Фрукты
Центральный	141,1	136	69	82	122,7	57,8	28,4
Северо-Западный	38,5	66,9	53	103	74,3	35,8	17,8
Южный	394,2	80,8	97	87	96,7	184,9	67,7
Северо-Кавказский	275,7	110	107	61	83,1	129,7	127,8
Приволжский	147,0	113	114	126	98,7	94,4	30,1
Уральский	105,4	77,9	72	118	98,1	43,9	15,7
Сибирский	131,8	81,2	95	128	95	52,1	14,7
Дальневосточный	128,6	41,1	53	59	79	37,8	7

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе данных Росстата²⁵.

Table 5

The level of self-sufficiency in basic food products by federal districts
of the Russian Federation in 2023, %

Federal Districts of the Russian Federation	Grain	Meat	Milk	Eggs	Potatoes	Melon crops	Fruit
Central	141.1	136	69	82	122.7	57.8	28.4
North West	38.5	66.9	53	103	74.3	35.8	17.8
South	394.2	80.8	97	87	96.7	184.9	67.7
North Caucasian	275.7	110	107	61	83.1	129.7	127.8
Privolzhsky	147.0	113	114	126	98.7	94.4	30.1
Ural	105.4	77.9	72	118	98.1	43.9	15.7
Siberian	131.8	81.2	95	128	95	52.1	14.7
Far East	128.6	41.1	53	59	79	37.8	7

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service²⁵.

²⁵ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения 12.04.2025).

Текущая политика по поддержке российских аграриев на внешнем рынке

Необходимо отметить, что в рамках политики импортозамещения в агро-секторе и снижения зависимости от зарубежных средств производства государство с 2014 г. активно поддерживает российские компании как предоставлением субсидий по постановлению № 1432²⁶, так и обеспечением доступа к участию в льготных программах «Росагролизинга». С 2025 г. программа № 1432 работает по новым критериям: так, скидка на узкоспециализированные виды техники выросла до 50 %, на прицепную и навесную технику — до 16,5 %²⁷; самоходная техника будет предоставляться работникам занятым в сельском хозяйстве с льготой 10 %, оборудование для хранения и переработки зерна — со скидкой 12,5 %. Ранее скидки по программе № 1432 варьировались в диапазоне 10...15 % в зависимости от региона, не было деления на виды техники.

Кроме того, с 2019 г. государство принимает активное участие в поддержке агрохолдингов на внешних рынках, компенсируя затраты в рамках сертификации продукции сельского хозяйства. Данная поддержка включает компенсацию расходов в части таких элементов, как проведение специализированной экспертизы, оценки соответствия продукции АПК требованиям внешних рынков и др. [8].

В рамках приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 10 июня 2022 г. № 357 в список продукции АПК, по которым предоставляется компенсация затрат, входят в т.ч. продукты животного происхождения (ТН ВЭД 0501–0511), живые деревья и другие растения (ТН ВЭД 0601–0604), овощи и корнеплоды (ТН ВЭД 0701–0714) и др.

Также в рамках достижения технологической независимости РФ приобретает особую важность развитие российской селекционной базы с целью получения собственных сортов и гибридов, необходимых для повышения уровня урожайности и развития животноводства. С 2021–2022 гг., когда стали запускаться заводы по производству российского материала и на базе Минсельхоза был создан отдел по селекции и семеноводству, российский рынок в этом сегменте стал активно развиваться. Так, к примеру, ведутся исследования новых российских гибридов подсолнечника; в Сибири с 2017 г. действует селекционно-генетический центр «Союзсемсвекла», где разработан полный производственный цикл для получения новых гибридов сахарной свеклы²⁸.

Среди известных российских предприятий, занимающихся селекцией в части семян овощей закрытого грунта, — компания «Гавриш»²⁹, основанная в 1993 г. и за более 20 лет превратившаяся в многопрофильную организацию с модерни-

²⁶ Сельскохозяйственная техника, господдержка и кредитование // Минсельхоз России. Режим доступа: <https://specagro.ru/news/202502/minpromtorg-uvlechil-sidki-na-selkhoztekhniku-po-programme-1432> (дата обращения: 06.04.2025).

²⁷ См. там же.

²⁸ Отечественных семян посевной будет больше, чем годом ранее // Агроинвестор. Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/43580-otechestvennykh-semyan-dlya-posevnoy-budet-bolshe-chem-godom-ranee/> (дата обращения: 16.04.2025).

²⁹ «Гавриш». Режим доступа: <https://gavrishprof.ru/info/about> (дата обращения: 09.04.2025).

зированной технической базой. Селекционное направление в РФ реализуется государственными научными учреждениями.

Известно, что до 1990-х гг. селекционно-семеноводческая деятельность велась в условиях централизованно-плановой системы экономики. Начиная с 1991 г., при переходе к рыночной экономике, в растениеводческой отрасли произошли глубокие структурные трансформации [9, 10]. Изменилась структура посевных площадей, следствием чего стал рост доли культур с высоким рыночным и экспортным потенциалом (пшеница и масличные культуры), в результате засухи (1998, 2009 и 2010 гг.) и развития опасных вредителей и болезней усилились риски природно-климатического и фитосанитарного характера, связанные с производством растениеводческой продукции. Серьезно устарела не только материально-техническая, но и технологическая селекционная база семеноводства, возникли серьезные проблемы с кадрами, особенно в сфере научного и селекционного обеспечения данной отрасли³⁰.

Стратегические приоритеты развития в сфере продовольствия

В РФ разработан и действует целый ряд нормативных документов, определяющих ключевые направления в сфере АПК и способы их реализации. Среди них можно выделить программы по развитию сельской местности, рыбохозяйственного сектора, внедрению технологических решений и цифровизации в АПК и др.³¹

В качестве стратегических документов, которые фиксируют цели и задачи по достижению продовольственной безопасности в стране в долгосрочной перспективе, отметим:

1) Доктрину продовольственной безопасности от 2020 г. В марте 2025 г. в нее были внесены изменения, связанные с обеспечением глобальной ПБ. Стратегическая цель нового раздела документа — поддержание стабильности мировых продовольственных рынков на разных уровнях, в первую очередь через сотрудничество с государствами, которые проводят конструктивную политику в отношении Российской Федерации;³²

2) Единый план по достижению национальных целей развития до 2030 г., принятый в январе 2025 г.³³

Единый план содержит приоритетные направления, а также характеризующие их количественные показатели. Особое внимание уделяется вопросу всестороннего обеспечения ПБ Российской Федерации на фоне реализации задачи по наращиванию экспорта. Ожидается, что к 2030 г. объем экспорта продукции АПК к по-

³⁰ Развитие селекции и семеноводства в РФ // Аналитические управления Аппарата СФ. Режим доступа: [razvitye-selekcyu-y-semenovodstva-v-rf.-sf-14.03.2019\(1\).pdf](https://razvitye-selekcyu-y-semenovodstva-v-rf.-sf-14.03.2019(1).pdf) (дата обращения: 08.06.2025).

³¹ Государственные программы // Минсельхоз России. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/> (дата обращения: 09.04.2025).

³² Президент Российской Федерации В. Путин внес изменения в Доктрину продовольственной безопасности // Агроинвестор. Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/43873-prezident-vladimir-putin-vnes-izmeneniya-v-doktrinu-prodovolstvennoy-bezopasnosti/> (дата обращения: 09.04.2025).

³³ Михаил Мишустин утвердил единый план по достижению национальных целей развития до 2030 года и на перспективу до 2036 г. // Правительство Российской Федерации. Режим доступа: <http://government.ru/docs/53927/> (дата обращения: 16.04.2025).

казателю 2021 г. (в номинальных ценах) превысит 50 млрд долл. США, в 2025 г. этот показатель достигнет 37,8 млрд долл. США³⁴. В качестве ключевых факторов расширения экспортного потенциала можно назвать:

- реализацию мер поддержки экспортеров продукции АПК на каждом этапе жизненного цикла проекта;
- повышение конкурентоспособности российской продукции за счет предоставления инструментов льготного кредитования;
- переориентацию поставок на рынки дружественных стран путем проведения деловых мероприятий,
- увеличение объемов экспорта продукции АПК с более высокой добавленной стоимостью и др.

С точки зрения обеспечения технологической обеспеченности АПК актуальна проблема развития российского рынка ветеринарных препаратов. Несмотря на наращивание собственного производства, остается острым вопрос нехватки на рынке необходимого количества востребованных и эффективных вакцин, дефицит которых ранее реализовывался за счет импортных поставок. По оценкам, в 2022 г. было импортировано более 20 млрд доз вакцин для птицеводства от таких компаний, как Phibro/Abic (США), BoehringerIngelheim (Германия), Elanco (США), Hipra (Испания), Ceva (Франция) и др.³⁵

В 2023 г. российские производители внедрили 19,3 млрд доз ветеринарных вакцин, что на 3 млрд доз больше по сравнению с 2022 г., однако основная проблема заключается в том, что не всегда производимые отечественные препараты соответствуют требуемым параметрам вакцинации, что может впоследствии негативно повлиять на производство в мясной отрасли [10].

Особую актуальность приобретает проблема применения антимикробных препаратов в ветеринарии на фоне интенсивного развития животноводства и птицеводства, а также увеличения численности поголовья. Несмотря на активное применение в ветеринарии профилактики болезней различного происхождения, в настоящий момент не решена проблема высокой доли гибели молодняка сельскохозяйственных животных и птицы [11].

3) Стратегия АПК и рыбохозяйственного комплекса до 2030 г.³⁶

Прогноз развития АПК и рыбохозяйственного комплексов разработан с учетом необходимости ускоренного решения задач по достижению ПБ (в т. ч. на основе импортозамещения по широкому спектру продуктов и технологий), сохранению социальной стабильности в условиях санкций. Прогноз развития АПК и рыбохозяйственной сферы выполнен в двух вариантах (табл. 6). Целевой вариант разработан

³⁴ Михаил Мишустин утвердил единый план по достижению национальных целей развития до 2030 года и на перспективу до 2036 г. // Правительство Российской Федерации. Режим доступа: <http://government.ru/docs/53927/> (дата обращения: 16.04.2025).

³⁵ Белая А. Птичка на игле: российские аграрии боятся остаться без импортных ветеринарных вакцин. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/prodovolstvennaya-bezopasnost/513539-pticka-na-igle-rossijskie-agrarii-boatsa-ostat-sa-bez-importnyh-veterinarnyh-vakcin?ysclid=m7ue619qh2673184343> (дата обращения: 16.04.2025).

³⁶ Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 г. № 2567-р. (в редакции распоряжений Правительства РФ от 23.11.2023 № 3309-р и от 07.02.2025 № 253-р). Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/143037/> (дата обращения: 13.04.2025).

с учетом сохранения среднегодовых темпов роста объемов производства продукции АПК на уровне не менее 3 % начиная с 2023 г. Базовый вариант предусматривает реализацию государственных программ Минсельхоза России при условии текущего уровня финансирования.

Таблица 6

Примеры целевых показателей развития отрасли на период 2025 и 2030 гг.

Показатель	Вариант	2025	2030
Экспорт продукции АПК, млрд долл. США	Целевой	32	47,1
	Базовый	31,5	41
Валовая добавленная стоимость, создаваемая в сельском хозяйстве, млрд р.	целевой	5342	6551,9
	Базовый	4179,9	4885,2
Площадь вовлеченных в оборот земель сельскохозяйственного назначения, тыс. га	Целевой	5447,5	13234,8
	Базовый	2231,3	5077,3
Доля сельского населения в общей численности населения Российской Федерации, %	Базовый	25	25
	Целевой	24,5	23,6
Объем производства продукции товарной аквакультуры, включая посадочный материал, тыс. т	Целевой	420	618
	Базовый	420	618

Источник: составлено В.Н. Поповой, В.Н. Живаловым на основе Стратегии АПК и рыбохозяйственного комплекса до 2030 г.³⁷

Table 6

Examples of industry development targets for the period 2025 and 2030

Indicator	Variant	2025	2030
Export of agricultural products, \$ bln.	Target	32	47.1
	Basic	31.5	41
Value added cost, created in agriculture, bln. rub.	Target	5342	6551.9
	Basic	4179.9	4885.2
Area of rural land, thd. ha	Target	5447.5	13234.8
	Basic	2231.3	5077.3
Share of rural population in total number of Russian population, %	Basic	25	25
	Target	24.5	23.6
Volume of commercial aquaculture planting material, thd. ton	Target	420	618
	Basic	420	618

Source: compiled by V.N. Popova, V.N. Zhivalov based on Federal State Statistics Service³⁷.

Заключение

Вопрос обеспечения продовольственной безопасности в Российской Федерации решается достаточно комплексно и системно. На фоне задачи по диверсификации экспортных потоков приоритетным направлением остается всесторонняя обеспеченность населения продуктами питания, уровень которой в последние годы был устой-

³⁷ Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 г. № 2567-р. (в редакции распоряжений Правительства РФ от 23.11.2023 № 3309-р и от 07.02.2025 № 253-р). Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/143037/> (дата обращения: 13.04.2025).

чиво положительным. Эта тенденция обусловлена активной поддержкой со стороны государства в рамках политики импортозамещения по таким вопросам, как развитие российской селекционной базы, достижение технологической независимости по линии разработки российских ветеринарных препаратов, сельхоз техники и др. Чтобы добиться желаемых результатов на оптимальном уровне, нужно и дальше поддерживать рост российских технологий в производстве продуктов питания, сырья и компонентов для них, а также оборудования для сельского хозяйства, рыболовства и пищевой промышленности, кроме того, представляется целесообразным расширять рынки сбыта российской сельскохозяйственной продукции путем диверсификации экспортных потоков за счет повышения ее качества и конкурентоспособности, но при этом соблюдать баланс в части обеспечения населения необходимыми продуктами питания.

Список литературы

1. Комианов Д.С., Павлова А.И., Павлов И.Н. Тенденции в развитии овощеводства РФ // Московский экономический журнал. 2021. № 10. doi: 10.24412/2413-046X-2021-10638 EDN: MSDYWY
2. Елагина А.С. Динамика потребления продуктов питания в РФ // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13. № 1–2. С. 305–312. doi: 10.34670/AR.2023.53.94.001 EDN: NCRZHV
3. Тажибаева Р.М., Калтаева С.А. Механизмы поддержки экспорта сельхозпродукции и продовольствия в странах ЕАЭС // Молодой ученый. 2017. № 7–1 (141). С. 62–64. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/141/39721> (дата обращения: 03.06.2025). EDN: XVLFHH
4. Градусова В.Н., Липатова Л.Н. Возможности региона в укреплении экономической безопасности в сфере обеспечения населения продовольствием // Управленческое консультирование. 2019. № 11 (131). С. 76–91. doi: 10.22394/1726-1139-2019-11-76-91 EDN: SXJCPU
5. Филонова Т.Н. Макроэкономические аспекты рисков в обеспечении продовольственной безопасности // Среднерусский вестник общественных наук. 2018. Т. 13. № 5. С. 219–223. doi: 10.22394/2071-2367-2018-13-5-215-227 EDN: VPJNSS
6. Александрова М.В. Производство зерновых в КНР как гарантия продовольственной безопасности страны // Проблемы Дальнего Востока. 2022. № 6. С. 70–87. doi: 10.31857/S013128120023241-6 EDN: NYVHVR
7. Тарханова З.Э. Продовольственная безопасность государства: содержание, значение, угрозы, продовольственной безопасности // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 6. № 10 (151). С. 84–90. doi: 10.36871/ek.ur.p.r.2024.10.06.010 EDN: BIFRYN
8. Моор Т.А., Макаров О.В. Продовольственная безопасность, как важнейшая составляющая национальной безопасности страны // Евразийский научный журнал. 2021. № 5. С. 24–31.
9. Мелихов В.Ю., Рудаков Е.В. Продовольственная безопасность в системе национальной безопасности // Ученые записки. 2011. № 4 (92). С. 10–13. EDN: OIKCFF
10. Полещук И.К. Продовольственная безопасность // Крестьяноведение. 2023. Т. 8. № 3. С. 196–199. doi: 10.22394/2500-1809-2023-8-3-196-199 EDN: TNPOEB
11. Орлова Д.А., Калужная Т.В. Обеспечение продовольственной безопасности при использовании антимикробных ветеринарных препаратов в сельском хозяйстве // Формулы фармации. 2022. Т. 4. № 2. С. 51–58. doi: 10.17816/phf110798 EDN: OTIYTU

References

1. Koshmanov DS, Pavlova AI, Pavlov IN. Trends in development of vegetable farming in Russia. *Moscow Economic Journal*. 2021;(10). (In Russ.). doi: 10.24411/2413-046X-2021-10638 EDN: MSDYWY
2. Elagina AS. Dynamics of food products consumption in the Russian Federation. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2023;13(1–2):305–312 (In Russ.). doi: 10.34670/AR.2023.53.94.001 EDN: NCRZHV
3. Tazhibaeva RM, Kaltaeva SA. Mechanisms of agricultural sector exports support in EEU. 2017;(7–1):62–64. *Young Scientist*. (In Russ.). EDN: XVLFHH
4. Gradusova VN, Lipatova LN. Capacity of the region in enhance economic security in the provision of food. *Administrative Consulting*. 2019;(11):76–91. (In Russ.). doi: 10.22394/1726-1139-2019-11-76-91 EDN: SXJCPU

5. Filonova TN. Macroeconomic aspects of food security risks. *Central Russian Journal of Social Sciences*. 2018;13(5):215–227 (In Russ.). doi: 10.22394/2071-2367-2018-13-5-215-227 EDN: VPJNSS
6. Aleksandrova MB. Grain crop production as guaranty of food safety of China. 2022;(6):70–87. *Far Eastern Studies*. (In Russ.). doi: 10.31857/S013128120023241-6 EDN: NYVHVR
7. Tarhanova ZE. Food security of the state: content, significance, threats to food security. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2024;6(10): 84–90. (In Russ.). doi: 10.36871/ek.up.p.r.2024.10.06.010 EDN: BIFRYN
8. Moor TA, Makarova OV. Food security as a factor of national food security. *Evrasiiskii nauchnyi zhurnal*. 2021;(5):24–31. (In Russ.).
9. Melikhov VU, Rudakov EV. Food security in the system of national security. *Scientific Notes of the Moscow State Social University*. 2011;(4):10–13. (In Russ.). EDN: OIKCFF
10. Poleshuk UV. Food and security. *Russian Peasant Studies*. 2023;8(3):196–199. (In Russ.). doi: 10.22394/2500-1809-2023-8-3-196-199 EDN: TNPOEB
11. Orlova DA, Kalyuzhnaya TV. Ensuring food safety in use antimicrobial veterinary drugs in agriculture. *Pharmacy Formulas*. 2022;4(2):51–58. (In Russ.). doi: 10.17816/phf110798 EDN: OTIYTU

Об авторах:

Попова Вероника Николаевна — научный сотрудник Института международной экономики и финансов, Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России, Российская Федерация, 119285, г. Москва, ул. Воробьевское ш., д. 6А; e-mail: ajavrik89@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7931-850X SPIN-код: 8609–0512

Живалов Владимир Николаевич — доктор экономических наук, главный научный сотрудник Центра социально-политических исследований Института развития интеграционных процессов, Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России, Российская Федерация, 119285, г. Москва, Воробьевское ш., д. 6А; e-mail: zhivalovvn@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6827-5754 SPIN-код: 4312–4698

About the authors:

Popova Veronika Nikolaevna — Research Associate, Institute of International Economics and Finance, Russian Foreign Trade Academy of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, 6A Vorobyovskoye highway, Moscow, 119285, Russian Federation; e-mail: ajavrik89@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7931-850X SPIN-code: 8609-0512

Zhivalov Vladimir Nikolaevich — Doctor of Economics, Chief Scientific Associate, Center for Socio-Political Research, Institute for Development of Integration Processes, Russian Foreign Trade Academy of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, 6A Vorobyovskoye highway, Moscow, 119285, Russian Federation; e-mail: zhivalovvn@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6827-5754 SPIN-code: 4312-4698



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-403-416

EDN VYHGCS

УДК 631.535:712.41(98)

Научная статья / Research article

Технология зеленого черенкования древесных растений в Арктическом регионе

Н.В. Салтан^{1,2}  , Е.А. Святковская¹ ,
М.С. Заводских¹ , М.В. Корнейкова² 

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 saltan.natalya@mail.ru

Аннотация. Для озеленения северных городов возрастает потребность в декоративных растениях, устойчивых к условиям обитания, в связи с этим возникает необходимость найти решение для их размножения в промышленных масштабах. Разработана технология зеленого черенкования древесных растений (*Syringa josikaea* и *Spiraea media*) как одного из перспективных способов вегетативного размножения лиственных декоративных пород в арктическом регионе. Установлены сроки черенкования (после цветения, в начале одревеснения побега): для *Spiraea media* — 1–10 июля; для *Syringa josikaea* — 10–25 июля. Определено положительное влияние стимулятора роста ИМК 1000 ppm на развитие корневой системы и надземной части черенков при 6- и 12-часовой обработке. Показано, что эффективным способом является более длительный период обработки 12 часов. Длина корней у *Syringa josikaea* превышала контроль при 6-часовой обработке на 52 %; при 12 часовой — на 89 %; у *Spiraea media* — на 27 и 42 % соответственно. Выявлено также, что у обоих видов на 32...34 % увеличивалось количество корней при более продолжительном воздействии. Отмечено, что 12-часовая обработка достоверно увеличивала образование листьев на черенке *Syringa josikaea* ($r = 0,87$ $p > 0,001$) и *Spiraea media* ($r = 0,89$ $p > 0,001$). Результаты показали, максимальный процент приживаемости укоренившихся черенков имели *Syringa josikaea* (95,1 %) и *Spiraea media* (75,2 %) при обработке ИМК 1000 ppm в течение 12 часов.

Ключевые слова: вегетативное размножение, *Syringa josikaea*, *Spiraea media*, обработка ИМК, биометрические параметры, Мурманская область

Вклад авторов: Салтан Н.В. — дизайн эксперимента, анализ, систематизация и интерпретация полученных данных, написание текста статьи; Святковская Е.А. — концептуализация цели исследования, обработка данных, написание текста статьи; Заводских М.С. — проведение экспериментальных наблюдений;

© Салтан Н.В., Святковская Е.А., Заводских М.С., Корнейкова М.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Корнейкова М.В. — статистическая обработка результатов. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

Финансирование. Исследования проводились в рамках научно-исследовательской работы «Стратегия развития и содержания коллекционных фондов ПАБСИ, как базы для проведения научных изысканий в области интродукции и экологии в Арктической зоне РФ» (#FMEZ-2024-0012, пер. № 124020500057-4). Тестирование растений для озеленения арктических городов осуществлялось при поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ #FSSF-2024-0023.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 1 апреля 2025 г., принята к публикации 21 апреля 2025 г.

Для цитирования: Салтан Н.В., Святковская Е.А., Заводских М.С., Корнейкова М.В. Технология зеленого черенкования древесных растений в Арктическом регионе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 403–416. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-403-416 EDN: VYHGCS

Technology of green cuttings of woody plants for landscaping arctic cities

Natalia V. Saltan^{1, 2}  , Ekaterina A. Sviatkovskaya¹ ,
Marina S. Zavodskikh¹ , Maria V. Korneykova² 

¹Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Centre of the Russian Academy
of Sciences, Apatity, Murmansk region, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 saltan.natalya@mail.ru

Abstract. For landscaping of northern cities, requirement for ornamental plants resistant to urban conditions is increasing, so there is a need to find a solution for multiplication at commercial scale. A technology of green cuttings of woody plants (*Syringa josikaea* and *Spiraea media*) has been developed as one of the promising methods of vegetative propagation of deciduous ornamental species in the Arctic region. The terms of cuttings (at the beginning of shoot lignification) have been established: for *Spiraea media* — July 1–10; for *Syringa josikaea* — July 10–25. A positive effect of the growth stimulator IBA 1000 ppm on the development of the root system and the above-ground part of the cuttings was determined with 6-hour and 12-hour treatment. It was shown that a longer treatment period (12 hours) was more effective. The length of the roots of *Syringa josikaea* exceeded the control with a 6-hour treatment by 52%; at 12 hours by 89%; in *Spiraea media* — by 27 and 42%, respectively. In both species the number of roots increased by 32–34% with a longer exposure. The treatment of cuttings for 12-hour significantly increased the formation of leaves on the cuttings of *Syringa josikaea* ($r = 0.87$ $p < 0.001$) and *Spiraea media* ($r = 0.89$ $p < 0.001$). The results revealed that the cuttings treated with IBA 1000 ppm (12h) registered maximum survival percentage of rooted cuttings of *Syringa josikaea* (95.1%) and *Spiraea media* (75.2%).

Keywords: vegetative reproduction, *Syringa josikaea*, *Spiraea media*, IBA treatment, biometric parameters, Murmansk region

Author's contribution: Saltan N.V. — experimental design, analysis, systematization, and interpretation of the obtained data, writing the manuscript; Sviatkovskaya E.A. — conceptualization of the study goal, data processing, writing the manuscript; Zavodskikh M.S. — conducting the experimental observations; Korneykova M.V. — statistical processing of the results. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Funding. This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project no. FMEZ-2024-0012, No. 124020500057-4). Plants testing for landscaping Arctic cities was supported of the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation's project no.FSSF-2024-0023.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Article history: received 1 April 2025; accepted 21 April 2025.

For citation: Saltan NV, Sviatkovskaya EA, Zavodskikh MS, Korneykova MV. Technology of green cuttings of woody plants for landscaping Arctic cities. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):403–416. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-403-416 EDN: VYHGCS

Введение

При росте урбанизации, изменении климата и других глобальных экологических процессах качество и уровень зеленой инфраструктуры в урбоэкосистемах приобретают общепланетарное значение [1–3]. С экономическим ростом актуализируется проблема повышения качества жизни населения, особенно в арктических городах с экстремальными природными условиями [4]. Общеизвестно, что зеленые насаждения улучшают микроклиматические условия местности, положительно влияют на психоэмоциональное и физическое состояние людей [5–7].

В северных городах создаются новые общественные пространства, благоустроенные территории, вследствие чего увеличивается потребность в посадочном материале различных видов и форм декоративных растений. В связи с невозможностью обеспечения возросшего спроса местными ресурсами большое количество растений привозится из южных регионов. Поскольку растения не адаптированы к условиям Крайнего Севера, они имеют более низкую декоративность и эстетичность.

Интродукционными испытаниями большого количества древесных, травянистых растений и разработкой способов их размножения занимается Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ / Сад) с первых дней его основания (1931). Долгое время предпочтение отдавалось семенному размножению, материал для которого поступал из экспедиций и в результате сбора семян с маточных растений, произрастающих на территории Сада. Период достижения декоративности деревьев и кустарников при данном типе размножении более продолжительный (на 2–3 года), чем при вегетативном. К тому же почти 40 % видов не дают качественные семена, либо заготовка семенного материала связана с большими трудностями. В связи с высоким спросом на посадочный материал древесных растений в регионе возникла необходимость разработки рентабельной технологии вегетативного размножения деревьев и кустарников.

Для решения таких задач наиболее подходит зеленое черенкование. При этом способе размножения растения сохраняют полезные признаки и свойства культур, полностью воспроизводят черты (цвет, форму и размеры) материнского растения. Способность черенков к укоренению и процент успеха черенкования зависят от многих факторов, таких как возраст материнского растения, дата сбора, длина

и тип черенка, уровень питательных веществ в черенке, климатические условия, последующий уход и т.д.

Для ускорения образования корней и роста побегов черенков часто используют регуляторы роста растений. Наиболее надежным гормоном укоренения является синтетический ауксин — индолилмасляная кислота (ИМК), поскольку она нетоксична для растений и может использоваться в широком диапазоне концентраций [8–10]. Показано, что обработка ИМК в концентрации 1000 ppm оказалась лучшей по большинству параметров вегетативного роста и скорости размножения черенков растений [11, 12].

Цель исследования — разработка технологии зеленого черенкования древесных растений в арктическом регионе для коммерческого получения посадочного материала.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили в 2024 г. на территории Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ), расположенного в г. Кировск Мурманской области (рис. 1). Для проведения эксперимента выбрали декоративные красивоцветущие кустарники *Syringa josikaea* Jacq. fil. и *Spiraea media* Franz Schmidt., широко применяемые для озеленения северных городов. Данные виды включены в региональный озеленительный ассортимент в 1941 г. [13].

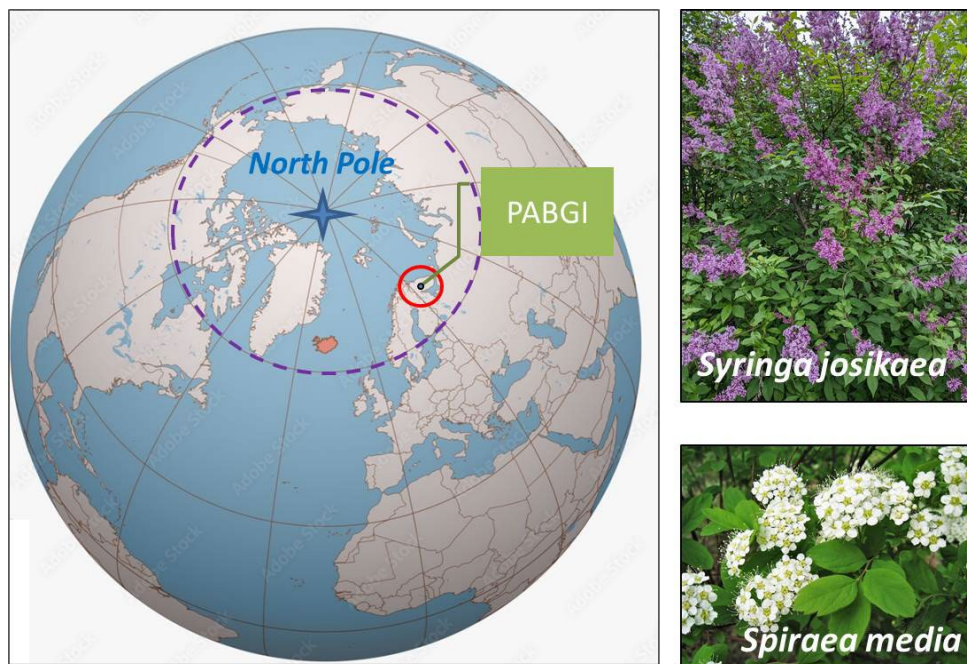


Рис. 1. Описание объектов и района исследований

Источник: фото растений Н.В. Салтан.

Впервые *Syringa josikaea* поступила в ПАБСИ для интродукционных испытаний в 1936 г. из Ленинграда (Ботанический институт) саженцами 2–3 лет. В 1940 г. этот вид впервые применен для озеленения парков и скверов Мурманска и Мончегорска. На родине, в природной флоре Карпат, считается редким видом [14]. *Syringa josikaea* является самым распространенным дендроинтродуцентом, встречается в каждом городе и составляет от 1 до 30 % от общего количества интродуцированных видов [15].

Syringa josikaea — декоративный кустарник высотой до 5 м. Листья сверху зеленые, снизу с сизоватым налетом, удлинённые, довольно крупные. Соцветия рыхлые, прямостоячие, пирамидальные, с хорошо выраженными ярусными разветвлениями. Цветки лилово-фиолетовые, длинные трубчатые с приятным слабым ароматом. Хороший медонос. В зависимости от погодных условий цветет с начала-середины июля в течение двух-трех недель. Плоды завязываются ежегодно, но редко вызревают. В конце июля побеги заканчивают рост и успевают одревеснеть к зиме. Листья сохраняют свежий зеленый цвет до снега [16]. Декоративность сохраняется до 60 лет при регулярном уходе.

Spiraea media поступила в ПАБСИ в 1936 г. Впервые использована в озеленении города Полярный в 1944 г. Встречается в озеленительных посадках во всех городах Мурманской области. Доля участия среди интродуцированных видов составляет от 0,5 до 18,0 %. Широко распространена в скверах Мончегорска (сквер в Южном районе) и Снежногорска (сквер на ул. Октябрьская). В уличных посадках отмечена в городах Апатиты и Мурманск [17].

Представляет собой сильно ветвистый, высокий (до 1,8 м) кустарник с густой кроной. Цветет в течение двух недель в июне. Цветки белые, собраны в многоцветковые зонтиковидные щитки, расположены густо по всему побегу. Зимостойка. Хорошо поддается стрижке. В городских условиях может сохранять декоративность в течение 40–50 лет в зависимости от условий произрастания.

Черенки *Spiraea media* и *Syringa josikaea* заготавливали рано утром с боковых побегов текущего года длиной 25–50 см. В качестве маточных растений использовали экземпляры в возрасте 5–15 лет, расположенные на хорошо освещенном месте, так как опытные культуры светолюбивые. До начала черенкования выбранные растения тщательно осматривали на наличие повреждений вредителями и болезнями. Листовые пластинки должны быть плоскими, не скрученными и не слишком большими.

Черенкование проводили на начальной стадии одревеснения побегов (коричневые вкрапления на зеленом фоне), у *Spiraea media* с 1 по 10 июля, у *Syringa josikaea* с 10 до 25 июля. Нарезали черенки из средней и верхней части побегов с вегетативными почками, делая косой срез на базальном конце и поперечный на верхушке каждого черенка. Черенки *Syringa josikaea* имели длину 5–10 см (1–2 междоузлия), нижние 1 или 2 листа удаляли, верхние обрезали на 1/3 или половину, что необходимо для уменьшения испарения влаги при отсутствии корневой системы. Листья с небольшой площадью оставляли без изменения. Черенки *Spiraea media* нарезались длиной 10–15 см (4–5 междоузлия). Листья у данного

вида мелкие, поэтому их не обрезали, а на нижних двух междоузлиях удаляли полностью. Из срезанного побега, в зависимости от его длины, получали у *Syringa josikaea* 2–4 черенка, у *Spiraea media* — 2 или 3.

Срезанные черенки обрабатывали ИМК концентрацией 1000 ppm. Эксперимент ставили с 3 повторениями для 1 фактора: время экспозиции. Фактор содержит 3 обработки: дистиллированная вода (Т1); ИМК 1000 ppm, время экспозиции — 6 часов (Т2); ИМК 1000 ppm, время экспозиции — 12 часов (Т3). Раствор указанной концентрации готовили путем разбавления в дистиллированной воде, а pH поддерживали на уровне 7,0 с помощью 0,1 N КОН или HCl в присутствии цифрового pH-метра. Каждая повторность включала 30 черенков.

Обработанные черенки промыли водой и высадили в теплицу в предварительно подготовленные контейнеры, заполненные почвенным субстратом, уложенным слоями. Нижний слой (2–3 см) — керамзит для дренажа, второй слой (8–10 см) — плодородная почва кислотностью 6,3 с содержанием аммонийного азота — 3,34, нитратного азота — 4,03 и P_2O_5 — 258,4 мг/100г а.с.н.; третий (верхние 2 см) — речной песок. Перед посадкой черенков субстрат обильно поливали и на сутки оставляли закрытым пленкой.

При посадке черенки заглубляли на 1,5...2,0 см, так чтобы нижний срез находился в песке или на границе песка и почвы. Расстояние между черенками выдерживали от 3 до 4 см, чтобы листья не соприкасались друг с другом. Черенок устанавливали в субстрат наклонно и плотно закрепляли в почве. Для создания парникового эффекта контейнеры с черенками покрывались пленкой, которую в первые 2–3 недели снимали только для полива, а в дальнейшем и на ночь для лучшей адаптации к воздушной среде. Все черенки регулярно поливали. Относительная влажность воздуха в теплице поддерживалась на уровне больше или равно 85 %, а температура — 20...26 °C.

Дальнейшие наблюдения проводили по различным параметрам побегов и корней: количество корней на черенок; длина корня, см; прирост побега, см; количество листьев, образовавшихся на черенках; процент выживания, %. Измерения проводили на 50 день (начало сентября).

Статистическая обработка. Достоверность отличий экспериментальных данных оценена с помощью однофакторного дисперсионного анализа по критерию Тюрки. Для установления статистически значимых различий между вариантами обработок и биометрическими параметрами растений проводили анализ главных компонент с использованием пакетов FactoMineR и factoextra в R (R 4.3.3).

Результаты исследования и обсуждение

Через 20 дней после посадки черенков рекогносцировочный осмотр показал, что лучшее состояние имели черенки *Syringa josikaea*, обработанные стимулятором роста в течение 12 часов. У них отмечено меньше сухих листьев и на 50 % растений появились новые почки. При выемке единичных черенков отмечалось наличие каллюса и образование маленьких корней. У растений, обработанных

ростовыми веществами в течение 6 часов, новые почки выявлены у 30 % растений, в контроле — у 20 %.

Количество корней на черенок. Наибольшее количество корней достоверно обнаружено у черенков *Syringa josikaea*, обработанных ИМК, в течение 12 часов (9,9, $p = 0,009$), при нахождении черенков в 6-часовой период значение немного ниже (9,1, $p = 0,016$), рис. 2, 3. В контроле количество корней минимальное (7,4). У *Spiraea media* количество корней также выше при 12 часовой обработке (11,2, $p < 0,01$), при этом данный показатель превышает аналогичное значение для *Syringa josikaea*. Отмечено, что у обоих видов по сравнению с контролем количество корней при 6-часовом воздействии увеличивалось на 19...21 %, при 12-часовом — на 32...34 %. ИМК является наиболее широко используемым регулятором роста для стимуляции зарождения корней у черенков из-за его высокой способности стимулировать укоренение и слабой токсичности [18, 19].

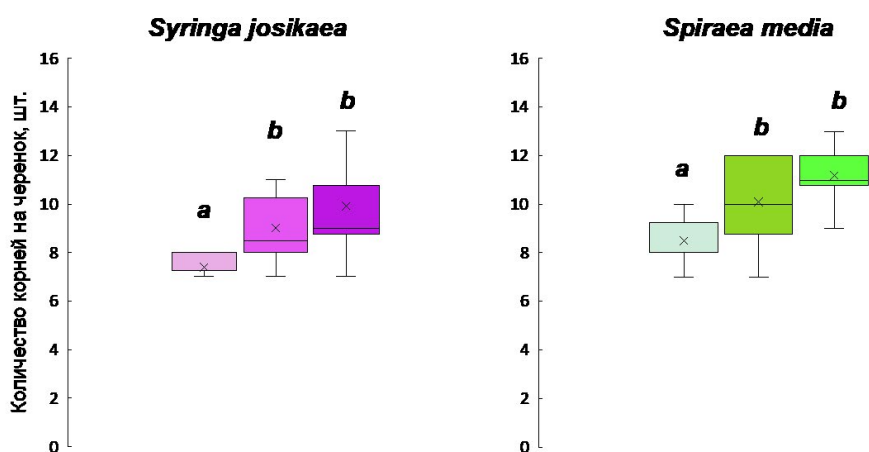


Рис. 2. Влияние обработки ИМК на количество корней на черенке у *Syringa josikaea* и *Spiraea media*. Величины *a*, *b* значимо ($p < 0,05$) различаются для разных вариантов обработок (ANOVA, критерий Тьюки)

Источник: выполнено Н.В. Салтан.

Более продолжительное нахождение черенков в стимуляторе способствовало лучшему образованию корней.

Длина корней. Обработка ИМК приводила также к увеличению длины корней у черенков изучаемых видов, но динамика их роста была различной (рис. 3, 4). У *Syringa josikaea* максимальная длина достоверно выявлена в варианте ТЗ (16,6...20,0 см; $p < 0,05$), у *Spiraea media* также в варианте ТЗ (9,8...15,7 см; $p < 0,05$). В целом, у *Syringa josikaea* по сравнению с контролем при 6-часовой обработке длина корней выше на 52, при 12-часовой — на 89 %. У *Spiraea media* эти показатели существенно ниже: при 6-часовой экспозиции — на 27, при 12-часовой — на 42 %.

Syringa josikaea



T1



T2



T3

Spiraea media



T1



T2



T3

Рис. 3. Развитие придаточных корней у черенков растений
Источник: фото сделано Н.В. Салтан.

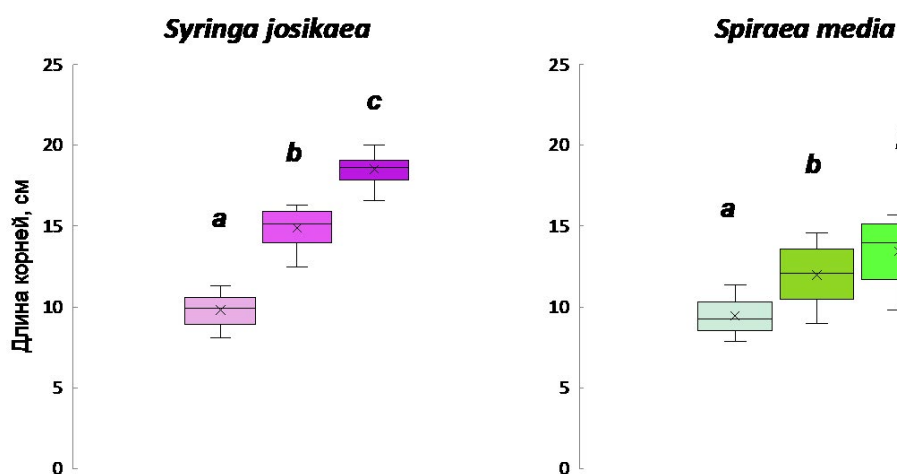


Рис. 4. Влияние ИМК на длину корней изученных видов. Величины *a*, *b* значимо ($p < 0,05$) различаются для разных вариантов обработок (ANOVA, критерий Тьюки)

Источник: сделано Н.В. Салтан.

Увеличение длины корня может быть связано с ранним образованием каллюса, дифференциацией клеток, большим удлинением клеток и дифференциацией сосудистой ткани, что в свою очередь способствовало росту корня. В работе Shenou показано, что увеличение длины корня у *Rosa damascena* по сравнению с контролем может быть связано с усиленным гидролизом углеводов, накоплением метаболитов и делением клеток, вызванным ауксином [20]. Эти результаты согласуются с выводами Singh et al. для *Cestrum nocturnum* [21] и Keerthivasan et al. для новых генотипов жасмина [22].

Прирост побега. Максимальный прирост побегов (14,9 см) зафиксирован у черенков *Spiraea media*, обработанных ИМК за 12 часов (ТЗ), а минимальный (1,3 см) — в контроле (Т1) (табл.). Данный параметр у черенков *Syringa josikaea* варьирует в более низком диапазоне значений, чем у *Spiraea media*, но с сохранением выявленной для нее тенденции. Для обоих видов растений эффект взаимодействия черенков с ауксином — увеличенный прирост побегов по сравнению с контролем, особенно при 12-часовой обработке. Усиление роста побегов черенков может быть обусловлено активным ростом корней и большим количеством корней на черенок, что в свою очередь увеличивает поглощение воды и питательных веществ. В черенках, обработанных ИМК, ауксин усилил деление клеток, удлинение клеток и синтез белка, что могло привести к усилению здорового вегетативного роста. Подобные результаты получены также Kumaresan et al. для *Jasminum multiflorum* [19] и Mohammed et al. для некоторых сортов роз [23].

Влияние времени обработки регулятором роста на параметры черенков

Регулятор роста		Прирост побега, см		Количество листьев на черенок	
		<i>Syringa josikaea</i>	<i>Spiraea media</i>	<i>Syringa josikaea</i>	<i>Spiraea media</i>
T1	Контроль	1,59 1,10–2,30	3,41 1,30–5,10	2,67 2,0–4,00	13,83 10,00–17,00
T2	ИБА 1000рм (6 ч)	2,91 1,50–4,50	4,83 2,20–7,30	3,17 2,00–4,00	21,5 15,00–27,00
T3	ИБА 1000рм (12 ч)	3,59 1,60–6,30	7,72 3,20–14,90	5,33 3,00–7,00	37,17 30,00–42,00

Примечание: над чертой жирным шрифтом – среднее; под чертой – минимум–максимум.

Источник: составлено Н.В. Салтан.

Количество листьев на черенок. У *Spiraea media* достоверно отмечено значительное увеличение числа новых листьев (37,17) при более продолжительной обработке ИМК (Т3) (см. табл.). В контроле у черенков новые листья образуются, но в меньшем количестве (13,83). У *Syringa josikaea*, для которой характерны более крупные листья и длинные междоузлия, данный показатель гораздо ниже, чем у спиреи. Однако 12-часовая обработка ауксином оказалась более эффективной, чем 6-часовая, и лучше стимулировала листообразование, что может быть связано с увеличением высоты растения и количества побегов. Показано, что под воздействием экзогенного ауксина растет количество листьев на черенок из-за разделения клеток каллуса, расширения клеток и синтеза белка, что приводит к усилению роста корней, побегов и, таким образом, к увеличению количества листьев [24, 25].

Взаимосвязь факторов. Анализ главных компонент у *Syringa josikaea* выявил, что первая компонента (64,9 %) связана с длиной корней, количеством корней, приростом побега, количеством листьев на черенок (рис. 5). Наибольшие значения параметров, характеризующие эффективность применения стимулятора роста, отмечены для количества корней на черенок. Перекрывающиеся эллипсы для Т1 и Т2 свидетельствуют о слабой разнице между обработками ИМК в течение 6 и 12 часов.

У *Spiraea media* максимальный вклад в дисперсию обусловлен первой компонентой (69 %), включающей такие параметры, как длина и количество корней, приростом побега, количеством листьев на черенок. У этого вида растений типы обработки образовали изолированные эллипсы, где эффект 12-часовой обработки в стимуляторе роста показал наилучший результат, особенно на прирост побега.

Процент приживаемости. Доля укоренных растений без использования ростовых веществ (Т1) варьировала от 60 (*Syringa josikaea*) до 65 % (*Spiraea media*) (рис. 6). У черенков обоих видов, которые находились в стимуляторе роста 6 часов, укоренение составило 70 %. Обработка в течение 12 часов увеличила прижива-

емость у спиреи до 75, у сирени до 95. Таким образом, 12-часовое воздействие стимулятора роста оказало наибольшее влияние на укоренение зеленых черенков *Syringa josikaea*, для *Spiraea media* оно было менее значительно. У обеих культур не укоренились очень тонкие черенки, нарезанные из верхней части побегов.

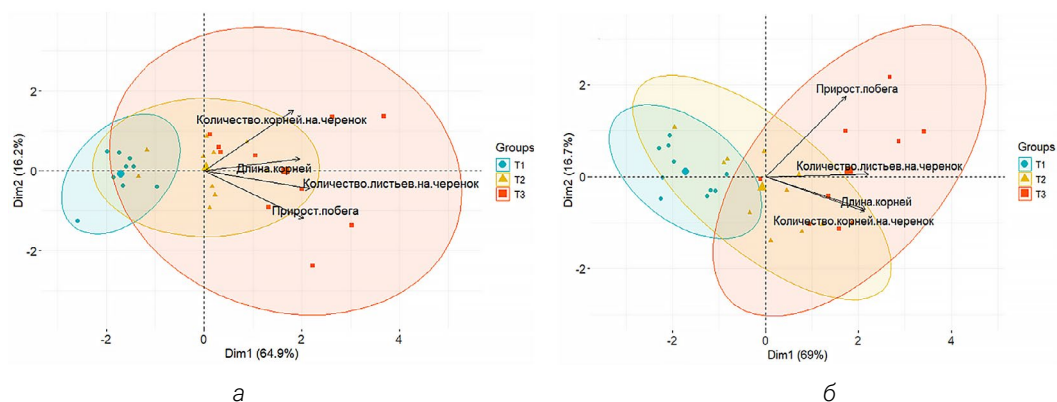


Рис. 5. Вклад переменных в главную компоненту: а — *Syringa josikaea*; б — *Spiraea media*

Источник: выполнили Н.В. Салтан, М.В. Корнейкова.

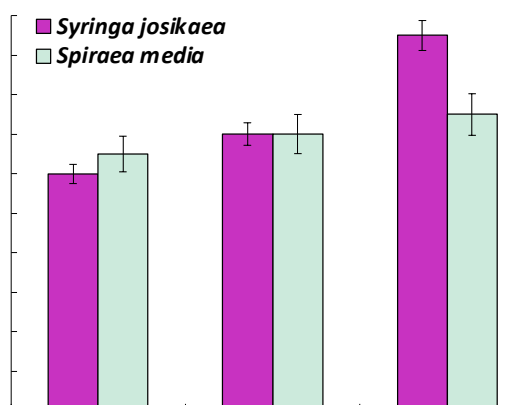


Рис. 6. Влияние регулятора роста на процент приживаемости зеленых черенков

Источник: выполнено Н.В. Салтан.

Заключение

Учитывая накопленные знания по вопросу зеленого черенкования для более южных регионов, мы внесли коррективы в технологию для арктических районов. Установлены региональные сроки черенкования, которые зависят от времени цветения растений и начала одревеснения побегов. Период развития и цветения опытных растений разный. *Spiraea media* относится к раннецветущим видам,

чем *Syringa josikaea*, и соответственно нарезка черенков проведена раньше почти на 10 дней.

Анализ результатов укоренения черенков показал положительное влияние обработкой стимулятором роста на развитие корневой системы и надземной части. Отмечено увеличение длины корней у черенков опытных растений: у *Syringa josikaea* по сравнению с контролем при 6-часовой обработке этот показатель выше на 52 %, при 12-часовой — на 89 %; *Spiraea media* — на 27 и 42 % соответственно.

Для листообразования 12-часовая обработка опытных видов стимулятором роста также оказалась более эффективной, чем 6-часовая. У *Syringa josikaea*, для которой характерны более крупные листья и длинные междоузлия, данный показатель гораздо ниже, чем у *Spiraea media*. В контроле у черенков новые листья образовывались, но в меньшем количестве.

На укоренение зеленых черенков наибольшее влияние оказало 12-часовое воздействие стимулятора роста: у *Syringa josikaea* — на 95, *Spiraea media* — 75 %, при 6-часовой обработке оно составило 70 % у обоих видов. Процент укорененных растений без использования ростовых веществ варьировал от 60 (*Syringa josikaea*) до 65 % (*Spiraea media*).

Таким образом, зеленое черенкование древесных видов, в частности *Syringa josikaea* и *Spiraea media*, является наиболее эффективным способом получения посадочного материала в арктической зоне.

Список литературы

1. Miakhel M, Abdulrahimzai AA, Habib A, Behsoodi MM. Urban green infrastructures and its impacts on the urban environment: a review. *Journal of Environment, Climate, and Ecology*. 2024;1(2):9–15. doi: 10.69739/jece.v1i2.135
2. Kim SY, Kim BHS. The effect of urban green infrastructure on disaster mitigation in Korea. *Sustainability*. 2017;9(6):1026. doi: 10.3390/su9061026
3. Scholz T, Hof A, Schmitt T. Cooling effects and regulating ecosystem services provided by urban trees — novel analysis approaches using urban tree cadastre data. *Sustainability*. 2018;10(3):712. doi: 10.3390/su10030712
4. Павленко В.И., Куценко С.Ю. Обеспечение комфортной жизнедеятельности человека в Арктике: проблемы и задачи // Экология человека. 2018. Т. 25. № 2. С. 51–58. doi: 10.33396/1728-0869-2018-2-51-58 EDN: YOJEJX
5. Breuste J, Artmann M, Li J, Xie M. Special issue on green infrastructure for urban sustainability. *Journal of Urban Planning and Development*. 2015;141(3):A2015001. doi: 10.1061/(asce)up.1943-5444.0000291
6. Nazish A, Abbas K, Sattar E. Health impact of urban green spaces: a systematic review of heat-related morbidity and mortality. *BMJ Open*. 2024;14(9):e081632. doi: 10.1136/bmjopen-2023-081632 EDN: ROKJEE
7. Zhao J, Ren R, Beeraka NM, PA M, Xue N, Lu P, Bai W, Mao Z, PR HV, Bulygin KV, Nikolenko VN, Fan R, Liu J. Correlation of time trends of air pollutants, greenspaces and tracheal, bronchus and lung cancer incidence and mortality among the adults in United States. *Frontiers in oncology*. 2024;14:1398679. doi: 10.3389/fonc.2024.1398679 EDN: XPISHS
8. Tsipouridis C, Thomidis T, Isaakidis A. Rooting of peach hardwood and semi-hardwood cuttings. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2003;43(11):1363–1368. doi: 10.1071/EA02153
9. Henrique A, Campinhos EN, Ono EO, de Pinho SZ. Effect of plant growth regulators in rooting of *Pinus* cuttings. *Brazilian Archives of Biological Technology*. 2006;49(2):189–196. doi: 10.1590/S1516-89132006000300002
10. Basuchaudhuri P. Auxins in rooting of cuttings. *Indian Journal of Plant Sciences*. 2021;10:69–85. doi: 10.13140/RG.2.2.35517.79847

11. Mehta NS, Bhatt SS, Kumar J, Kotiyal A, Dimri DC. Effect of IBA on vegetative growth and multiplication rate in stem cutting of pear rootstocks. *HortFlora Research Spectrum*. 2016;5(3):242–245.
12. Kamboj S, Singh K, Singh S, Gandhi N. Effect of indole butyric acid on rooting and vegetative parameters of pomegranate (*Punica granatum* L.) cuttings. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*. 2017;6(1):791–796.
13. Аврорин Н.А. Чем озеленять города и поселки Мурманской области и северных районов Карело-Финской ССР. Кировск, 1941. 126 с.
14. Красная книга СССР. 2-е издание. М., 1984. Т. 2. 478 с.
15. Салтан Н., Шлапак Е., Жиров В., Святковская Е., Гонтарь О., Тростенюк Н. Изучение пластичности фотосинтетического аппарата листьев дендроинтродуцентов в условиях урбаноcреды Кольской Арктики // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 2–3. С. 545–549. EDN: ZWSWXT
16. Гонтарь О.Б., Жиров В.К., Казаков Л.А., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты : КНЦ РАН, 2010. 226 с. EDN: QLBTDT
17. Святковская Е.А. Салтан Н.В., Тростенюк Н.Н., Гонтарь О.Б., Шлапак Е.П. Древесные интродуценты в ландшафтном оформлении внутриквартальных территорий городов Кольского Севера // Бюллетень Главного ботанического сада. 2020. № 1. С. 64–67. doi: 10.25791/BBGRAN.01.2020.1039 EDN: VWHKFN
18. Haissig BE. Influences of auxins and auxin synergists on adventitious root primordium initiation and development. *New Zealand Journal for Science*. 1974;4(2):311–323.
19. Kumaresan M, Kannan M, Sankari A, Chandrasekhar CN. Effect of different type of stem cuttings and plant growth regulators on rooting of *Jasminum multiflorum* (Pink Kakada). *International Journal of Chemical Studies*. 2019;7(3):935–939.
20. Shenoy R. *Influence of planting material and growth regulators on the rooting of stem cuttings in Rosa damascena* Mill. [Dissertation] Bangalore; 1992.
21. Singh KK, Rawat V, Rawat JMS, Tomar YK, Kumar P. Effect of IBA and NAA concentrations on rooting in stem cuttings of Night queen (*Cestrum nocturnum* L.) under sub-tropical valley conditions. *HortFlora Research Spectrum*. 2013;2(1):81–83.
22. Keerthivasan R, Ganga M, Chitra R, Vanitha K, Sharmila RC. Biochemical and physiological effects of propagule type and auxin concentration on adventitious root formation in novel Jasmine genotypes. *Plant Science Today*. 2024;11(4):852–863. doi: 10.14719/pst.4758 EDN: HQEOIS
23. Mohammed I, Karrar H, Al-Taey DKA, Li G, Yonglin R, Alsaffar MF. Response of Rose stem cutting to indole-3-butyric acid for root formation and growth traits. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2024;56(3):1187–1198. doi: 10.54910/sabrao2024.56.3.25 EDN: QTFUPF
24. Evans ML. Rapid responses to plant hormones. *Annual Review of Plant Physiology*. 1976;25:195–223. doi: 10.1146/annurev.pp.25.060174.001211
25. Safaa MM, Abo EL-Ghait EM, Youssef ASM, Sebaie H. Effect of some rooting media and IBA treatments on rooting, growth and chemical composition of stem cuttings of *Ficus benjamina* cv. Vivian. *Annals of Agricultural Sciences, Moshtohor*. 2020;58(4):999–1010.

Об авторах:

Салтан Наталья Владимировна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: saltan.natalya@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5905-9774 SPIN-код: 6405-0697

Святковская Екатерина Александровна — научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: sviatkovskaya@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4069-7020 SPIN-код: 3143-2491

Заводских Марина Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: mar.umanets@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-5702-3858 SPIN-код: 1064-2792

Корнейкова Мария Владимировна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник центра «Смарт технологии устойчивого развития городской среды в условиях глобальных изменений», заместитель директора по научной работе аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: korneykova.maria@mail.ru
ORCID: 0000-0002-6167-1567 SPIN-код: 8258-4976



Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-417-432

EDN WFHECS

УДК 579.262:502.3(268.45)

Научная статья / Research article

Микробное сообщество прибрежной зоны Кольского залива Баренцева моря в условиях антропогенной нагрузки

Е.В. Козлова  , В.А. Мязин , М.Ш. Мурзаева 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 kozlova_ev@pfur.ru

Аннотация. Приведены результаты комплексного исследования состава и структуры микробных сообществ прибрежных грунтов Кольского залива Баренцева моря в условиях антропогенного загрязнения. Отмечено общее снижение таксономического и функционального разнообразия микробных сообществ. Наиболее разнообразное и устойчивое микробное сообщество зафиксировано в почве супралиторальной зоны, которая в меньшей степени подвержена химическому загрязнению и испытывает только рекреационную нагрузку. Таксономическая структура микробиома в зоне загрязнения нефтепродуктами отличалась повышением долевого участия классов *Proteobacteria* для бактерий и *Sordariomycetes* для грибов, отмечено снижение разнообразия и выравнивания сообществ. Высокий уровень загрязнения нефтепродуктами и тяжелыми металлами привел к увеличению долевого участия групп бактерий, адаптированных к анаэробным условиям, и паразитических групп микроскопических грибов. Показаны достоверные положительные корреляции содержания нефтепродуктов с группами бактерий, участвующими в окислении серы, и отрицательные — с микроорганизмами азотного цикла и микоризообразователями. Выявлена положительная связь микоризообразующих грибов с элементами минерального питания и отрицательная связь между функциональными группами азотного цикла и содержанием тяжелых металлов (Cr, Fe, Ni, As, Se, Mo). Отмечено сокращение обилия углеводородокисляющих бактерий на участке, загрязненном нефтепродуктами, что может указывать на высокую токсичность загрязнения и недостаточную эффективность анаэробной деградации.

Ключевые слова: Арктика, прибрежные грунты, нефтепродукты, тяжелые металлы, микробиом, функциональное разнообразие микробиома, высокопроизводительное секвенирование

© Козлова Е.В., Мязин В.А., Мурзаева М.Ш., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: Козлова Е.В. — анализ и обработка полученных данных, написание текста; Мязин В.А. — концепция и дизайн исследования; Мурзаева М.Ш. — сбор и обработка материалов. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

Финансирование. Полевые работы и химический анализ образцов выполнены в рамках темы НИР по госзаданию FSSF-2024–0023. Анализ данных секвенирования проведен при финансовой поддержке проекта № 202103–2–000 Системы грантовой поддержки научных проектов РУДН.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 5 июня 2025 г., принята к публикации 14 июля 2025 г.

Для цитирования: Козлова Е.В., Мязин В.А., Мурзаева М.Ш. Микробное сообщество прибрежной зоны Кольского залива Баренцева моря в условиях антропогенной нагрузки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 417–432. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-417-432 EDN: WFHECS

Microbial community of the Coastal Zone of Kola Bay under anthropogenic impact

Ekaterina V. Kozlova  , Vladimir A. Myazin , Milana Sh. Murzaeva 

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 kozlova_ev@pfur.ru

Abstract. This study presents the results of a comprehensive research of the composition and structure of microbial communities in the coastal soils of Kola Bay, Barents Sea, under conditions of anthropogenic pollution. A general decline in the taxonomic and functional diversity of microbial communities was observed. The most diverse and stable microbial community was found in the supralittoral zone soil, which is less affected by chemical pollution and subjected only to recreational pressure. The taxonomic structure of the microbiome in the oil-polluted zone showed an increased ratio of *Proteobacteria* among bacteria and *Sordariomycetes* among fungi, along with a decrease in community diversity and evenness. High levels of oil and heavy metal contamination led to an increased ratio of bacterial groups adapted to anaerobic conditions and parasitic groups of microscopic fungi. Significant positive correlations were found between oil product content and bacterial groups involved in sulfur oxidation, and negative correlations with nitrogen-cycle microorganisms and mycorrhizal fungi. A positive relationship was identified between mycorrhizal fungi and mineral nutrient elements, and a negative relationship between nitrogen-cycle functional groups and heavy metal content (Cr, Fe, Ni, As, Se, Mo). A decline in the abundance of hydrocarbon-oxidizing bacteria was noted in the oil-contaminated area, possibly indicating high toxicity of the pollution and insufficient efficiency of anaerobic degradation.

Keywords: Arctic, coastal substrates, oil, heavy metals, microbiome, functional diversity of microbiome, high-throughput sequencing

Author contributions: Kozlova E.V. — data analysis and processing, manuscript writing; Myazin V.A. — study concept and design; Murzaeva M.Sh. — data collection and processing. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

Funding. Fieldwork and chemical analysis of samples were conducted within the framework of the research project under state contract FSSF-2024–0023. Sequencing data analysis was supported by project No. 202103–2–000 of the RUDN University Grant Support System for Scientific Projects.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Article history: received 5 June 2025; accepted 14 July 2025.

For citation: Kozlova EV, Myazin VA, Murzaeva MSh. Microbial community of the coastal zone of the Kola Bay of the Barents Sea under anthropogenic pressure. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):417–432. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-417-432 EDN: WFHECS

Введение

Прибрежные участки арктических морей на урбанизированных территориях подвергаются интенсивной техногенной нагрузке со стороны предприятий теплоэнергетики, городского коммунального хозяйства и транспорта, усиливая антропогенное давление на арктические экосистемы, характеризующиеся низкими температурами, ограниченной доступностью питательных веществ и специфическим составом микробных сообществ, метаболический потенциал которых становятся ключевым фактором, определяющим устойчивость экосистемы и их способность к восстановлению после загрязнения [1, 2]. В то же время длительное загрязнение территории может вызвать значительное изменение таксономического состава и метаболических функций микробных сообществ.

Микробиом прибрежных территорий арктических морей вызывает все больший интерес в условиях изменения климата и усиления антропогенного влияния [3–5]. Проведенные ранее исследования прибрежных грунтов Кольского залива были посвящены описанию количественных характеристик микробиома субаквальных почв [6] и разнообразию культивируемого сообщества микроскопических грибов [7] на антропогенно-измененных территориях. Использование высокопроизводительного секвенирования позволяет значительно расширить имеющиеся представления о составе, структуре, функциях и метаболических особенностях микроорганизмов.

Цель исследования — оценка таксономического и функционального разнообразия микробиома почв и грунтов литоральной и супралиторальной зон Кольского залива в условиях антропогенной нагрузки.

Материалы и методы исследования

Участки исследования. Объектами исследования стали прибрежные почвы и грунты литоральной и супралиторальной зон восточного побережья южного колена Кольского залива в районе города Кола (рис. 1). Территория характеризуется приморским рельефом с чередующимися песчано-илистыми и каменистыми участками. Климат района относится к умеренно-холодному морскому типу. Среднегодовая температура воздуха составляет около $-1,2^{\circ}\text{C}$, а среднегодовая сумма осадков достигает 500...600 мм.

На территории имеются признаки деградации прибрежных экосистем — фрагментация растительного покрова и эрозия береговой линии. В непосредственной близости от участков исследования располагаются Мурманская ТЭЦ, бетонный

завод и ряд других предприятий. Прибрежная зона частично используется местными жителями в рекреационных целях.

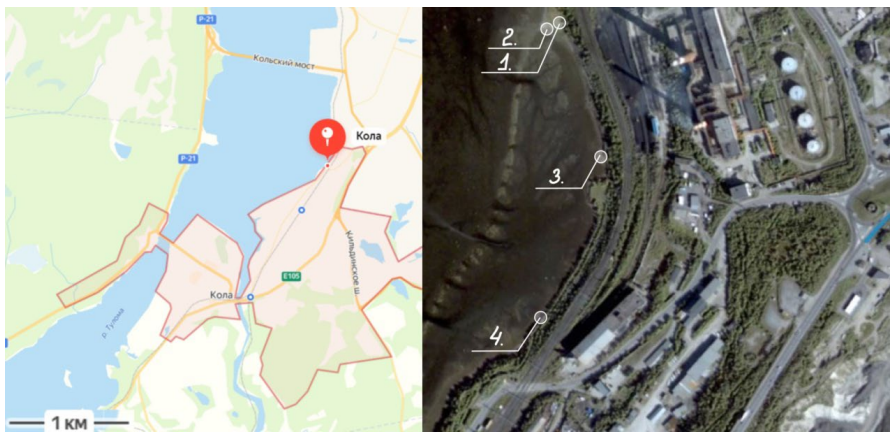


Рис. 1. Карта-схема расположения исследуемых участков с точками отбора проб
Источник: выполнила М.Ш. Мурзаева с использованием сервиса Яндекс.Карты.

Fig. 1. Map showing the location of the study areas with sampling points
Source: compiled by M.Sh. Murzaeva using the Yandex.Maps service.

Отбор образцов. Образцы почв и грунтов отбирали с участков, отличающихся степенью антропогенной нагрузки (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика участков отбора проб

Участок	Экологическая зона	Тип	Растительность
1	Литораль	Песчаный субстрат	Отсутствует
2	Супралитораль	Песчаные маршевые дерновые почвы слабобразвитые	<i>Carex</i> sp. <i>Plantago maritima</i> ssp. <i>subpolaris</i> <i>Juncus atrofuscus</i>
3	Литораль	Мелко-каменистый субстрат	Отсутствует
4	Литораль	Мелко-каменистый субстрат	Отсутствует

Источник: составлено В.А. Мязиным.

Table 1

Characteristics of sampling sites

Site	Ecological zone	Type	Plants
1	Littoral	Sand	Absent
2	Supralittoral	Underdeveloped sod soil on the sand deposits	<i>Carex</i> sp. <i>Plantago maritima</i> ssp. <i>subpolaris</i> <i>Juncus atrofuscus</i>
3	Littoral	Mixed (pebble, cobble, sand)	Absent
4	Littoral	Mixed (pebble, cobble, sand)	Absent

Source: compiled by V.A. Myazin.

Участки 1 и 2 испытывают преимущественно рекреационную нагрузку и не имеют явных признаков загрязнения. Участок 3 отличается выраженным загрязнением нефтепродуктами (наличие радужной пленки на воде, пятен на поверхности грунта и специфического запаха), обусловленным, вероятно, деятельностью Мурманской ТЭЦ (сброс неочищенных вод с территории предприятия). Участок 4 не имеет явных признаков загрязнения, не представляет рекреационной ценности, однако потенциально может подвергаться вторичному загрязнению с акватории Кольского залива.

Отбор образцов почв и грунтов осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01–2017¹ и ГОСТ 17.4.4.02–2017².

Химический анализ. Оценку состояния прибрежных почв и грунтов провели по следующим показателям: значение pH, содержание общего углерода, азота, подвижных форм калия и фосфора, валовое содержание Pb, Zn, Co, Cu, Ni, Cd, As, Mn, V, Cr, Fe, Se, Mo, содержание подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Zn, Co, Cu, Ni, Cd) и нефтепродуктов.

Показатель pH определяли потенциометрическим методом в водной вытяжке согласно ГОСТ 26423–85³.

Содержание общего углерода определяли методом высокотемпературного каталитического сжигания проб (Vario TOC Select), содержание общего азота — методом Кьельдаля согласно ГОСТ Р 58596–2019⁴, подвижные формы калия и фосфора — методом Кирсанова согласно ГОСТ Р 54650–2011⁵.

Валовое содержание элементов оценивали с использованием портативного РФ-спектрометра Vanta согласно прилагаемой методике XRF Vanta.

Подвижные формы тяжелых металлов определяли согласно М–МВИ-80–2008⁶ в ацетатно-аммонийной вытяжке с pH 4.8.

Измерение массовой доли нефтепродуктов в почве и грунтах проводили флуориметрическим методом, основанном на экстракции нефтепродуктов из образца хлористым метилом с последующим измерением интенсивности флуоресценции очищенного экстракта на анализаторе «Флюорат-02» согласно ПНД Ф 16.1:2.21–98⁷.

Таксономический состав микробного сообщества определяли с помощью высокопроизводительного секвенирования на платформе Illumina MiSeq в лаборатории BioSpark (Биоспарк).

¹ ГОСТ 17.4.3.01–2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М. : Стандартинформ, 2018.

² ГОСТ 17.4.4.02–2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М. : Стандартинформ, 2018.

³ ГОСТ 26423–85. Межгосударственный стандарт. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М. : Стандартинформ, 2011.

⁴ ГОСТ Р 58596–2019. Национальный Стандарт Российской Федерации. Почвы. Методы определения общего азота. М. : Стандартинформ, 2019.

⁵ ГОСТ Р 54650–2011. Национальный Стандарт Российской Федерации. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М. : Стандартинформ, 2013.

⁶ М–МВИ-80–2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. СПб., 2008.

⁷ ПНД Ф 16.1:2.21–98. Количественный химический анализ почв и отходов. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости Флюорат-02. М., 2012.

Статистическая обработка и визуализация выполнены в среде R. Индексы α -разнообразия (Шеннона, Симпсона, Пиелу, Чао1, Фишера и число выявленных операционных таксономических единиц) оценивали с помощью пакета *vegan* 2.6–8; для оценки β -разнообразия на уровне классов строили дендрограммы на основе матрицы несходства Брея — Кертиса. Функциональное разнообразие оценено с использованием баз данных *Functional Annotation of Prokaryotic Taxa* (для бактерий) и *FunGuild* (для грибов). Коэффициенты корреляции рассчитывали, используя коэффициент Спирмена, визуализацию выполняли с помощью функции *ggcorrplot*.

Результаты исследования и обсуждение

Оценка степени загрязнения прибрежных почв и грунтов. Образцы почвы и грунтов с обследованных участков побережья Кольского залива различаются по содержанию основных элементов, тяжелых металлов и нефтепродуктов.

Участки 1 и 2, испытывающие в основном рекреационную и аэротехногенную нагрузку, характеризовались незначительным химическим загрязнением. Величина pH находилась в диапазоне от 7,38 (слабощелочная) до 6,21 (нейтральная). Степень обеспеченности почвы и грунтов подвижным фосфором и калием — от средней до очень высокой. Соотношение C/N в грунтах литорали составляло 5...7, в прибрежной почве — 13. Содержание нефтепродуктов в прибрежной почве — 0,031 г/кг, в грунтах литорали — 0,067 г/кг. Выявлены превышение установленных нормативов по содержанию Cd и As, а также повышенные относительно фоновых значений концентрации Mo, V и Mn.

На участке 3, загрязненном нефтепродуктами, величина pH находилась в среднекислом диапазоне (4,64). Степень обеспеченности загрязненного грунта подвижным фосфором и калием очень низкая. В загрязненном грунте соотношение C/N составляло 278, что обусловлено наличием большого количества углеводов. Содержание нефтепродуктов на участке достигало 137 г/кг. Химический анализ показал превышение установленных нормативов и фоновых концентраций ряда химических элементов: Ni, Cd, As, V, Mo, Fe, Mn, S, Se и Cr, что указывает на загрязнение тяжелыми нефтепродуктами (мазут). Данный тип загрязнения типичен для территорий, находящихся в зоне влияния предприятий теплоэнергетики [8, 9].

Участок 4 по содержанию основных элементов был сопоставим с участком 1, но отличался более высокими концентрациями Pb, Zn, Cu, Ni и As.

Таким образом, все обследованные участки подвержены антропогенному воздействию, но в разной степени. Индексы загрязнения, рассчитанные для каждого участка, показали, что наиболее загрязненным оказался участок 3, наименее загрязненными — участки 1 и 2. Наименьший показатель экологического риска характерен для песчаных маршевых слаборазвитых дерновых почв, максимальный — для загрязненного нефтепродуктами участка литорали (табл. 2).

Таблица 2

Степень химического загрязнения почв и грунтов (Zc, PLI и NPI)
и показатель экологического риска (PERI) исследуемых участков

Участок	Степень химического загрязнения			Показатель потенци- ального экологического риска PERI
	Суммарный показатель загрязнения Zc	Индекс нагрузки загрязнения PLI	Индекс загрязне- ния Немерова NPI	
1	10 (допустимая)	1,2 (умеренная)	2,0 (средняя)	189 (высокий)
2	11 (допустимая)	1,3 (умеренная)	2,2 (средняя)	67 (низкий)
3	179 (чрезвычайно опасная)	7,7 (чрезвычай- но высокая)	27 (сильная)	1021 (чрезвычайно высокий)
4	25 (умеренно опасная)	2,8 (высокая)	2,7 (средняя)	268 (высокий)

Источник: составлено В.А. Мязиным.

Table 2

The degree of chemical contamination of soils and grounds (Zc, PLI and NPI)
and the ecological risk index (PERI) of the studied sites

Site	Degree of chemical contamination			Potential environmental risk index (PERI)
	Total pollution index Zc	Pollution load index (PLI)	Nemerow pollution index NPI	
1	10 (permissible)	1.2 (moderate)	2.0 (medium)	189 (high)
2	11 (permissible)	1.3 (moderate)	2.2 (medium)	67 (low)
3	179 (extremely hazardous)	7.7 (extremely high)	27 (severe)	1021 (extremely high)
4	25 (moderately hazardous)	2.8 (high)	2.7 (medium)	268 (high)

Source: compiled by V.A. Myazin.

Таксономическая структура микробиома значительно различалась на участках с разной степенью загрязнения. Наибольшее разнообразие бактериального сообщества на уровне классов (рис. 2) выявлено в почве на участке 2: 28 классов с доминированием *Actinobacteria* (18,9 %) и *Alphaproteobacteria* (16,2 %). Бактериальное сообщество на участке 4 представлено 24 классами с доминированием *Alphaproteobacteria* (16,2 %), *Actinobacteria* (15,9 %) и *Acidimicrobiia* (14,6 %). Разнообразие бактериального сообщества аналогичного субстрата, но загрязненного нефтепродуктами (участок 3), снизилось до 12 классов, а в песке (участок 1) составило 10 классов. Оба этих участка характеризовались абсолютным доминированием класса *Alphaproteobacteria* (51,8 и 65,9 %), субдоминировал класс *Gammaproteobacteria* (30,8 и 22,7 %). По индексу Брея — Кертиса наиболее сходными оказались загрязненный нефтепродуктами мелко-каменистый субстрат и песок (индекс 0,2) и мелко-каменистый субстрат с почвой (индекс 0,3).

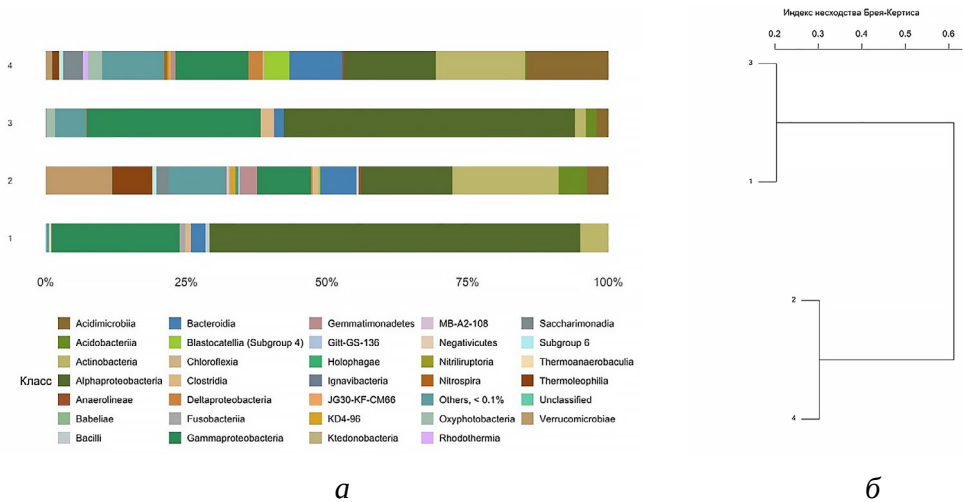


Рис. 2. Разнообразие бактериальных сообществ на уровне классов (а) и дендрограмма сходства структуры сообществ (б)
Источник: выполнено Е.В. Козловой.

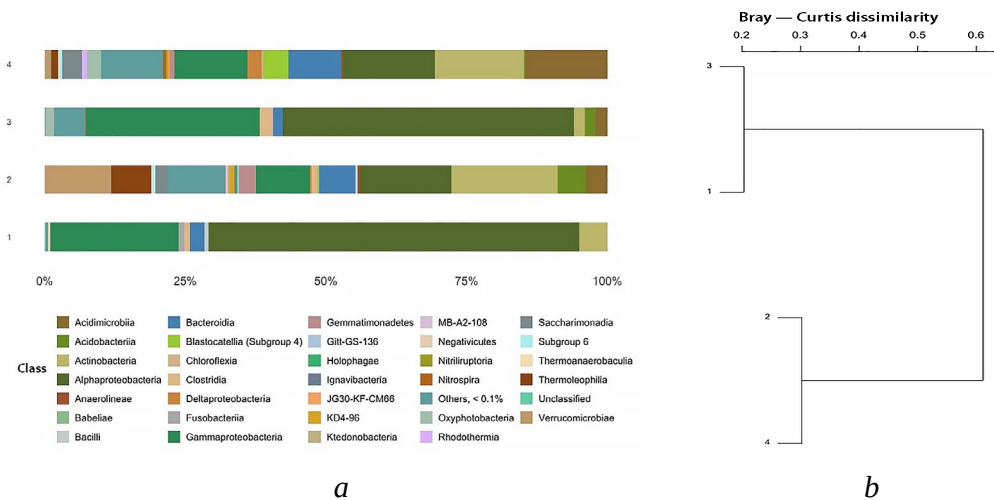


Fig. 2. Diversity of bacterial communities at the class level (a) and a dendrogram of community structure similarities (b)
Source: compiled by E.V. Kozlova.

Для грибного сообщества разнообразие также снижалось в ряду: почва (16 классов) — мелко-каменистый субстрат (11 классов) — мелко-каменистый загрязненный субстрат (9 классов) — песок (6 классов). В образцах почвы на участке 2 доминировал класс *Leotiomycetes* (34,6 %), в мелко-каменистом субстрате участка 4 — *Tremellomycetes* (24,1 %) и *Agaricomycetes* (21,7 %). В образце песка на участке 1 доминировали представители класса *Tremellomycetes* (54 %), а на

загрязненном участке 3 — *Sordariomycetes* (58,2 %). Исследуемые участки имели низкое сходство (индексы Брея — Кертиса в диапазоне 0,6...0,88) (рис. 3).

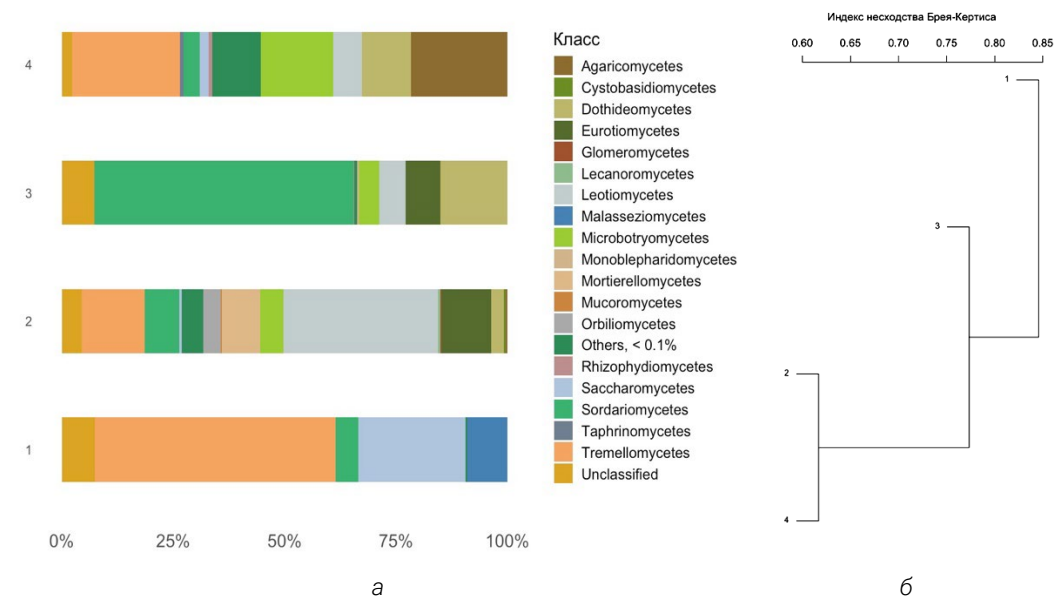


Рис. 3. Разнообразие грибных сообществ на уровне классов (а) и дендрограмма сходства структуры сообществ (б)

Источник: выполнено Е.В. Козловой.

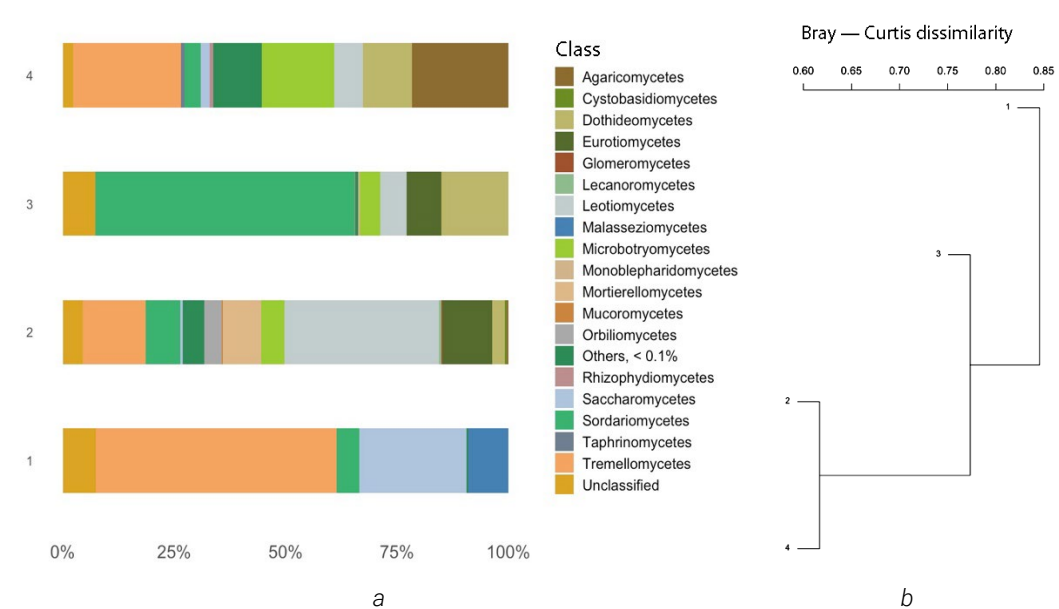


Fig. 3. Diversity of fungal communities at the class level (a) and a dendrogram of similarity of community structure (b)

Source: compiled by E.V. Kozlova.

Увеличение долевого участия Alpha- и Gamma-Proteobacteria на 35,6 и 17,8 % по сравнению с аналогичным незагрязненным участком 4 подтверждает полученные ранее данные об увеличении доли *Proteobacteria* в ответ на нефтяное загрязнение [10, 11]. На участке 3 отмечен рост обилия представителей класса *Sordariomycetes*, способных осуществлять трансформацию ПАУ [12]. На 12 % возросло обилие грибов класса *Dothideomycetes* в условиях загрязнения нефтепродуктами [10].

Оценка α -разнообразия микробных сообществ показала, что общее число выявленных операционных таксономических единиц максимально в почве на участке 2 (590 для бактериального сообщества и 147 для грибного) и минимально в песке на участке 1 (88 для бактериального сообщества и 43 для грибного). Индекс разнообразия Шеннона варьировал от 2,2 до 4,4 для бактериального сообщества и от 1,3 до 3,6 для грибного. Доминирование в бактериальном сообществе (индекс Симпсона) было высоким для всех участков, кроме участка 1, и достигало 0,92...0,97. Структура грибного сообщества оказалась более чувствительной к загрязнению: высокие значения индекса Симпсона отмечены для участков 2 и 4, тогда как для участков 1 и 3 они снижались до 0,63...0,64. Показатель выравненности (индекс Пиелу) был невысоким — 0,5...0,71 для бактериального сообщества и 0,25...0,72 для грибного. Индекс Чао1 для бактериального сообщества варьировал от 34 до 168, число редких видов в сообществе было минимально для загрязненного нефтепродуктами участка 3, и максимально — для участка 2; для грибного сообщества значения индекса Чао1 снижались до 5...52, при этом минимальные значения отмечены для участка 1, максимальные — для участка 4. Индекс разнообразия Фишера изменялся от 9,5 до 38,5 для бактериального сообщества и от 1 до 31 для грибного с минимальными значениями для участка 1 и максимальными для участка 2.

Функциональное разнообразие микробиома изученных участков представлено 43 группами для бактерий (рис. 4) и 15 — для грибов (рис. 5). Максимальное разнообразие бактериального сообщества отмечено в почве на участке 2 (30 групп). Для всех участков характерно доминирование групп хемотротрофов (25...39 %), аэробных хемотротрофов (22...38 %) и неопределенных сапротрофов (49...94 %).

Для наиболее загрязненного участка 3 характерно сокращение функциональных групп до 17 с выпадением групп, ассоциированных с циклом азота (азотное дыхание, фиксация азота, нитритное дыхание, денитрификация, нитрификация, нитратное дыхание, восстановление нитрата), и появление групп, ассоциированных с циклом серы (окисление тиосульфата, серы, сульфидов, соединений серы). При этом долевого участия функциональных групп бактерий, ответственных за разложение углеводов в сообществе, сократилось с 8,5 до 0,27 % на загрязненном нефтепродуктами участке. Это может указывать на токсичный эффект загрязнения на эту группу, что не согласуется с данными, полученными ранее для донных отложений Баренцева моря [13].

Наблюдаемые изменения функциональной структуры бактериального сообщества обусловлены преобладанием анаэробных условий на загрязненном участке, что способствует росту сульфатредуцирующих микроорганизмов,

функционирующих в бескислородных, обогащенных углеводородами условиях. Сульфатредукторы способны осуществлять деструкцию углеводов, однако анаэробный процесс характеризуется низкими скоростями и ограничен доступностью питательных веществ, что не позволяет рассматривать эту группу в качестве эффективных нефтедеструкторов [14]. Сокращение доступного кислорода, токсичность углеводов в отношении отдельных групп микроорганизмов и конкуренция за субстраты (доноры и акцепторы электронов) приводит к сокращению группы бактерий, ассоциированных с азотным циклом.

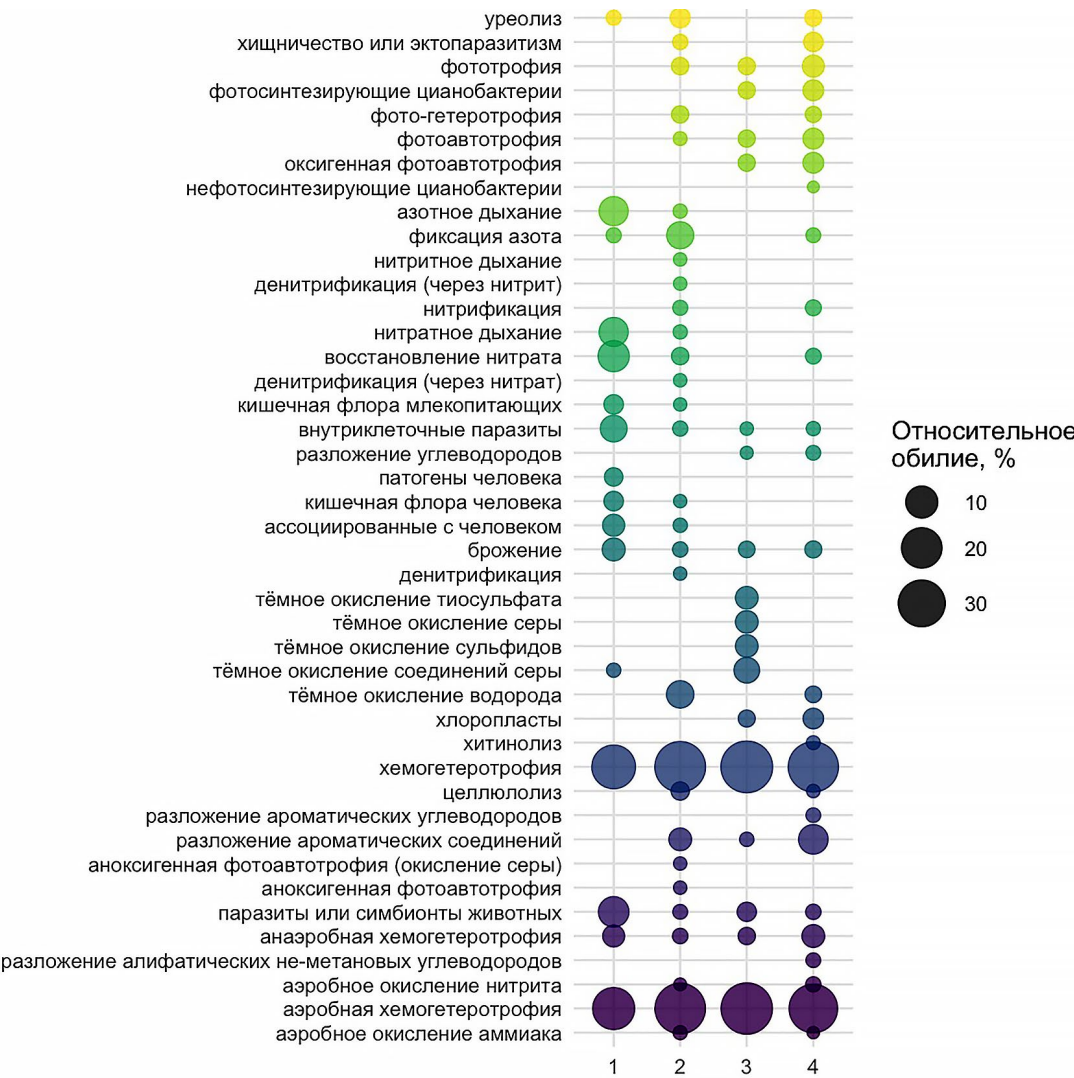


Рис. 4. Относительное обилие функциональных групп бактерий, оцененное с использованием базы данных FAPROTAX

Источник: выполнено Е.В. Козловой.

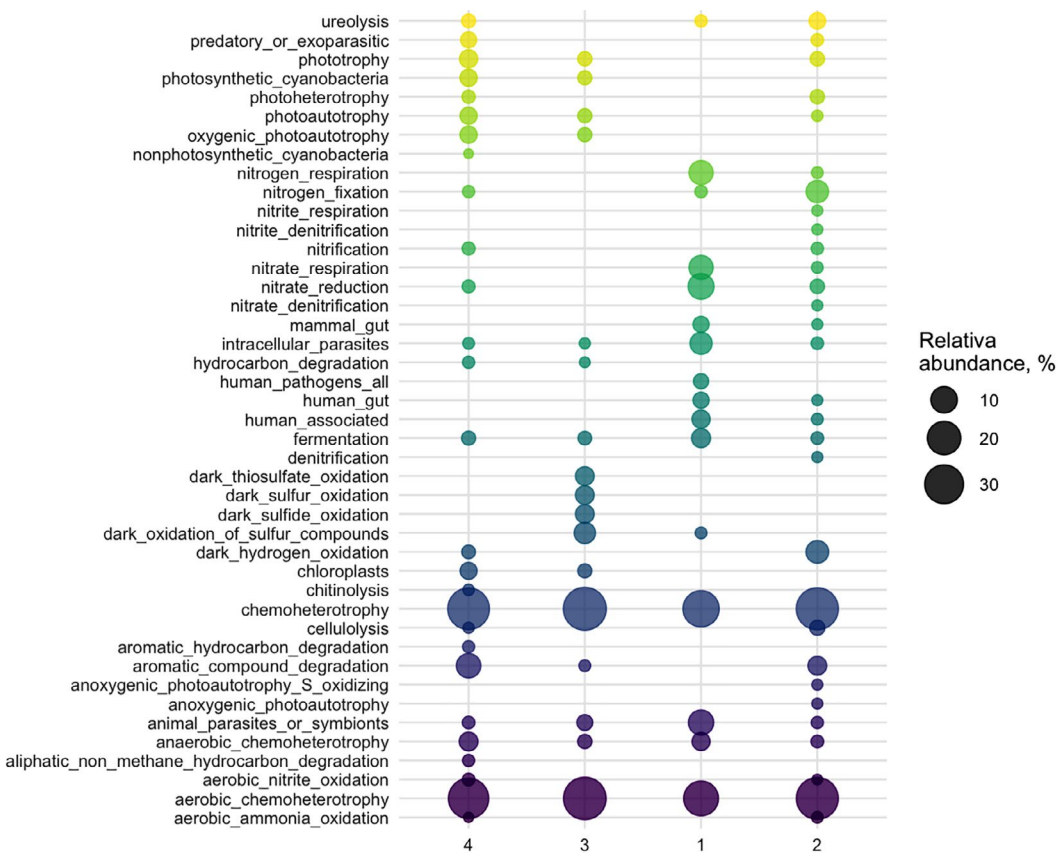


Fig. 4. Relative abundance of bacterial functional groups estimated using the FAPROTAX database
Source: compiled by E.V. Kozlova.

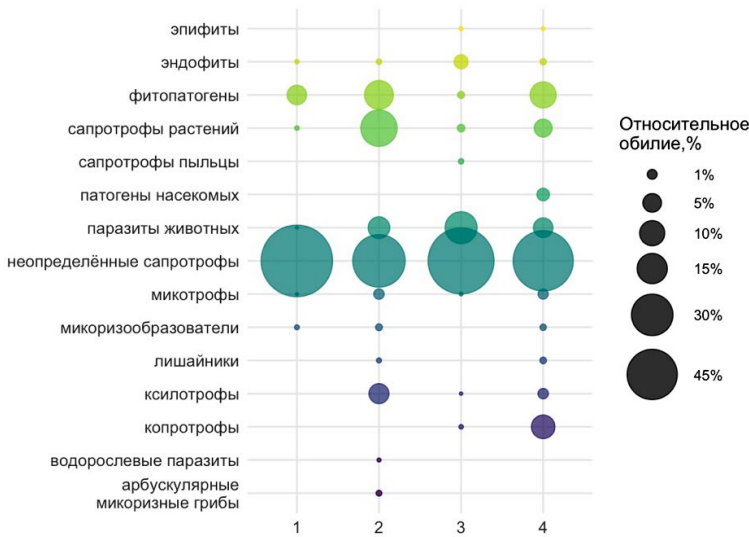


Рис. 5. Относительное обилие функциональных групп грибов, оцененное с использованием базы данных FunGuild
Источник: выполнено Е.В. Козловым.

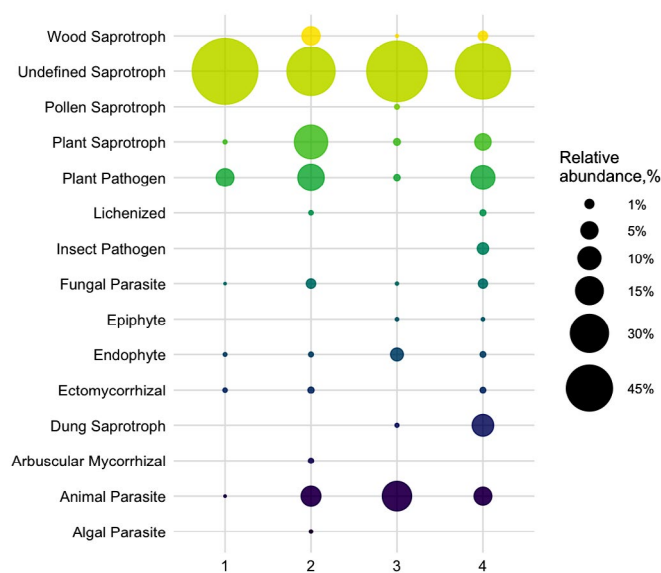


Fig. 5. Relative abundance of fungal functional groups estimated using the FUNGuild database
Source: compiled by E.V. Kozlova.

Максимальное разнообразие грибного сообщества отмечено на участке 4 (12 групп). Функциональная структура грибного сообщества представлена в основном неопределенными сапротрофами (49...94 %) и сапротрофами растений (0,06...22,5 %). Наблюдалось угнетение чувствительных и симбиотических групп микоризообразователей (0,09...0,32 %), лишенизированных грибов (0,1...0,3 %) и арбускулярных микоризных грибов (0,18 % только на участке 2) с полным их выпадением из структуры сообщества участка 3, загрязненного нефтепродуктами. При этом отмечено увеличение патогенных и паразитических групп различной природы, особенно фитопатогенов (0,3...13 %) и паразитов животных (0,01...17 %).

Выявленная функциональная структура показывает общую деградацию сообществ микроскопических грибов и снижение устойчивости экосистем.

Результаты корреляционного анализа демонстрируют значительное влияние содержания ряда элементов и нефтепродуктов на обилие микоризообразователей и бактерий, связанных с окислением серы и циклом азота (рис. 6). Содержание нефтепродуктов положительно коррелировало с бактериями, окисляющими серу ($p = 0,78$) и отрицательно — с бактериями азотного цикла ($p = -0,65$) и микоризообразователями ($p = -0,78$). Сильная положительная корреляция микоризообразователей ($p = 0,95$) с элементами питания демонстрирует важность состава грунтов для развития симбиотрофов. Отрицательные корреляционные связи ($p = -0,69...-0,97$) микробных групп азотного цикла с тяжелыми металлами (Cr, Fe, Ni, As, Se и Mo) подчеркивают их высокую чувствительность к загрязнению [15].

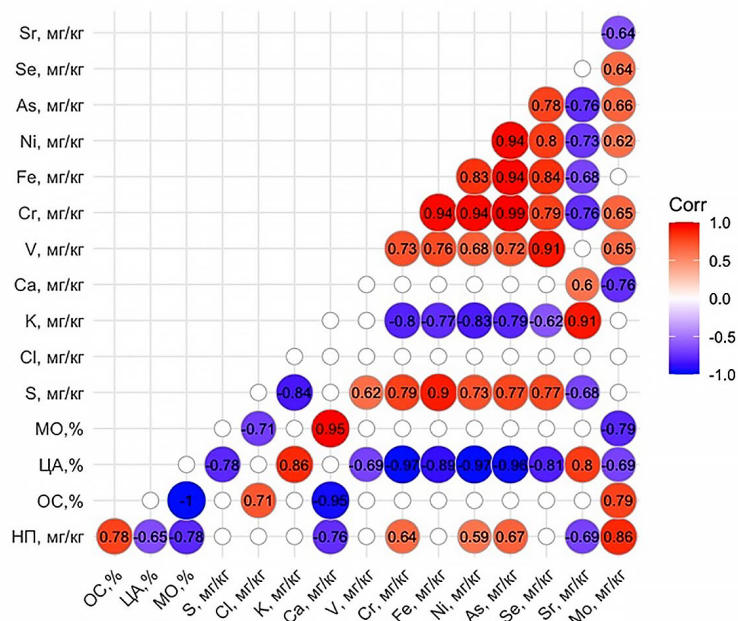


Рис. 6. Матрица корреляций (коэффициент Спирмена) между содержанием нефтепродуктов (НП), макро- и микроэлементов и относительным обилием микроорганизмов различных функциональных групп: ОС – окисление серы; СА – цикл азота; МО – микоризообразователи. Отображены только статистически значимые корреляции ($p < 0,05$)

Источник: выполнено Е.В. Козловой.

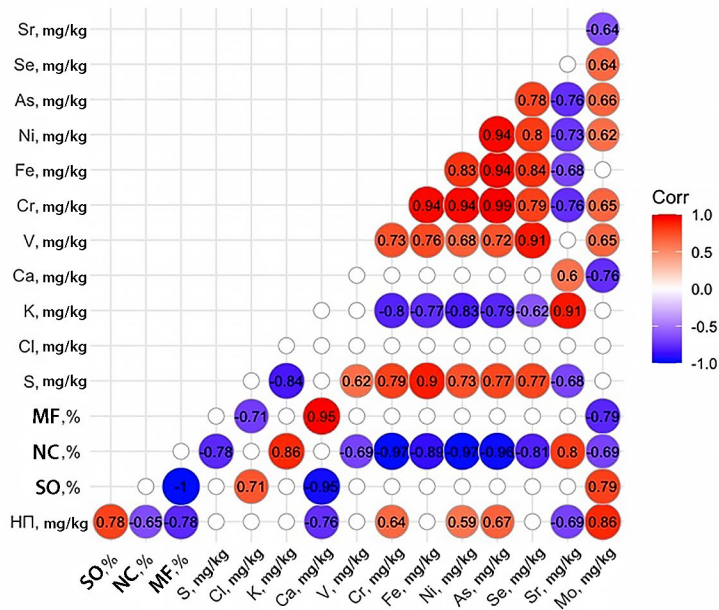


Fig. 6. Correlation matrix (Spearman's coefficient) between the content of petroleum products (PP), macro- and microelements, and the relative abundance of microorganisms of various functional groups: SO – sulfur oxidation; NC – nitrogen cycle; MF – mycorrhiza-forming fungi. Only statistically significant correlations ($p < 0.05$) are shown

Source: compiled by E.V. Kozlova.

Заключение

Проведено исследование микробных сообществ почв и грунтов прибрежных участков Кольского залива, позволившее оценить влияние антропогенной нагрузки различной интенсивности на их состав, структуру и функциональный потенциал. Высокий уровень загрязнения нефтепродуктами и тяжелыми металлами привел к увеличению долевого участия групп бактерий, адаптированных к анаэробным условиям, и паразитических групп микроскопических грибов. Отмечено общее снижение таксономического и функционального разнообразия микробных сообществ. Несмотря на ожидаемый рост углеводородокисляющих бактерий на участке, загрязненном нефтепродуктами, наблюдается сокращение их обилия, что может указывать на высокую токсичность загрязнения и недостаточную эффективность анаэробной деградации. Наиболее разнообразное и устойчивое микробное сообщество зафиксировано в почве супралиторальной зоны, которая в меньшей степени подвержена загрязнению и испытывает только рекреационную нагрузку, поэтому может рассматриваться в качестве эталонной при мониторинге состояния прибрежных почв урбанизированных территорий региона.

Список литературы / References

1. Yang S, Wen X, Shi Y, Liebner S, Jin H, Perfumo A. Hydrocarbon degraders establish at the costs of microbial richness, abundance and keystone taxa after crude oil contamination in permafrost environments. *Scientific Reports*. 2016;6:37473. doi: 10.1038/srep37473 EDN: YWTEJL
2. Freyria NJ, Gongora E, Greer CW, Whyte LG. High Arctic seawater and coastal soil microbiome co-occurrence and composition structure and their potential hydrocarbon biodegradation. *ISME Communications*. 2024;4(1):ycae100. doi: 10.1093/ismeco/ycae100 EDN: SVKSIA
3. Begmatov S, Savvichev AS, Kadnikov VV, Beletsky AV, Rusanov II, Klyuvitkin AA, Novichkova EA, Mardanov AV, Pimenov NV, Ravin NV. Microbial communities involved in methane, sulfur, and nitrogen cycling in the sediments of the Barents sea. *Microorganisms*. 2021;9(11):2362. doi: 10.3390/microorganisms9112362 EDN: ERPVZV
4. Brioukhanov AL, Kadnikov VV, Rusanov II. Phylogenetic diversity in sulphate-reducing bacterial communities from oxidised and reduced bottom sediments of the Barents sea. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2022;115:801–820. doi: 10.1007/s10482-022-01733-9 EDN: COVZSR
5. Stroeva AR, Klyukina AA, Vidishcheva ON, Poludetkina EN, Solovyeva MA, Pyrkin VO, Gavirova LA, Birkeland N-K, Akhmanov GG, Bonch-Osmolovskaya EA, Merkel AY. Structure of benthic microbial communities in the northeastern part of the Barents sea. *Microorganisms*. 2024;12(2):387. doi: 10.3390/microorganisms12020387 EDN: OWGRPQ
6. Korneykova M, Nikitin D, Myazin V. Qualitative and quantitative characteristics of soil microbiome of Barents sea coast, Kola Peninsula. *Microorganisms*. 2021;9(10):2126. doi: 10.3390/microorganisms9102126
7. Isakova EA, Korneykova MV, Myazin VA. The number and species diversity of cultured microfungi on the Barents sea coast. *Mycology and Phytopathology*. 2023;57(4):231–246. (In Russ.). doi: 10.31857/S0026364823040037 EDN: VURGUI
- Исакова Е.А., Корнейкова М.В., Мязин В.А. Численность и видовое разнообразие культивируемых микроскопических грибов побережья Баренцева моря // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 4. С. 231–246. doi: 10.31857/S0026364823040037 EDN: VURGUI
8. Elizaryeva EN, Yanbaev YA, Redkina NN, Kudashkina NV, Baykov FG. Assessment of soil pollution in the impact zone of metallurgical industry enterprises. *Bulletin of Orenburg State University*. 2017;(9):8–13. (In Russ.). doi: 10.25198/1814-6457-209-8 EDN: YLQHPS
- Елизарьева Е.Н., Ямбаев Я.А., Редкина Н.Н., Кудашкина Н.В., Байков Ф.Г. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 9 (209). С. 8–13. doi: 10.25198/1814-6457-209-8 EDN: YLQHPS

9. Goncharov G, Soktoev B, Farkhutdinov I, Matveenkov I. Heavy metals in urban soil: contamination levels, spatial distribution and human health risk assessment (the case of Ufa City, Russia). *Environmental Research*. 2024;257:119216. doi: 10.1016/j.envres.2024.119216 EDN: HDSFVS
10. Bell TH, Hassan SED, Lauron-Moreau A, Al-Otaibi F, Hijri M, Yergeau E. Linkage between bacterial and fungal rhizosphere communities in hydrocarbon-contaminated soils is related to plant phylogeny. *ISME Journal*. 2014;8(2):331–343. doi: 10.1038/ismej.2013.149
11. Semenova EM, Babich TL, Sokolova DS, Ershov AP, Raievska YI, Bidzhieva SK, Stepanov AL, Korneykova MV, Myazin VA, Nazina TN. Microbial communities of seawater and coastal soil of Russian Arctic region and their potential for bioremediation from hydrocarbon pollutants. *Microorganisms*. 2022;10(8):1490. doi: 10.3390/microorganisms10081490 EDN: PADTXG
12. Marchand C, St-Arnaud M, Hogland W, Bell TH, Hijri M. Petroleum biodegradation capacity of bacteria and fungi isolated from petroleum-contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017;116:48–57.
13. Chen S-C, Musat F, Richnow H-H, Krüger M. Microbial diversity and oil biodegradation potential of northern Barents Sea sediments. *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2024;146:283–297. doi: 10.1016/j.jes.2023.12.010 EDN: JJOPVO
14. Wartell B, Boufadel M, Rodriguez-Freire L. An effort to understand and improve the anaerobic biodegradation of petroleum hydrocarbons: a literature review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2021;157:105156. doi: 10.1016/j.ibiod.2020.105156 EDN: BIERMU
15. Hu X, Liu X, Zhang S, Yu C. Nitrogen-cycling processes under long-term compound heavy metal (loids) pressure around a gold mine: Stimulation of nitrite reduction. *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2025;147:571–581. doi: 10.1016/j.jes.2023.12.027 EDN: GFVXVY

Об авторах:

Козлова Екатерина Витальевна — кандидат биологических наук, младший научный сотрудник центра смарт технологий устойчивого развития городской среды в условиях глобальных изменений, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: kozlova-ev@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-4325-6930 SPIN-код: 8210-3343

Мязин Владимир Александрович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник центра смарт технологии устойчивого развития городской среды в условиях глобальных изменений, доцент департамента техносферной безопасности, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 6; e-mail: myazin_va@pfur.ru
ORCID: 0000-0002-4155-3416 SPIN-код: 9009-0012

Мурзаева Милана Шотаевна — лаборант-исследователь центра Смарт технологии устойчивого развития городской среды в условиях глобальных изменений, ассистент департамента техносферной безопасности, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 6; e-mail: murzaeva_msh@pfur.ru
ORCID: 0009-0004-6643-0094 SPIN-код: 4766-9700

About the authors:

Kozlova Ekaterina Vitalievna — Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher of the Center for Smart Technologies for Sustainable Development of the Urban Environment under the Global Change, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: kozlova-ev@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-4325-6930 SPIN-code: 8210-3343

Myazin Vladimir Alexandrovich — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Center for Smart Technologies for Sustainable Urban Development under Global Changes, Associate Professor at the Department of Technosphere Safety, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: myazin_va@pfur.ru
ORCID: 0000-0002-4155-3416 SPIN-code: 9009-0012

Murzaeva Milana Shotaevna — Research Assistant at the Center for Smart Technologies for Sustainable Urban Development under Global Changes, Assistant at the Department of Technosphere Safety, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: murzaeva_msh@pfur.ru
ORCID: 0009-0004-6643-0094 SPIN-code: 4766-9700



Животноводство Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-433-444

EDN WNOHOA

УДК 591.613

Научная статья / Research article

Качественный состав мяса цыплят-бройлеров и переваримость корма при введении в рацион новой органоминеральной кормовой добавки как альтернативы антибиотикам

А.П. Иванищева  , Е.А. Сизова , Т.Н. Холодилина 

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
 nessi255@mail.ru

Аннотация. Поиск альтернативных подходов к выращиванию птицы, направленных на повышение качества мяса и укрепление здоровья без применения антибиотиков — актуальная задача современного птицеводства. К перспективным направлениям относится использование в качестве альтернативы антибиотикам комплексных многофункциональных кормовых добавок на основе пребиотиков, органических кислот и минеральных компонентов, способствующих формированию здоровой микрофлоры кишечника, повышающих неспецифическую резистентность птицы, а также качество мяса и продуктивность. Исследование направлено на изучение влияния новой органоминеральной кормовой добавки (ОМКД), имеющей в составе пребиотик (лактозу), ультрадисперсные частицы диоксида кремния, органическую и аминокислоту, на переваримость питательных веществ, элементный и аминокислотный состав мяса цыплят-бройлеров. Включение в рацион 4-компонентной ОМКД с 7- и с 15-суточного возраста положительно влияет на усвоение питательных веществ. Отмечено увеличение переваримости сырого протеина, сырого жира и безазотистых экстрактивных веществ. Ранний срок скормливания снижает переваримость сырой клетчатки. Применение ОМКД приводит к повышению концентрации некоторых макро- и микроэлементов в тканях цыплят-бройлеров, что положительно отражается на качестве мяса. Включение ОМКД в рацион является эффективным способом оптимизации белкового и жирового обмена, способствующей увеличению мышечной массы и снижению процента жира в организме. Ингредиенты кормовой добавки повышают уровень аминокислот, что благоприятно сказывается на свойствах и питательной ценности

© Иванищева А.П., Сизова Е.А., Холодилина Т.Н., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

мяса бройлеров. При выборе состава добавки и сроков скармливания (с 7- и 15-суточного возраста) рекомендовано использовать четырехкомпонентную ОМКД для цыплят-бройлеров с 15 суток.

Ключевые слова: сельскохозяйственная птица, усвояемость питательных веществ, минеральный состав, органоминеральный комплекс

Вклад авторов: Авторы внесли равный вклад в проведение исследования и подготовку рукописи. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

Финансирование. Статья опубликована в рамках выполнения государственного задания № FFWZ–2024–0002.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 17 марта 2025 г., принята к публикации 7 июля 2025 г.

Для цитирования: Иванищева А.П., Сизова Е.А., Холодилина Т.Н. Качественный состав мяса цыплят-бройлеров и переваримость корма при введении в рацион новой органоминеральной кормовой добавки как альтернативы антибиотикам // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 433–444. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-433-444 EDN: WNOHOA

Meat qualitative composition of broiler chickens and feed digestibility when introducing a new organo-mineral feed additive into the diet as an alternative to antibiotics

Anastasia P. Ivanishcheva  , Elena A. Sizova ,
Tatyana N. Kholodilina 

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy
of Sciences, Orenburg, Russian Federation

 nessi255@mail.ru

Abstract. The search for alternative approaches to poultry farming aimed at improving the quality of meat and promoting health without the use of antibiotics is a vital task of modern poultry farming. Among the promising areas is the use as an alternative to antibiotics of complex multifunctional feed additives based on prebiotics, organic acids, and mineral components that contribute to the formation of healthy intestinal microflora, increasing the nonspecific resistance of poultry, as well as the quality of meat and productivity. The study is aimed at studying the effect of a new organo-mineral feed additive (OMFA) containing a prebiotic (lactulose), ultrafine silica dioxide particles, organic and amino acids, on the digestibility of nutrients, elemental, and amino acid composition of broiler chicken meat. The inclusion in the diet of a 4-component OMFA from the age of 7 and 15 days has a positive effect on nutrient absorption. An increase in the digestibility of crude protein, crude fat, and nitrogen-free extractives was noted. Early feeding period reduces the digestibility of crude fiber. The use of OMFA leads to an increase in the concentration of certain macro- and microelements in the tissues of broiler chickens, which has a positive effect on the quality of meat. The inclusion of OMFA in the diet is an effective way to optimize protein and fat metabolism, contributing to an increase in muscle mass and a decrease in the percentage of body fat. The ingredients of the feed additive increase the level of amino acids, which favorably affect the properties and nutritional value of broiler meat. When choosing the composition of the additive and the timing of feeding (from the age of 7 and 15 days), it is recommended to use a four-component OMFA for broiler chickens from the age of 15 days.

Keywords: poultry, nutrient digestibility, mineral composition, organo-mineral complex

Authors' contribution: The authors contributed equally to the study and the preparation of the manuscript. All authors reviewed the final version of the manuscript and approved it.

Funding. The article was published as part of the state task № FNWZ-2024–0002.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 17 March 2025; accepted 7 July 2025.

For citation: Ivanishcheva AP, Sizova EA, Kholodilina TN. Meat qualitative composition of broiler chickens and feed digestibility when introducing a new organo-mineral feed additive into the diet as an alternative to antibiotics. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):433–444. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-433-444 EDN: WNOHOA

Введение

Определенный успех в работе с генетикой цыплят-бройлеров привел к скороспелости и хорошему убойному выходу [1]. При этом качество мяса может снижаться. Кроме того, благополучие здоровья животных при высокой скорости роста часто сопряжено с применением кормовых антибиотиков. В свою очередь, широкое использование антибиотиков привело к появлению резистентных бактерий и остатков лекарств в продуктах животного происхождения, что напрямую или косвенно ставит под угрозу здоровье человека и безопасность окружающей среды [2, 3].

Благодаря ограничениям на использование антибиотиков-стимуляторов роста фокус исследований сместился на поиск других добавок, которые могут приемлемым образом способствовать профилактике заболеваний, формированию микробиоты, коррективке кишечной микробной экосистемы и, наконец, укреплению и поддержанию здоровья ее хозяина за счет повышения иммунитета [4, 5]. Таким образом, для удовлетворения спроса на мясо без потери его качества необходимо применение компонентов рациона, альтернативных антибиотикам.

Добавки, используемые в кормах для замены антибиотиков, включают пробиотики, пребиотики, органические кислоты (ОК), фитогенные добавки с натуральными веществами в составе: травы, специи, растительные экстракты и эфирные масла [6]. Предыдущие исследования показали, что пре- и пробиотики могут улучшить микробный баланс кишечной среды [7–10] и, как полагают, способствуют производительности роста [11] и качеству мяса бройлеров [12, 13].

Среди множества кандидатов на замену антибиотикам-стимуляторам роста ОК, как по отдельности, так и в виде смеси нескольких кислот, имеют потенциал в качестве кормовых добавок в животноводстве [14]. ОК способны модифицировать микробиоту кишечника, снижая pH, подавляя патогенные бактерии и способствуя росту полезных микроорганизмов [15], что ускоряет превращение пепсиногена в пепсин, тем самым улучшая скорость всасывания белков, аминокислот и минералов [16].

Добавление кремния в рацион животных способствует повышению продуктивности. Улучшается конверсия корма, что выражается в более эффективном использовании питательных веществ для роста и развития [17]. Это особенно важно для молодняка, поскольку обеспечивает здоровое формирование скелета и мускулатуры. Кроме того, кремний играет роль в поддержании оптимального уровня pH в желудочно-кишечном тракте, что способствует лучшему перевариванию пищи и усвоению микроэлементов [18].

Включение кремниевых добавок в рацион сельскохозяйственных животных является перспективным направлением в повышении эффективности животноводства. Это позволяет не только улучшить здоровье животных, но и повысить качество конечной продукции.

Аргинин — незаменимая аминокислота, играющая ключевую роль в метаболических процессах организма. Внесение его в рацион цыплят-бройлеров приводит к улучшению переваримости и усвоению минералов в мясе, что, в свою очередь, положительно сказывается на качестве конечного продукта [19].

Кроме того, аргинин участвует в синтезе оксида азота, который регулирует тонус сосудов и улучшает кровоснабжение тканей, что способствует более эффективному транспорту питательных веществ к мышцам и другим органам. В результате мясо бройлеров становится более сочным, нежным и богатым минеральными веществами, что повышает его потребительскую ценность [20].

Цель исследования — изучить влияние новой органоминеральной кормовой добавки (ОМКД), имеющей в составе пребиотик, УДЧ диоксида кремния, органическую и аминокислоту, на переваримость питательных веществ, элементный и аминокислотный состав мяса цыплят-бройлеров.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные и лабораторные исследования проводились на базе Центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий РАН (ЦКП БСТ РАН) (<https://ckp-rf.ru/ckp/77384/>).

Отбрали суточных цыплят-бройлеров кросса «Арбор Айкрес» (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская, www.pfo56.ru) и сформировали методом групп-аналогов 4 группы ($n = 35$, контрольная и три опытных): контрольная группа получала основной рацион (ОР), по рекомендациям Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства (ВНИТИП). I опытная группа к ОР получала 4-компонентную ОМКД (лактоулоза, УДЧ диоксида кремния, янтарная кислота, аргинин) с 7-суточного возраста, II опытная — ОР с 3-компонентной ОМКД (без лактулозы) с 7-суточного возраста, III опытная — ОР с 4-компонентной ОМКД с 15-суточного возраста.

Переваримость питательных веществ изучали в ходе балансовых опытов, по методикам ВНИТИП¹.

Химический состав помета, кормов и тканей тела бройлеров определяли по стандартным методикам ГОСТ 31640–2012², ГОСТ 32044.1–2012³, ГОСТ 51479–99⁴, ГОСТ 23042–86⁵, ГОСТ 25011–81⁶, ГОСТ Р 53642–2009⁷.

¹ Фисинин В.И., Егоров И.А., Драганов И.Ф. Кормление сельскохозяйственной птицы : учеб. пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 337 с.

² ГОСТ 31640–2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М., 2020. 8 с.

³ ГОСТ 32044.1–2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 1. Метод Кьельдаля. М., 2020. 12 с.

⁴ ГОСТ Р 51479–99. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. М., 2010. 6 с.

⁵ ГОСТ 23042–86. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. М., 2010. 6 с.

⁶ ГОСТ 25011–81. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. М., 2010. 8 с.

⁷ ГОСТ Р 53642–2009. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы. М., 2010. 12 с.

Элементный состав мышечной и костной ткани включал определение 25 химических элементов: Ca, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, As, Cr, K, Na, P, Zn, I, V, Co, Se, Al, B, Cd, Pb, Hg, Sn, Si, Sr. Исследование проводилось на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 ICP-MS.

Статистическая обработка. Полученные результаты обрабатывали с помощью программного комплекса Statistica 12.0 (Stat Soft Inc., США) и Microsoft Excel. Для статистического анализа использовали параметрический t-критерий Стьюдента.

Результаты исследования и обсуждение

Внесение в рацион бройлеров ОМКД привело к изменению в переваримости компонентов корма (рис. 1). Так, переваримость сырого протеина увеличилась во всех опытных группах на 3,6; 3,7 и 2 % соответственно относительно контрольной группы. Коэффициент переваримости сырого жира также демонстрирует положительную динамику в опытных группах, увеличившись на 3,8; 6,6 и 4,7 % соответственно по сравнению с контрольной группой. Следовательно, введение ОМКД способствует эффективному расщеплению и усвоению жиров, что является важным фактором для энергетического обеспечения организма.

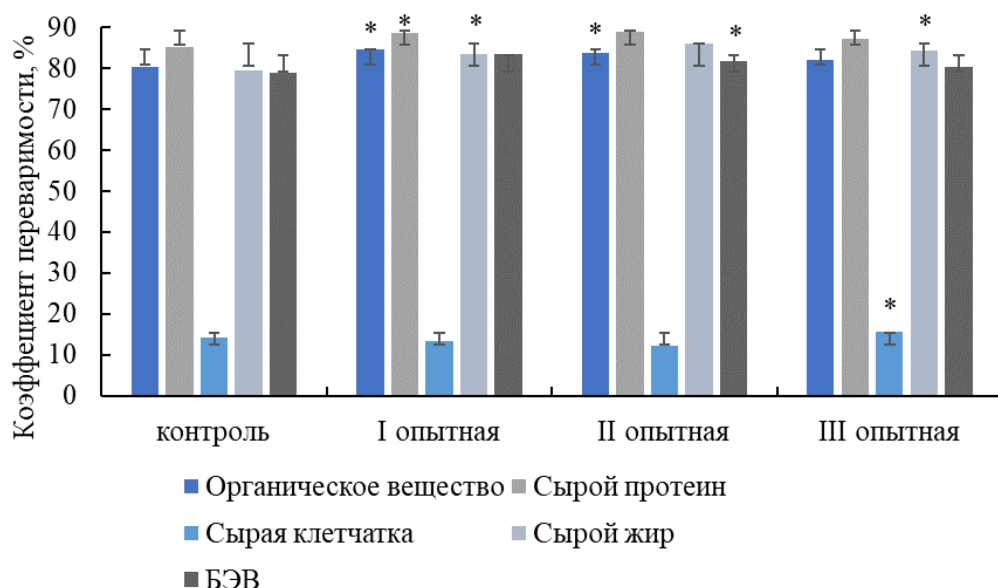


Рис. 1. Коэффициент переваримости питательных веществ корма, %

Примечание. *Достоверная разность опытных групп с контрольной группой ($p < 0,05$).

Источник: выполнено А.П. Иванисовой, Е.А. Сизовой, Т.Н. Холодилиной с помощью программы MS Excel.

В то же время влияние ОМКД на переваримость сырой клетчатки оказалось неоднозначным. Включение 4-компонентной ОМКД в рацион с 15-суточного

возраста (III группа) привело к незначительному увеличению переваримости клетчатки на 1,3 %. Однако, раннее начало скормливания (с 7-суточного возраста) имело противоположный эффект, снижая переваримость клетчатки на 0,8 и 2,1 % в I и II группах соответственно по сравнению с контрольной группой. Это может быть связано с особенностями развития пищеварительной системы молодняка и ее адаптацией к новым компонентам рациона.

Показатель безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) при скормливании ОМКД так же увеличивается во всех опытных группах, в диапазоне от 1,5 до 4,7 % по сравнению с контролем.

Известно, что органические добавки оптимизируют морфофункциональную активность слизистой оболочки кишечника, а также играют важную роль в формировании и поддержании сбалансированной кишечной микрофлоры, что, в свою очередь, может снизить наличие токсинов, негативно влияющих на морфологию кишечника [21], и улучшить переваривание и всасывание питательных веществ [22].

Таким образом, повышение биодоступности питательных веществ при использовании кормовой добавки с лактулозой связано с ее способностью оптимизировать процессы пищеварения и абсорбции. Лактулоза модифицирует морфологию микроструктур кишечника и модулирует состав микробиоты, что в совокупности приводит к более эффективному усвоению нутриентов [23].

При этом, важной позицией скормливания ОМКД являются сроки ввода в рацион. Так, поздний срок — 15-суточный возраст — является приоритетным по сравнению с более ранним — 7-суточным, вероятно, в силу наступления структурной и функциональной зрелости кишечника.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что внесение в рацион цыплят-бройлеров ОМКД приводит к изменениям в химическом составе тела (рис. 2). Концентрация жира снижается в I и II группах на 1 и 0,8 % по сравнению с контролем.

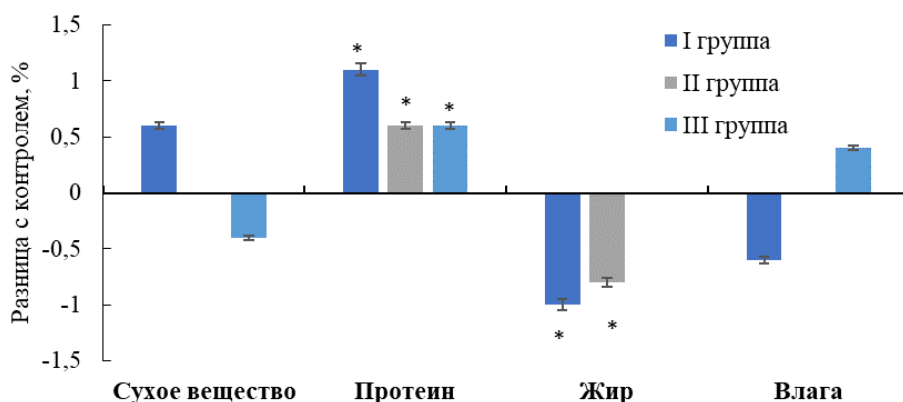


Рис. 2. Различия в химическом составе мышечной ткани цыплят-бройлеров Arbor Acres в возрасте 42 суток (опыт в условиях вивария, $M \pm m$), %

Примечание. * Достоверная разность опытных групп с контрольной группой ($p < 0,05$).

Источник: выполнено А.П. Иванищевой, Е.А. Сизовой, Т.Н. Холодилиной с помощью программы Excel.

Уровень протеина возрастает во всех опытных группах в диапазоне от 0,6 до 1,1 % при скормливании ОМКД в независимости от состава и их сроков внесения.

Данные изменения в химическом составе мышц могут положительно сказаться на пищевой ценности и потребительских качествах мяса бройлеров.

Компоненты, входящие в состав ОМКД, влияют на абсорбцию макро- и микроэлементов. Так, концентрация Mg и K увеличилась во всех опытных группах на 12,5 и 2,97 % (I группа); 12,5 и 15,8 % (II группа ($p < 0,05$)) и 2,97 % (калий в III группе) соответственно, по сравнению с контролем (табл. 1). Уровень Na снижается при скормливании ОМКД с 7-суточного возраста на 4,3 %, а при внесении добавки с 15-суточного возраста, напротив, увеличивается на 8,7 % относительно контроля. Концентрация Ca увеличивается при внесении в рацион ОМКД как с 7-, так и с 15-суточного возраста (I и III группы) на 40 ($p < 0,05$) и 100 % ($p < 0,05$), при исключении лактулозы из состава кормовой добавки (II группа) данный показатель снижается на 40 % относительно сверстников в контроле. Исследования показали, что введение пребиотиков может улучшить усвояемость питательных веществ [24]. При этом, основной причиной хорошего усвоения минералов может быть увеличение полезных бактерий в кишечнике [25], а также улучшение антиоксидантных свойств и снижение общего уровня оксидантов [26].

Таблица 1

**Концентрация макро- и микроэлементов в мышечной ткани
цыплят-бройлеров в конце эксперимента**

Элементы	Группы			
	Контроль	I	II	III
Макроэлементы, г/кг				
Na	2,3 ± 0,12	2,2 ± 0,11	2,3 ± 0,12	2,5 ± 0,13
Mg	0,8 ± 0,01	0,9 ± 0,05	0,9 ± 0,05	0,8 ± 0,01
K	10,1 ± 0,51	10,4 ± 0,52	11,7 ± 0,59*	10,4 ± 0,52
Ca	0,5 ± 0,03	0,7 ± 0,04*	0,3 ± 0,02*	1,0 ± 0,05*
Микроэлементы, мг/кг				
Mn	0,8 ± 0,08	1,0 ± 0,05*	0,7 ± 0,03	0,9 ± 0,05*
Ni	0,4 ± 0,02	0,2 ± 0,01**	0,3 ± 0,02*	0,2 ± 0,01
Cu	1,8 ± 0,04	1,1 ± 0,06*	1,3 ± 0,06*	1,5 ± 0,07
Fe	22,7 ± 1,20	20,4 ± 1,30	21,0 ± 1,11	26,4 ± 1,48
Zn	36,8 ± 1,91	41,4 ± 2,52	36,2 ± 2,09	39,2 ± 2,19
Cr	0,5 ± 0,04	0,6 ± 0,03	0,4 ± 0,03	1,1 ± 0,09*

Примечание. * Достоверная разность опытных групп с контрольной группой ($p < 0,05$).

Источник: выполнено А.П. Иванищевой, Е.А. Сизовой, Т.Н. Холодилиной

Концентрация эссенциальных элементов в мышечной ткани также подверглась изменению. Так, при использовании 3-компонентной ОМКД (II группа) происходит снижение всех изучаемых элементов в диапазоне от 1,6 до 27,8 % по сравнению с контролем.

Уровень Ni и Cu снижается по сравнению с контролем при внесении в рацион 4-компонентной ОМКД:

- с 7-суточного возраста — соответственно на 50 ($p < 0,05$) и 38,9 %,
- 15-суточного — на 50 ($p < 0,05$) и 16,7 %.

Концентрация же Mn и Zn увеличивается относительно контрольной группы соответственно на 25 ($p < 0,05$); 12,5 % (I группа) и на 12,5 ($p < 0,05$); 6,5 % (III группа).

Увеличение темпов роста птицы и хорошая скорость наращивания мышечной массы способствуют частому возникновению «слабости» скелета, что приводит к хромоте и смертности. Подобная проблема может быть существенно смягчена за счет оптимизации снабжения питательными веществами и, в частности, использованием остеотропных компонентов в составе минеральных комплексов, которые способствуют улучшению развития костей у птицы.

Компоненты ОМКД, в частности ультрадисперсный диоксид кремния, положительно сказываются на структуре кости и концентрации макроэлементов в костной ткани цыплят-бройлеров (рис. 3). Концентрация Ca достоверно увеличилась во всех опытных группах в диапазоне от 17,8 до 43,1 % по сравнению с контрольной группой. Уровень Mg также увеличился в опытных группах с максимальным проявлением в III группе (26,7 %) при скармливании ОМКД на поздних сроках.

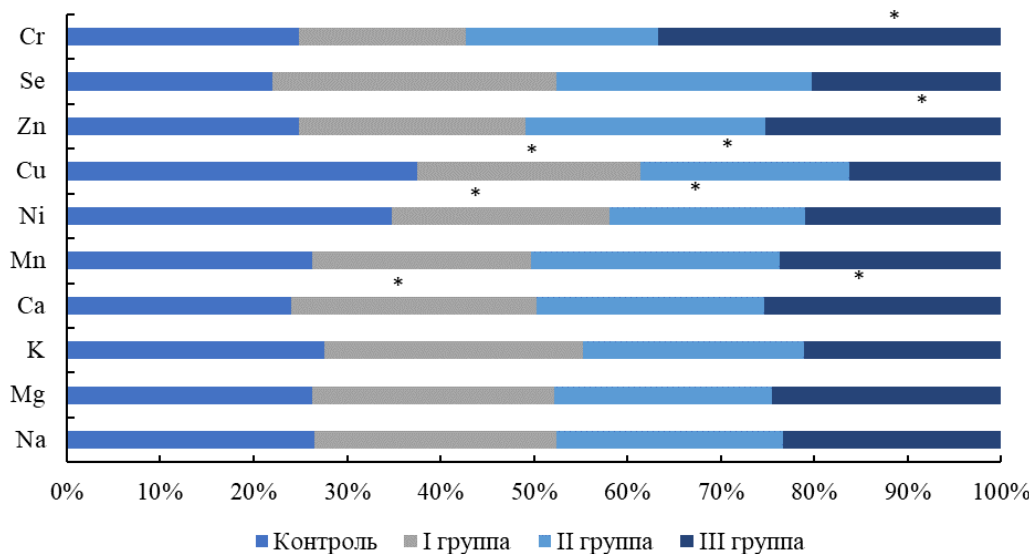


Рис. 3. Относительное содержание химических элементов в костной ткани цыплят-бройлеров, %

Примечание. * Достоверная разность опытных групп с контрольной группой ($p < 0,05$).

Источник: выполнено А.П. Иванищевой, Е.А. Сизовой, Т.Н. Холодилиной с помощью программы Excel.

Внесение в рацион цыплят-бройлеров ОМКД привело к снижению содержания таких эссенциальных элементов как Ni и Cu на 27,3 ($p < 0,05$); 27,2 ($p < 0,05$); 18,2 % и 31 ($p < 0,05$); 27,6 ($p < 0,05$); 41,1 % соответственно в I, II и III опытных группах относительно контрольной группы. Концентрация Mn снизилась в I группе на 3,7 %, а по II и III группам, напротив, возросла на 22,2 % по сравнению с контролем. Уровень Zn увеличился в I группе на 5,2 %, во II — на 24,3 %, а в III — на 37,4 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. Такой же эффект отмечен и с концентрацией Se, а именно, в I и II группах увеличение на 50 %, а в III группе — на 25 % относительно контроля. Таким образом, наблюдается тенденция к увеличению содержания минеральных веществ в костях, что может способствовать укреплению костной ткани и снижению риска заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Различные источники кремния могут отличаться по степени своей деградации и растворению на протяжении желудочно-кишечного тракта [27], а также влиять на скорость прохождения химуса в кишечнике, потенциально влияя на парацеллюлярную абсорбцию [28]. Для полного понимания влияния кормовых добавок на минеральный обмен и их воздействия на костно-мышечную систему, необходимо учитывать не только изменения в минеральном балансе, но и детальные механизмы абсорбции и взаимодействия элементов [29]. Кроме того, необходимо учитывать влияние различных факторов, таких как возраст, физическая активность и общее состояние здоровья животного, на абсорбцию и метаболизм минералов. Эти данные позволят разработать более эффективные и безопасные кормовые добавки, способствующие оптимальному развитию и функционированию костно-мышечной системы [30].

Внесение в рацион ОМКД приводит к изменению в аминокислотном (АМК) составе мышечной ткани цыплят-бройлеров (табл. 2). Так, уровень незаменимых АМК увеличился во всех опытных группах I–III соответственно: аргинина на 0,39; 0,42 и 0,7 %; лизина на 0,55 ($p < 0,05$); 0,48 ($p < 0,05$) и 0,06 % ($p < 0,05$); лейцина+изолейцина на 0,98; 0,51 и 0,21 % по сравнению с контролем. Концентрация валина повысилась в I и II группах на 0,56 % ($p < 0,05$) и 0,44 % ($p < 0,05$), а в III группе, напротив, снизилась на 0,21 % относительно контроля.

Таблица 2

Аминокислотный состав мышечной ткани цыплят-бройлеров, %

Показатель	Группы			
	Контроль	I	II	III
Аргинин	4,23 ± 0,21	4,62 ± 0,23	4,65 ± 0,23	4,93 ± 0,24
Лизин	6,53 ± 0,02	7,08 ± 0,35*	7,01 ± 0,35*	6,59 ± 0,32
Тирозин	2,35 ± 0,11	2,79 ± 0,13	3,48 ± 0,17*	3,45 ± 0,17*
Лейцин+Изолейцин	9,65 ± 0,48	10,63 ± 0,53	10,16 ± 0,51	9,86 ± 0,49
Валин	3,85 ± 0,19	4,42 ± 0,22*	4,29 ± 0,21	3,78 ± 0,19
Серин	3,12 ± 0,15	3,29 ± 0,16	3,20 ± 0,16	3,18 ± 0,16
Аланин	5,26 ± 0,26	5,44 ± 0,27	5,28 ± 0,26	5,05 ± 0,25

Примечание. * Достоверная разность опытных групп с контрольной группой ($p < 0,05$).

Источник: выполнено А.П. Иванищевой, Е.А. Сизовой, Т.Н. Холодилиной.

Уровень тирозина вырос во всех опытных группах в диапазоне от 0,44 до 1,13 % по сравнению с контролем. Концентрация серина также увеличилась с максимальным проявлением в I группе (0,17 %) относительно своих сверстников в контроле.

Содержание заменимой АМК — аланина — снизилось в III группе на 0,21 %, а в I и II группах увеличилось на 0,17 и 0,02 % по отношению к контролю.

Химический состав куриного мяса важен и обычно определяет возможности хранения или дальнейшей переработки [31, 32]. Предполагается, что пребиотики, стимулируя рост полезной микробиоты в кишечнике, способствуют улучшению всасывания аминокислот из корма. Органоминеральные комплексы, в свою очередь, могут непосредственно участвовать в синтезе определенных аминокислот или влиять на метаболические процессы в организме птицы, приводящие к изменению аминокислотного профиля мышц [33, 34].

Другое мнение выразили Mehdi pour et al. [35], не обнаружив изменений в физико-химических характеристиках мышц бедра, когда перепела питались рационом с добавлением синбиотика. Эти противоречивые результаты могут быть связаны с явными различиями в породе, продолжительности диетического добавления, дозировке и других аспектах управления.

Таким образом, внесение ОМКД, вне зависимости от сроков скармливания, положительно влияет на содержание АМК в мясе и тем самым на качество и биологическую ценность продукта.

Заключение

Включение ОМКД в рацион цыплят-бройлеров является эффективным способом оптимизации белкового и жирового обмена, что способствует увеличению мышечной массы и снижению процента жира в организме. Повышенное содержание аминокислот не только улучшает вкусовые характеристики мяса, но и повышает его биологическую ценность, делая его более полезным для потребителя. В конечном итоге, использование данной кормовой добавки способствует производству более качественного и питательного мяса бройлеров.

При выборе состава добавки и сроков скармливания (с 7-х или 15-х суток) рекомендуем использовать 4-компонентную ОМКД для цыплят-бройлеров с возраста 15 суток.

Список литературы

1. Cai K, Shao W, Chen X, Campbell YL, Nair MN, Suman SP, et al. Meat quality traits and proteome profile of woody broiler breast (pectoralis major) meat. *Poultry Science*. 2018;97:337–346. doi: 10.3382/ps/pex284
2. Chiesa LM, Nobile M, Panzeri S, Arioli F. Antibiotic use in heavy pigs: comparison between urine and muscle samples from food chain animals analysed by HPLC–MS/MS. *Food Chemistry*. 2017;235:111–118. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.184
3. Li X, Wang L, Zhen Y, Li S, Xu Y. Chicken egg yolk antibodies (IgY) as non-antibiotic production enhancers for use in swine production: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2015;6:40. doi: 10.1186/s40104-015-0038-8

4. Mehdi Y, Létourneau-Montminy MP, Gaucher ML, Chorfi Y, Suresh G, Rouissi T, Brar SK, Côté C, Ramirez AA, Godbout S. Use of antibiotics in broiler production: global impacts and alternatives. *Animal Nutrition*. 2018;4:170–178. doi: 10.1016/j.aninu.2018.03.002
5. Pliego AB, Tavakoli M, Khusro A, Seidavi A, Elghandour MM, Salem AZ, Rene Rivas-Caceres R. Beneficial and adverse effects of medicinal plants as feed supplements in poultry nutrition: a review. *Animal Biology*. 2022; 33(2):369–391. doi: 10.1080/10495398.2020.1798973
6. Ravindran V, Dryden GM. Additives. In *The Encyclopedia of Animal Nutrition*. CAB International: Wallingford, UK. 2023. doi: 10.1016/B978-0-323-85125-1.00209-X
7. Zhang L, Zhang L, Zhan X, Zeng X, Zhou L, Cao G, et al. Effects of dietary supplementation of probiotic, *Clostridium butyricum*, on growth performance, immune response, intestinal barrier function, and digestive enzyme activity in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* k88. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2016;7:3. doi: 10.1186/s40104-016-0061-4
8. Hagihara M, Kuroki Y, Ariyoshi T, Higashi S, Fukuda K, Yamashita R, et al. *Clostridium butyricum* modulates the microbiome to protect intestinal barrier function in mice with antibiotic-induced dysbiosis. *iScience*. 2020;23:100772. doi: 10.1016/j.isci.2019.100772
9. Alagawany M, Abd El-Hack ME, Farag MR, Sachan S, Karthik K, Dhama K. The use of probiotics as eco-friendly alternatives to antibiotics in poultry nutrition. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25:10611–10618. doi: 10.1007/s11356-018-1687-x
10. Gadde UD, Oh S, Lee Y, Davis E, Zimmerman N, Rehberger T, et al. Dietary *Bacillus subtilis*-based direct-fed microbials alleviate LPS-induced intestinal immunological stress and improve intestinal barrier gene expression in commercial broiler chickens. *Research in Veterinary Science*. 2017;114:236–243. doi: 10.1016/j.rvsc.2017.05.004
11. Dela Cruz PJD, Dagaas CT, Mangubat KMM, Angeles AA, Abanto OD. Dietary effects of commercial probiotics on growth performance, digestibility, and intestinal morphometry of broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*. 2019;51:1105–1115. doi: 10.1007/s11250-018-01791-0
12. Upadhaya SD, Rudeaux F, Kim IH. Effects of inclusion of *Bacillus subtilis* (Gallipro) to energy- and protein-reduced diet on growth performance, nutrient digestibility, and meat quality and gas emission in broilers. *Poultry Science*. 2019;98:2169–2178. doi: 10.3382/ps/pey573
13. Yu L, Peng Z, Dong L, Wang H, Shi S. *Enterococcus faecium* NCIMB 10415 supplementation improves the meat quality and antioxidant capacity of the muscle of broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2019;103:1099–1106. doi: 10.1111/jpn.13097
14. Dibner JJ, Buttin P. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. *Journal of Applied Poultry Research*. 2002;11(4):453–463. doi: 10.1093/japr/11.4.453
15. Sultan A, Ullah T, Khan S, Khan RU. Effect of organic acid supplementation on the performance and ileal microflora of broiler during the finishing period. *Pakistan Journal of Zoology*. 2015;47(3):635–639.
16. Park KW, Rhee AR, Um JS, Paik IK. Effect of dietary available phosphorus and organic acids on the performance and egg quality of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2009;18(3):598–604. doi: 10.3382/japr.2009-00043
17. Мирошников С.А., Мустафина А.С., Губайдуллина И.З. Оценка действия ультрадисперсного оксида кремния на организм цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 3. № 1. С. 20–32. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20 EDN: TVZWNW
18. Иванищева А.П., Сизова Е.А., Камирова А.М., Власов Е.А., Мусабаева Л.Л. Изменение элементного состава мышечной и костной ткани бройлеров на фоне скормливания им комплексной органо-минеральной добавки // Птица и птицепродукты. 2024. № 1. С. 24–27. doi: 10.30975/2073-4999-2024-26-1-28-31 EDN: QRUGHR
19. Ибатуллин И., Ильчук И., Кривенок Н. Аргинин в комбикормах для бройлеров // Животноводство России. 2019. № 9. С. 15–17. doi: 10.25701/ZZR.2019.45.18.020 EDN: YNSVPD
20. Fathima S, Al Hakeem WG, Selvaraj RK, Shanmugasundaram R. Beyond protein synthesis: the emerging role of arginine in poultry nutrition and host-microbe interactions. *Frontiers in Physiology*. 2024;3:14:1326809. doi: 10.3389/fphys.2023.1326809
21. Garcia V, Catala-Gregori P, Hernandez F, Megias MD, Madrid J. Effect of formic acid and plant extracts on growth, nutrient digestibility, intestine mucosa morphology, and meat yield of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*. 2007;16(4):555–562. doi:10.3382/japr.2006-00116
22. Pelicano ERL, Souza PA, Souza HBA, Figueiredo DF, Boiago MM, Carvalho SR, Bordon VF. Intestinal mucosa development in broiler chickens fed natural growth promoters. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2005;7:221–229. doi: 10.1590/S1516-635X2005000400005

23. Nguyen DH, Kim IH. Protected organic acids improved growth performance, nutrient digestibility, and decreased gas emission in broilers. *Animals*. 2020;10(3):416. doi: 10.3390/ani10030416
24. Zhao PY, Li HL, Mohammadi M, Kim IH. Effect of dietary lactulose supplementation on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, relative organ weight, and excreta microflora in broilers. *Poultry Science*. 2016;95(1):84–89. doi: 10.3382/ps/pev324
25. Wu X, Yang P, Sifa D, Wen Z. Effect of dietary stevioside supplementation on growth performance, nutrient digestibility, serum parameters, and intestinal microflora in broilers. *Food & Function*. 2019;10(6):2340–2346. doi: 10.1039/C8FO01883A
26. Sohail MU, Rahman ZU, Ijaz A, Yousaf MS, Ashraf K, Yaqub T, Rehman H. Single or combined effects of mannan-oligosaccharides and probiotic supplements on the total oxidants, total antioxidants, enzymatic antioxidants, liver enzymes, and serum trace minerals in cyclic heat-stressed broilers. *Poultry Science*. 2011;11(1):2573–2577. doi: 10.3382/ps.2011-01502
27. Diab R, Canilho N, Pavel IA, Haffner FB, Girardon M, Pasc A. Silica-based systems for oral delivery of drugs, macromolecules and cells. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2017;249:346–362. doi: 10.1016/j.cis.2017.04.005
28. Tedesco E, Benetti F, Pezzani R. In vitro evaluation of different organic matrices used to modulate silicon bioavailability. *FASEB Journal*. 2020;34:12229–12238. doi: 10.1096/fj.202000060RR
29. Belton DJ, Deschaume O, Perry CC. An overview of the fundamentals of the chemistry of silica with relevance to biosilicification and technological advances. *FEBS Journal*. 2012;279:1710–1720. doi: 10.1111/j.1742-4658.2012.08531.x
30. Kim MH, Kim EJ, Jung JY, Choi MK. Effect of water-soluble silicon supplementation on bone status and balance of calcium and magnesium in male mice. *Biological Trace Element Research*. 2014;158:238–242. doi: 10.1007/s12011-014-9936-4
31. Abdulwahab AA, Horniakova E. Effect of dietary *Lactobacillus* spp. and *Enterococcus faecium* supplementation on muscle amino acid profile and protein properties in broilers. *Archiva Zootechnica*. 2013;16:31–40. doi: 10.1016/j.livsci.2018.02.010
32. Podolian JN. Effect of probiotics on the chemical, mineral, and amino acid composition of broiler chicken meat. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017;7(1):61–65. doi:10.15421/20178
33. Liu X, Yan H, Lv L, Xu Q, Yin C, Zhang K, Wang P, Hu J. Growth performance and meat quality of broiler chickens supplemented with *Bacillus licheniformis* in drinking water. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2012;25(5):682–689. doi: 10.5713/ajas.2011.11334
34. Podolian JN. Effect of probiotics on the chemical, mineral, and amino acid composition of broiler chicken meat. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017;7(1):61–65. doi: 10.15421/20178
35. Mehdiipour Z, Afsharmanesh M, Sami M. Effects of dietary synbiotic and cinnamon (*Cinnamomum verum*) supplementation on growth performance and meat quality in Japanese quail. *Livestock Science*. 2013;154(s1–3):152–157. doi: 10.1016/j.livsci.2013.03.014

Сведение об авторах:

Иванищева Анастасия Павловна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории «Испытательный центр», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН), Российская Федерация, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: nessi255@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8264-4616 SPIN-код: 9400-5652

Сизова Елена Анатольевна — доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, руководитель отдела физиологии, биохимии и морфологии животных, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН), Российская Федерация, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: sizova.l78@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5125-5981 SPIN-код: 9819-1051

Холодилина Татьяна Николаевна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, руководитель Испытательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН), Российская Федерация, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: xolodilina@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-3946-8247 SPIN-код: 2977-6059



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-445-454

EDN WRWSOD

УДК 636.083.62

Обзорная статья / Review article

Тепловой стресс как проблема отрасли животноводства

К.А. Темирдашева¹  , В.М. Гукежев² ¹Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова,
г. Нальчик, Российская Федерация²Институт сельского хозяйства — филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН,
г. Нальчик, Российская Федерация
 karinaabazova@mail.ru

Аннотация. В условиях меняющегося климата современные системы производства продукции животноводства становятся уязвимыми, а высокопродуктивные животные достаточно требовательными к условиям содержания. Проведен анализ научных работ, посвященных проблеме глобального потепления и его влияния на отрасль молочного и мясного скотоводства. Приведены материалы исследований по вопросам влияния теплового стресса на животных, отмечена малая их изученность и неоднозначность информации, представленной в литературных источниках. Разработки с конкретными инструментами воздействия по устранению последствий глобального потепления для предприятий отрасли либо отсутствуют, либо неэффективны для природно-климатических условий Кабардино-Балкарской Республики.

Ключевые слова: температура, влажность, климат, порода, продуктивность

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 20 февраля 2025 г., принята к публикации 17 апреля 2025 г.

Для цитирования: Темирдашева К.А., Гукежев В.М. Тепловой стресс как проблема отрасли животноводства // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 445–454. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-445-454 EDN: WRWSOD

© Темирдашева К.А., Гукежев В.М., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Heat stress as a problem in the livestock industry

Karina A. Temirdasheva¹  , Vladimir M. Gukezhev² 

¹Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, *Nalchik, Russian Federation*

²Institute of Agriculture — branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, *Nalchik, Russian Federation*
 karinaabazova@mail.ru

Abstract. Under changing climate conditions, modern livestock production systems are becoming increasingly vulnerable, and highly productive animals are quite demanding in terms of housing and management conditions. An analysis of scientific studies dedicated to the problem of global warming and its impact on the dairy and beef cattle industries has been conducted. The research materials presented address the effects of heat stress on animals, noting the limited number of studies and the inconsistency of information available in the literature. Developments offering specific tools to mitigate the consequences of global warming for livestock enterprises are either absent or ineffective under the natural and climatic conditions of the Kabardino-Balkarian Republic.

Keywords: temperature, humidity, climate, breed, productivity

Authors' contribution. All the authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Article history: received 20 February 2025; accepted 17 April 2025.

For citation: Temirdasheva KA, Gukezhev VM. Heat stress as a problem in the livestock industry. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3): 445–454. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-445-454 EDN: WRWSOD

Введение

Основной задачей отрасли животноводства является повышение продуктивности животных, как в молочном направлении, так и в мясном. Глобальное изменение климата и его влияние на окружающую среду является одной из ведущих проблем XXI в. [1].

При сборе литературных источников мы обратили внимание на то, что авторы, изучая влияние теплового стресса на животных, предлагают разные пути решения поставленной проблемы. Очень важно учитывать разнообразие климатических поясов в России: от плоских равнин до высоких гор, большая протяженность с севера на юг и с запада на восток. Теплые и холодные океанические течения — одна из причин изменений температуры воздуха и влажности. Даже в Кабардино-Балкарской Республике в зависимости от районов наблюдается разница в данных показателях.

Стоит отметить, что местные породы сельскохозяйственных животных заметно легче переносят высокую температуру окружающей среды и низкую влажность воздуха. Необходимо создавать оптимальные условия кормления и содержания не только в помещениях и выгульных площадках, но и в режиме пастбы.

Цель исследования — обобщение научных данных по воздействию теплового стресса на организм крупного рогатого скота молочного направления продуктивности.

Методология обзора. Поиск осуществлялся по ключевым словам: животноводство, климат, тепловой стресс, порода, продуктивность — в базах данных РИНЦ (Elibrary.ru), Science Direct, а также с помощью поисковых запросов в Google Chrome.

А. Бокзонади отмечает, что «...Последствия теплового стресса, такие как низкая молочная продуктивность и некоторые другие, начинают проявляться уже при температуре 22 °С...» [2].

В.Ф. Вторый и С.В. Вторый утверждают, что «...для снижения рисков «теплового стресса» необходимо контролировать текущее состояние микроклиматических условий в зоне нахождения коровы и на основании прогноза изменения погодных условий необходимо управлять процессами обеспечения комфортных условий для животных...» [3].

Технология производства молока на данном этапе развития зоотехнической науки основана на современных достижениях научно-технического прогресса в области кормления, разведения и содержания молочного скота [4]. Многие авторы представили результаты изучения влияния кормовых добавок при тепловом стрессе [5–9].

По данным А.П. Костина «...при изменении температуры воздуха с 21 до 27 °С продуктивность лактирующих коров практически не изменяется, а выше 27 °С — снижается на 1 кг молока, при повышении температуры на 1 °С» [10].

Последствия теплового стресса животных могут быть крайне неблагоприятными и важно снизить негативное воздействие теплового стресса различными способами.

В «Ветеринарии и жизни» Я. Власова опубликовала материал, в котором работники молочных хозяйств делятся проблемой влияния теплового стресса на животных. Так, руководитель отдела технологии животноводства ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» Д. Юрин утверждает, что «...после теплового стресса организм животного не способен быстро вернуться в прежний режим продуктивности...»¹.

Р.Н. Хасанов, В.Е. Крылов, изучая влияние температурно-влажностного режима окружающей среды на молочную продуктивность коров, выявили, что «... из 30 исследованных дней индекс температуры и влажности до 70 был отмечен в течение 11 дней, от 70 до 72–3 дней, 73–78–6 дней, 79–85–10 дней. При ИТВ до 70 у коров наблюдалась максимальная молочная продуктивность (27,6 кг). При диапазоне ИТВ 70–72 продуктивность коров была ниже на 4,3 %, при диапазоне 73...78 — на 6,8 %, при 79...85 — на 15,2 %...» [11].

¹ Власова Я. Как бороться с тепловым стрессом у крупного рогатого скота // Информационный портал и газета «Ветеринария и жизнь». Режим доступа: <https://vetandlife.ru/livestock/kak-borotsya-s-teplovym-stressom-u-krupnogo-rogatogo-skota> (дата обращения: 02.02.2025).

В предшествующем исследовании мы отметили, что «общепринятая методика определения границ комфортности и группировки уровня влияния на основании температурно-влажностного индекса (ТВИ) в условиях степной зоны Кавказа некорректны, не отражают фактического влияния теплового стресса. В условиях глобального потепления установлено — тепловой стресс в регионах Юга России оказывает достоверно негативное влияние на плодовитость и продуктивность молочного скота, что требует научного обоснования данного фактора и разработки мер смягчения негативных последствий» [12].

М.С. Волхонов, Ю.Г. Иванов, И.И. Максимов и др. разработали математическую модель теплообмена коровы с окружающей средой при тепловом стрессе с учетом терморегуляционной функции животного, что «позволяет моделировать процессы обеспечения микроклимата в коровниках с целью снижения влияния тепловых стрессов на животных, а также применение различных технических средств систем естественной и принудительной вентиляции с целью выбора технических характеристик оборудования» [13].

Изучив влияние теплового стресса на воспроизводительную способность молочных коров, Г.П. Ковалева, М.Н. Лапина, Н.В. Сулыга установили, что «высокая температура окружающего воздуха в летний период способствует увеличению количества животных с гипофункцией яичников. Максимальных значений данный показатель достиг в июле — августе и составил 37,2 % и 40,6 % соответственно» [14].

В работе В. Гречишникова, А. Панина, Е. Михальчука и др. отмечается, что «в целях профилактики теплового стресса зачастую используют высокие дозировки соды и соли, при этом содержание натрия может превышать необходимый уровень, а магнием при этом пренебрегают, что может отрицательно сказываться на нейрофизиологических реакциях животных и их способности противостоять тепловому стрессу и его последствиям» [15].

Рядом российских и зарубежных ученых установлены температурные границы для коров и возможные пути решения проблемы теплового стресса при стойловом содержании [16–18]. Однако следует учитывать тот факт, что в летний период при стойлово-пастбищном либо лагерном содержании животные испытывают тепловой стресс, что не может не сказаться на их физиологическом состоянии и продуктивности.

Если говорить о введении в рацион животных кормовых добавок в летний период, что активно применяют в российских и зарубежных хозяйствах, то мы считаем данное решение неоптимальным, зависящим от природно-климатического расположения региона разведения с целью сохранения экологически чистой продукции.

На возникновение теплового стресса может повлиять и состояние кожи животного, и методы ее очистки. Так, в исследованиях зарубежных ученых выдвигается гипотеза, что «после очищения кожи животных в теплое и жаркое время года интенсивность теплопередачи между животным и окружающей средой увеличится из-за загрязнения, что позволит животному более эффективно отводить избыточное тепло от окружающей среды» [19].

В исследованиях М.О. Igono, G. Bjotvedt, Н.Т. Sanford-Crane установлено, что «верхняя критическая температура воздуха для лактирующих коров находится в диапазоне от +24 °С до +27 °С» [20].

При изучении влияния температуры окружающей среды на фертильность коров А.А. Tegza, М.Н. Dzhulanov, N. Baimbetova, Т.А. Akhmetchina отметили «отклонения в выработке гормонов эстрадиола и прогестерона в период резких колебаний температур в летний и зимний периоды после отела. Зарегистрировано резкое повышение гормонов стресса адреналина в летний и зимний периоды» [21].

Е.Н. Муханиной, Н.Ю. Сафиной, Э.Р. Гайнутдиновой и Ш.К. Шакирова зафиксировали изменения молочной продуктивности коров в зависимости от температуры и влажности: «с увеличением температурно-влажностного индекса наблюдается спад уровня удоя. Сохранение продолжительного воздействия эффекта теплового стресса сильнее отразилось у коров с привязным содержанием» [22].

Исследования зарубежных ученых показали, что «количество дней с индексом температуры и влажности THI >72 ежегодно увеличивается на севере США, в Канаде, Европе, и это становится важнейшей проблемой молочного скотоводства» [23].

По данным Б.А. Ашабокова, Л.М. Федченко, Л.А. Кешевой и др. «во всех климатических зонах Северо-Кавказского региона в период 1961–2019 гг. наблюдалось статистически значимое увеличение средних температур, как в холодный, так и в теплый периоды, за исключением холодного периода в высокогорной зоне» [24].

Одним из первых климатологов, предсказавших глобальное потепление климата в связи с эмиссией антропогенного углекислого газа в атмосферу, является американский климатолог Дж. Хансен [25, 26].

Указом Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 утверждена «Климатическая доктрина Российской Федерации», где прописано, что «ожидаемое изменение климата неизбежно отразится на жизни людей, состоянии животного и растительного мира во всех регионах планеты, а в некоторых из них станет ощутимой угрозой благополучию населения и устойчивому развитию»². Доктрина представляет собой систему взглядов на цели, основные принципы, задачи и механизмы реализации единой государственной политики по вопросам, связанным с изменением климата и его последствиями, и является основой для выработки и реализации климатической политики.

Е.О. Крупин в своих исследованиях подтверждает продолжительность воздействия теплового стресса в летний период на крупный рогатый скот [27].

С 1990-х гг. по всему миру наблюдаются глобальные природно-климатические изменения и, изучение теплового стресса у животных является актуальной проблемой, уровень зависит не только от температуры окружающей среды, но и от других факторов, которые могут привести к перегреву организма [28].

С.О. Сиптиц, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова отметили, что «исследований по воздействию климата на животноводство редки и относительно узко направлены» [29] и нет разработанных мероприятий или планов по устранению воздействия теплового стресса на животных.

² Климатическая Доктрина Российской Федерации. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529> (дата обращения: 12.12.2024).

В [30] мы нашли три формулы расчета температурно-влажностного индекса, по результатам которых авторы предлагают дифференцировать «тяжесть» влияния теплового стресса на коров:

1. $ТВИ = (9/5 \times T_{(C)} + 32) - [((0,55 - (0,55 \times H/100)) \times ((9/5 \times T_{(C)} + 32) - 58,8))]$;
2. $ТВИ = (ОВВ/100 \times (ТВ - 14,4)) + 46,4$;
3. $ТВИ = 0,72 (В + С) + 40,6$.

В условиях степной зоны Северного Кавказа ранее мы провели сравнительный анализ в течение пастбищного периода с 1 мая по 30 сентября за 8 лет и ни один из предложенных подходов по расчету температурно-влажностного индекса не соответствовал конкретным данным [31–33]. В связи с этим мы разрабатываем свой подход к расчету именно в условиях степной зоны Северного Кавказа. Подготовлен материал для представления заявки на патент.

Заключение

Представлены результаты обзора исследований по влиянию теплового стресса на крупный рогатый скот. В процессе анализа литературных данных мы отметили малую изученность влияния теплового стресса на животных. Информация из открытых источников не столь однозначна и требует углубленного изучения. В настоящее время либо еще не выработаны предложения для предприятий отрасли по устранению последствий глобального потепления — нет конкретных инструментов воздействия, либо рекомендуемые мероприятия неэффективны для природно-климатических условий Кабардино-Балкарской Республики.

Список литературы

1. Рудь Е.Н., Гринь В.А., Кузьминова Е.В., Семененко М.П. Влияние природного метамодулятора на биохимические показатели и продуктивность молочных коров в условиях Юга России // Известия НВ АУК. 2021. № 3 (63). С. 291–300. doi: 10.32786/2071-9485-2021-03-30 EDN: XXWBWG
2. Бокзонади А. Тепловой стресс. Контроль состояния дойных коров // Эффективное животноводство. 2022. № 2 (177). С. 16–18. EDN: COXTSB
3. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Информационная модель влияния теплового стресса на молочную продуктивность коров // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 69–72. doi: 10.28983/asj.y2022i2pp69-72 EDN: OBTDRL
4. Короткий В.П., Юрина Н.А., Юрин Д.А., Буряков Н.П., Рыжов В.А., Марисов С.С. Опыт применения фитобиотической кормовой добавки в летних условиях юга России // Эффективное животноводство. 2020. № 4 (161). С. 121–123. EDN: KNDKCQ
5. Рудь Е.Н., Кузьминова Е.В., Семененко М.П., Лазаревич Л.В., Калошкин И.В. Повышение молочной продуктивности коров при использовании адаптогенной кормовой добавки // Ветеринария Кубани. 2021. № 2. С. 13–15. doi: 10.33861/2071-8020-2021-2-13-15 EDN: XAPGER
6. Темидашева К.А., Гукеев В.М. Влияние температуры среды на поедаемость кормов и удои // Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию учреждения образования «Витебская ордена „Знак Почета“ государственная академия ветеринарной медицины», Витебск, 04–06 ноября 2024 г. Витебск : Витебская гос. академия ветеринарной медицины, 2024. С. 402–404. EDN: SJFUMS
7. Малинин И., Садовникова Н. Влияние теплового стресса на продуктивность молочного и мясного скота // Эффективное животноводство. 2016. № 5 (126). С. 34–37. EDN: WCNVKB
8. Тепловой стресс у коров // Наше сельское хозяйство. 2022. № 10 (282). С. 2–10. EDN: UIZHMJ

9. Позднякова В.Ф., Иванов А.В., Латышева О.В. Влияние кормовой добавки на основе эфирных масел на молочную продуктивность коров при тепловом стрессе // Молодежь. Наука. Инновации : сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых, Ярославль, 18–19 марта 2020 г. Ярославль : Ярославская гос. сельскохозяйственная академия, 2020. С. 315–317. EDN: ZTHHRM
10. Костин А.П., Сухомлин К.Г. Возрастные особенности теплообмена у крупного рогатого скота // Регуляция обмена тепла. Краснодар : Советская Кубань, 1960. С. 112–116.
11. Хасанов Р.Н., Крылов В.Е. Влияние теплового стресса на молочную продуктивность коров // Молодежные разработки и инновации в решении приоритетных задач АПК : материалы Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и учащейся молодежи, посвящ. памяти ак. М.П. Тушнова и А.З. Равилова, Казань, 31 марта 2022 г. Том II. Казань : Казанская гос. академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана, 2022. С. 88–91. EDN: OKTXOU
12. Гукеев В.М., Темирдашева К.А., Жашуев Ж.Х. Влияние теплового стресса на молочный скот в климатических условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 114. С. 269–275. doi 10.21515/1999-1703-114-269-275 EDN: LLFMNZ
13. Волхонов М.С., Иванов Ю.Г., Максимов И.И., Понизовкин Д.А., Жумагулов Ж.Б. Математическая модель теплообмена коровы с окружающей средой при тепловом стрессе с учетом терморегуляционной функции животного // Аграрный вестник Нечерноземья. 2023. № 4 (12). С. 42–50. doi: 10.52025/2712-8679_2023_04_42 EDN: BGUAZQ
14. Ковалева Г.П., Лапина М.Н., Сулыга Н.В. Влияние теплового стресса на воспроизводительную способность молочных коров и способ ее коррекции // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 2 (15). С. 58–65. doi: 10.25930/2687-1254/007.2.15.2022 EDN: BECEPP
15. Грецишников В., Панин А., Михальчук Е., Синин М., Рогатнев М., Яковцев Г. Эффективная профилактика ацидоза и теплового стресса у молочных коров // Эффективное животноводство. 2022. № 4 (179). С. 77–81. EDN: OYYLOO
16. Вторый В.Ф., Гордеев В.В., Вторый С.В., Ланцова Е.О. Оценка состояния температурно-влажностного режима в коровнике с использованием графического информационного моделирования // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 4 (24). С. 67–72. EDN: WTRMKJ
17. Ковальчикова М., Ковальчик К. Адаптация и стресс при содержании с.-х. животных. М., 1978. 271 с.
18. Вторый В.Ф., Вторый С.В., Ильин Р.М. Исследования температурно-влажностного режима коровника в зимне-весенний период // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 54. С. 134–140. doi: 10.24411/2078-1318-2019-11134 EDN: DVNAKZ
19. Ivanov Yu.G., Baimukanov D.A., Borulko V.G. Influence of cow skin cleaning on physiological parameters under heat stresses in warm season // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2020. № 4 (386). С. 100–108. doi: 10.32014/2020.2518-1467.109 EDN: NMKFVW
20. Igono M.O., Bjotvedt G., Sanford-Crane H.T. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate // International Journal of Biometeorology. 1992. Vol. 36. P. 77–87. doi: 10.1007/bf01208917 EDN: ITUWMA
21. Tegza A.A., Dzhanulov M.N., Baimbetova N., Akhmetchina T.A. Fertility of cows under heat stress // 3i: Intellect, Idea, Innovation — интеллект, идея, инновация. 2022. № 2. P. 20–27. doi: 10.52269/22266070_2022_2_20 EDN: JAWFKF
22. Муханина Е.Н., Сафина Н.Ю., Гайнутдинова Э.Р., Шакиров Ш.К. Изменения молочной продуктивности коров в зависимости от температуры и влажности // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., Владикавказ, 08–10 декабря 2023 г. Владикавказ : Веста, 2023. С. 230–234. EDN: RRWFAQ
23. Polsky L., Keyserlingk M.A.G. Invited review: effects of heat stress on dairy cattle welfare // Journal of Dairy Science. 2017. № 100 (11). P. 8645–8657. doi: 10.3168/jds.2017-12651
24. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Изменения температурного режима и режима осадков теплого и холодного периодов в различных климатических зонах Северо-Кавказского региона // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 3. С. 55–72. doi: 10.37493/2308-4758.2021.3.4 EDN: LOMERJ
25. Ашабоков Б.А., Ашабокова М.Б., Темирханова Х.М. Задачи плана адаптации АПК к изменению климата: информационное обеспечение и методы решения // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 99–107. doi: 10.17513/use.37899 EDN: KYPNQM

26. Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Платова Т.В., Самохина О.Ф., Кориева И.А. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 29–45. EDN: QAAIAR
27. Крупин Е.О. Оценка теплового стресса у крупного рогатого скота с использованием анализа метеорологических величин // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 3. С. 53–56. doi: 10.31857/S2500262720030138 EDN: SREUWG
28. Темирдашева К.А. Влияние температуры окружающей среды на показатели воспроизводства и продуктивности молочного скота // Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 12. № 2. С. 13–16. EDN: GSSGKP
29. Сипиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Климат — животноводство-продовольственная безопасность: зарубежный опыт моделирования взаимосвязей // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 7 (76). С. 57–66. doi: 10.33938/217-57 EDN: ACWGDM
30. Zimbelman R.B., Collier R.J. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity // Tri-State Dairy Nutrition Conference, April 19 and 20, 2011. P. 111–126.
31. Темирдашева К.А. Современное состояние и перспективы развития органического молочного животноводства // Актуальные вопросы аграрной науки : материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. памяти д-ра биол. наук, проф. А.М. Биттирова, Нальчик, 25–26 апреля 2024 г. Нальчик : Кабардино-Балкарский гос. аграрный ун-т им. В.М. Кокова, 2024. С. 129–133. EDN: LMJUGR
32. Гукеев В.М., Темирдашева К.А. Влияние температурно-влажностного индекса на продуктивность молочного скота // Научные достижения и инновационные подходы в АПК : сб. науч. трудов по итогам XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти заслуж. деятеля науки РФ и КБР, проф. Б.Х. Жерукова, Нальчик, 22 ноября 2024 г. Нальчик : Кабардино-Балкарский гос. аграрный ун-т им. В.М. Кокова, 2024. С. 37–39. EDN: PTDXNJ
33. Темирдашева К.А., Абазов А.А. Влияние теплового стресса на продуктивность молочного скота // Приоритеты научно-технологического развития агропромышленного комплекса в современных условиях : сб. науч.-практ. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Казань, 05–07 июня 2024 г. Казань : Татарский ин-т переподготовки кадров агробизнеса, 2024. С. 736–739. EDN: ALHQII

References

1. Rud EN, Grin VA, Kuzminova EV, Semenenko MP. Influence of a natural metamodulator on biochemical indicators and productivity of dairy cows in the conditions of the south of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021;(3):291–300. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2021-03-30 EDN: XXWBWG
2. Bokzonadi A. Thermal stress. Control of the condition of dairy cows. *Ehffektivnoe zhivotnovodstvo.* 2022;(2):16–18. (In Russ.). EDN: COXTSB
3. Vtoryi VF, Vtoryi SV. Information model of heat stress effect on lactation performance of cows. *Agrarian Scientific Journal.* 2022;(2):69–72. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2022i2pp69-72 EDN: OBTDRL
4. Korotky VP, Yurina NA, Yurin DA, Buryakov NP, Ryzhov VA, Marisov SS. The experience of using a phytobiotic feed additive in the summer conditions of southern Russia. *Ehffektivnoe zhivotnovodstvo.* 2020;(4):121–123. (In Russ.). EDN: KNDKCQ
5. Rud EN, Kuzminova EV, Semenenko MP, Lazarevich LV, Kaloshkin IV. Productivity increase of dairy cows using adaptogenic feed additive. *Veterinaria Kubani.* 2021;(2):13–15. (In Russ.). doi: 10.33861/2071-8020-2021-2-13-15 EDN: XAPGER
6. Temirdasheva KA, Gukezhev VM. The effect of ambient temperature on feed intake and milk yield. In: *Actual Problems of Treatment and Prevention of Diseases of Young Animals: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*; November 4–6, 2024; Vitebsk, Belarus. Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine; 2024:402–404. (In Russ.). EDN: SJFUMS
7. Malinin I, Sadovnikova N. The effect of heat stress on the productivity of dairy and beef cattle. *Ehffektivnoe zhivotnovodstvo.* 2016;(5):34–37. (In Russ.). EDN: WCNVKB
8. Heat stress in cows. *Nashe sel'skoe khozyaistvo.* 2022;(10):2–10. (In Russ.). EDN: UIZHMJ
9. Pozdnyakova VF, Ivanov AV, Latysheva OV. Effect of feed additive based on essential oils on dairy productivity of cows under thermal stress. In: *Science. Innovations: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists.* March 18–19, 2020; Yaroslavl, Russia. Yaroslavl: Yaroslavl State Agricultural Academy; 2020:315–317. (In Russ.). EDN: ZTHHRM

10. Kostin AP, Sukhomlin KG. Age-related features of heat exchange in cattle. In: *Regulyatsiya obmena tepla*. Krasnodar: Sovetskaya Kuban; 1960:112–116. (In Russ.).
11. Khasanov RN, Krylov VE. The effect of heat stress on dairy productivity of cows. In: *molodezhnye razrabotki i innovatsii v reshenii prioritnykh zadach APK*: Proceedings of the International Scientific Conference; March 31, 2022; Kazan, Russia. Kazan: Kazan State Academy of Veterinary Medicine; 2022:88–91. (In Russ.). EDN: OKTXOU
12. Gukezhev VM, Temirdasheva KA, Zhashuev ZhKh. The effect of heat stress on dairy cattle in the climatic conditions of the steppe zone of the Kabardino-Balkarian republic. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2024;(114):269–275. (In Russ.). doi: 10.21515/1999-1703-114-269-275 EDN: LLFMNZ
13. Volkonov MS, Ivanov YuG, Maksimov II, Ponizovkin DA, Zhumagulov Zh B. A mathematical model of the heat exchange of a cow with the environment under thermal stress, taking into account the thermoregulatory function of the animal. *Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region*. 2023;(4):42–50. (In Russ.). doi: 10.52025/2712-8679_2023_04_42 EDN: BGUAZQ
14. Kovaleva GP, Lapina MN, Suliga NV. Effect of heat stress on the reproductive capacity of dairy cows and the method for its improvement. *Agricultural Journal*. 2022;(2):58–65. (In Russ.). doi: 10.25930/2687-1254/007.2.15.2022 EDN: BECEPP
15. Grechishnikov V, Panin A, Mikhalechuk E, Sinin M, Rogatnev M, Yakovtsev G. Effective prevention of acidosis and heat stress in dairy cows. *Ehffektivnoe zhivotnovodstvo*. 2022;(4):77–81. (In Russ.).
16. Wtory VF, Gordeev VV, Wtory SV, Lantsova EO. The cowshed's temperature and humidity conditions with graphic information modeling using assessment. *Journal of VNIIMZH*. 2016;(4):67–72. (In Russ.).
17. Kovalchikova M, Kovalchik K. *Adaptatsiya i stress pri sodержanii s.-kh. zhivotnykh* [Adaptation and Stress During the Maintenance of Agricultural Animals]. Moscow; 1978. (In Russ.).
18. Vtoriy VF, Vtoriy SV, Ilyin RM. Studies of the temperature and humidity regime of a cowshed in the winter-spring period. *Izvestiya St. Petersburg State Agrarian University*. 2019;(54):134–140. (In Russ.). doi: 10.24411/2078-1318-2019-11134 EDN: WTRMKJ
19. Ivanov YuG, Baimukanov DA, Borulko VG. Influence of cow skin cleaning on physiological parameters under heat stresses in the warm season. *Bulletin the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020;(4):100–108. doi: 10.32014/2020.2518-1467.109 EDN: NMKFWC
20. Igono MO, Bjotvedt G, Sanford-Crane HT. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*. 1992;36:77–87. doi: 10.1007/bf01208917 EDN: ITUWMA
21. Tegza AA, Dzhanulov MN, Baimbetova N, Akhmetchina TA. Fertility of cows under heat stress. *3i: Intellect, Idea, Innovation*. 2022;(2):20–27. (In Russ.). doi: 10.52269/22266070_2022_2_20 EDN: JAWFKF
22. Mukhanina EN, Safina NYu, Gainutdinova ER, Shakirov SK. Changes in the milk productivity of cows depending on temperature and humidity. In: *Young Scientists in Solving Urgent Problems of Science*. Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference; December 8–10, 2023; Vladikavkaz, Russia. Vladikavkaz: Vesta; 2023:230–234. (In Russ.). EDN: RRWFAQ
23. Polsky L, von Keyserlingk MAG. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(11):8645–8657. doi: 10.3168/jds.2017-12651
24. Ashabokov BA, Fedchenko LM, Kesheva LA, Teunova NV. Changes in temperature regime and precipitation regime of warm and cold periods in various climatic zones of the North Caucasus region. *Science. Innovations. Technologies* 2021;(3):55–72. (In Russ.). doi: 10.37493/2308-4758.2021.3.4 EDN: LOMERJ
25. Ashabokov BA, Ashabokova MB, Temirkhanova HM. Challenges of the climate change adaptation plan for the agriculture sector: information support and solution methods. *Advances in current natural sciences*. 2022;(9):99–107. (In Russ.). doi: 10.17513/use.37899 EDN: KYPNQM
26. Bardin MYu, Rankova EYa, Platova TV, Samokhina OF, Korieva IA. Modern surface climate change as inferred from routine climate monitoring data. *Meteorology and Hydrology*. 2020;(5):29–45. (In Russ.). EDN: QAAIAR
27. Krupin EO. Evaluation of heat stress at cattle using analysis of meteorological values. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;(3):53–56. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500262720030138 EDN: SREUWG
28. Temirdasheva KA. Influence of ambient temperature on reproduction and productivity of dairy cattle. *Pridneprovsky Scientific Bulletin*. 2024;12(2):13–16. (In Russ.). EDN: GSSGKP
29. Siptitz SO, Romanenko IA, Evdokimova NE. Climate — livestock — food security: foreign experience in modeling relationship. *Economics, Labor, and Management in Agriculture*. 2021;(7):57–66. (In Russ.). doi: 10.33938/217-57 EDN: ACWGDM

30. Zimbelman BR, Collier RJ. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. April 19–20, 2011.

31. Temirdasheva KA. The current state and prospects for the development of organic dairy farming. In: *Topical Issues of Agricultural Science*. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference; April 25–26, 2024; Nalchik, Russia. Nalchik: V.M. Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University; 2024:129–133. (In Russ.). EDN: LMJUGR

32. Gukezhev VM, Temirdasheva KA. Influence of temperature-humidity index on dairy cattle yield. In: *Scientific Achievements and Innovative Approaches in Agriculture*. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference; November 22, 2024; Nalchik, Russia. V.M. Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University; 2024:37–39. (In Russ.). EDN: PTDXNJ

33. Temirdasheva KA, Abazov AA. The effect of heat stress on the productivity of dairy cattle. In: *Priorities of Scientific and Technological Development of the Agro-Industrial Complex in Modern Conditions*. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; June 5–7, 2024; Kazan, Russia. Kazan: Tatar Institute of Retraining in Agribusiness; 2024:736–739. (In Russ.). EDN: ALHQII

Об авторах:

Темирдашева Карина Альбертовна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии и ветеринарно-санитарной экспертизы факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Российская Федерация, 360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, проспект Ленина, д. 1 в; e-mail: karinaabazova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2365-8628 AuthorID: 839329 SPIN-код: 5585-0715

Гукезhev Владимир Мицхачович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией животноводства, Институт сельского хозяйства — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр „Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук“», Российская Федерация, 360024, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224; e-mail: ishkbncran@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2523-1246 AuthorID: 305559 SPIN-код: 7108-7377

About authors:

Temirdasheva Karina Albertovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Science and Veterinary and Sanitary Expertise of the Faculty of Veterinary Medicine and Biotechnology, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1 b Lenin Avenue, Nalchik, 360030, Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation; e-mail: karinaabazova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2365-8628 AuthorID: 839329 SPIN-code: 5585-0715

Gukezhev Vladimir Mitsakhovich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Animal husbandry, Institute of Agriculture — branch of FSBSI “Federal Scientific Centre ‘Kabardino-Balkarian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences’”, 224 Kirov st., Nalchik, 360030, Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation; e-mail: kbniish2007@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2523-1246 AuthorID: 305559 SPIN-code: 7108-7377



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-455-470

EDN WWBFPS

УДК 616-092

Научная статья / Research article

Митохондриальные гаплотипы: эффект нарушения репродукции свиней

Н.А. Акопян  , Д.И. Гильдилов , И.Р. Селиванова 

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА
имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 parlenare@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты обзора литературы и собственных исследований влияния гаплотипов митохондриальной ДНК (мтДНК) на качество ооцитов и генетическое разнообразие у свиней разных пород на основе анализа полиморфизма мтДНК. Патологии мтДНК в ооцитах возникают за счет действия различных факторов: старение, нарушение обмена веществ, ожирение и пониженное генетическое разнообразие. Установлено непосредственное влияние гаплотипов мтДНК на репродукцию свиней, что поможет лучше понимать и диагностировать патологии, лежащие в основе ухудшения здоровья ооцитов. У представителей российских пород свиней выявлено три группы гаплотипов мтДНК, это свидетельствует об ограниченном генетическом разнообразии. Показано, что у свиноматок с гаплотипами D и E происходит более раннее созревание в ооцитах, чем в потомствах с преобладанием гаплотипов A, имевших самую низкую репродуктивную эффективность. Согласно результатам исследования гаплотипы D и E более стабильны в популяции свиней, поскольку пометы от их носителей насчитывают в среднем 12 и более рожденных поросят. Полученные данные демонстрируют взаимосвязь генетической изменчивости по естественным митохондриальным гаплотипам с количеством рожденных поросят в помете. Анализ мутаций мтДНК у свиноматок — важный инструмент для изучения влияния гаплотипов на созревание ооцитов и прогнозирования выживаемости эмбрионов в организме матери. Таким образом, повышение качества ооцитов за счет улучшения митохондрий представляется новым подходом к управлению репродуктивными результатами и определению продуктивности свиноматок. Можно предположить, что маркеры митохондриальной дисфункции в клетках ооцитов высокого качества могут служить прогнозом в протоколах вспомогательных репродуктивных технологий.

© Акопян Н.А., Гильдилов Д.И., Селиванова И.Р., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: митохондриальная ДНК, гаплотипы мтДНК, мутации, оогенез, старение ооцитов, бесплодие

Вклад авторов: Акопян Н.А. — подготовка опыта, выполнение лабораторного анализа и сбор данных; Гильдилов Д.И. — анализ данных и их интерпретация; Селиванов И.Р. — подготовка рукописи. Все авторы одобрили окончательную версию рукописи.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 22 апреля 2025 г., принята к публикации 18 июня 2025 г.

Для цитирования: Акопян Н.А., Гильдилов Д.И., Селиванова И.Р. Митохондриальные гаплотипы: эффект нарушения репродукции свиней // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 455–470. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-455-470 EDN: WWBFPS

Mitochondrial haplotypes: the effect of reproductive disorders in pigs

Nare A. Akopyan  , Dmitry I. Gildikov , Irina R. Selivanova 

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after
K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation
 parlenare@gmail.com

Abstract. The study presents the results of a literature review and original research on the influence of mitochondrial DNA (mtDNA) haplotypes on oocyte quality and genetic diversity in pigs of different breeds, based on the analysis of mtDNA polymorphism. mtDNA pathologies in oocytes arise from various factors such as aging, metabolic disorders, obesity, and reduced genetic diversity. A direct effect of mtDNA haplotypes on pig reproduction has been established, which contributes to a better understanding and diagnosis of pathologies underlying oocyte health deterioration. Three groups of mtDNA haplotypes were identified in Russian pig breeds, indicating limited genetic diversity. It was shown that sows with haplotypes D and E exhibit earlier oocyte maturation compared with offspring predominated by haplotype A, which demonstrated the lowest reproductive efficiency. According to the results, haplotypes D and E are more stable in pig populations, as litters from their carriers averaged 12 or more piglets born. The obtained data demonstrate a correlation between genetic variability in natural mitochondrial haplotypes and the number of piglets per litter. Analysis of mtDNA mutations in sows is an important tool for studying the influence of haplotypes on oocyte maturation and for predicting embryo survival in the maternal organism. Thus, improving oocyte quality through mitochondrial enhancement appears to be a novel approach to managing reproductive outcomes and determining sow productivity. It can be assumed that markers of mitochondrial dysfunction in high-quality oocytes may serve as prognostic indicators in assisted reproductive technology protocols.

Keywords: mitochondrial DNA, mtDNA haplotypes, mutations, oogenesis, oocyte aging, infertility

Author contributions: Akopyan N.A. — experimental design, laboratory analysis, and data collection; Gildikov D.I. — data analysis and interpretation; Selivanova I.R. — manuscript preparation. All authors approved the final version of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 22 April 2025; accepted 18 June 2025.

For citation: Akopyan NA, Gildikov DI, Selivanova IR. Mitochondrial haplotypes: the effect of reproductive disorders in pigs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3): 455–470. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-455-470 EDN: WWBFPS

Введение

Современное свиноводство ориентировано на максимальное повышение экономической эффективности, ключевыми показателями которой являются многоплодие и сохранность поросят. Эти параметры в значительной степени определяют рентабельность производства. В связи с этим, поиск надежных генетических маркеров, ассоциированных с репродуктивными качествами свиноматок, остается одной из приоритетных задач в селекционно-племенной работе.

Особый интерес в этом контексте представляет митохондриальная ДНК (мт ДНК). Будучи цитоплазматически наследуемым геномом, мтДНК играет фундаментальную роль в энергообеспечении клетки, что критически важно для таких процессов, как созревание ооцитов, оплодотворение и эмбриональное развитие. Таким образом, мтДНК рассматривается как высокоинформативный маркер для анализа полиморфизма, оценки продуктивности и изучения механизмов, лежащих в основе репродуктивной функции свиней.

Наиболее изменчивым участком митохондриальной ДНК является область контроля, или D-петля, которая выступает в качестве центра инициации репликации и транскрипции. Изменчивость обусловлена, главным образом, различиями в количестве tandemных повторов последовательности 5'-CGTGC GTACA-3'. Вариабельность длины D-петли приводит к образованию различных митохондриальных гаплотипов, которые могут оказывать влияние на функциональную активность митохондрий. Размер D-петли у свиней варьируется в пределах от 1254 до 1314 пар оснований (п. о.) в зависимости от числа полиморфных tandemных повторов 5'-CGTGC GTACA-3' [1].

Митохондриальный геном, передающийся по материнской линии, представляет собой двухцепочечную структуру, размер которой у свиней составляет примерно 16,7 килобаз [2]. МтДНК связана с рядом признаков, которые включают устойчивость к теплу, рост и физическую работоспособность, качество мяса и молока, а также плодовитость. Митохондриальные геномы можно объединить в группы, известные как гаплотипы мтДНК.

Гаплотипы мтДНК — это ценный генетический материал, который можно использовать для улучшения характеристик сельскохозяйственных животных. Современные методы вспомогательной репродукции, такие как перенос ядер, позволяют комбинировать и сопоставлять желаемые хромосомные признаки с необходимыми характеристиками гаплотипов мтДНК. Мутации мтДНК в ооцитах накапливаются за счет действия различных факторов: старение организма, нарушение обмена веществ, ожирение самки, что снижает здоровье ооцитов. Отбор желаемых признаков у сельскохозяйственных животных обычно осуществляется с использованием принципов менделевской генетики в сочетании с эффектами

окружающей среды. Признаки, которые тесно связаны с приспособленностью, такие как плодовитость, как правило, считаются менее наследуемыми, чем морфологические признаки [3, 4].

Морфофункциональные изменения ооцитов свиней инициированы различными причинами и сопровождаются нарушением их оплодотворения, имплантации, эмбрионального и патологического развития в геноме будущих поколений [5]. На современном этапе аномалиям мтДНК отводится значимая роль в снижении качества ооцитов самок. Уменьшение количества мтДНК приводит к снижению качества стареющих ооцитов в организме самки, а их мутации влияют на выработку энергии митохондриями, нуклеотидный баланс митохондриального генома и способствуют развитию митохондриальных заболеваний у поросят [6, 7]. Уникальная особенность мтДНК заключается в том, что она наследуется исключительно по материнской линии и не подвергается обмену между молекулами (рекомбинаций). Это приводит к тому, что митохондриальные геномы подвергаются изменениям с течением времени, накапливая мутации из поколения в поколение. При этом мутантные формы мтДНК случайным образом распределяются в процессе клеточного деления [8, 9].

Присутствующая в зрелом ооците мтДНК реплицируется во время развития для удовлетворения конкретных энергетических потребностей каждой ткани. Особей по материнской линии объединяют в группы по гаплотипам мтДНК, влияющим на фенотип свиноматок. В связи с тем, что гаплотипы мтДНК могут оказывать как положительное, так отрицательное влияние на репродуктивную способность свиней различных пород, важно учитывать выбор самок при их селекции.

В процессе репродукции свиней использование исключительно митохондрий, полученных из стволовых клеток или молодых донорских половых клеток, встречается сравнительно нечасто. Общепринято считать, что положительный эффект на репродуктивные характеристики свиноматки достигается благодаря замене нуклеотидов в митохондриальной ДНК, что, в свою очередь, влияет на соотношение гаплотипов в популяциях [10]. Уровни гетероплазмии у потомства значительно варьируются по сравнению с материнской гетероплазмией, в то время как средняя гетероплазмия у многих потомков часто сопоставима с таковой у матери [11–14]. Механизм, лежащий в основе этого эффекта, полностью не раскрыт, требует дальнейшего уточнения [15], сопряжен со снижением числа копий мтДНК в зародышевой линии [16], случайным разделением кластеров мтДНК при делении клеток [17, 18], репликацией подмножества мтДНК во время развития [19].

В связи с этим в свиноводстве актуализировалась проблема установления влияния различных факторов, способствующих накоплению мутаций мтДНК в ооцитах свиней и их фертильности.

Цель исследования заключается в проведении молекулярно-генетического анализа посредством секвенирования наиболее вариабельного фрагмента D-петли митохондриальной ДНК *Sus scrofa*. В ходе исследования предполагается изучить влияние мутаций митохондриальной ДНК на генетическое разнообразие, репродуктивный потенциал и воздействие гаплотипов на процесс созревания ооцитов.

Материал и методы исследования

Исследования проведены в период 2021–2023 гг. ФГБНУ ФИЦ «ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Объекты исследования — домашние свиньи 8 пород: крупная белая ($n = 50$), ландрас ($n = 20$), дюрок ($n = 11$), брейтовская ($n = 21$), уржумская ($n = 29$), муромская ($n = 30$), ливенская ($n = 12$), кемеровская ($n = 33$) и венгерская мангалица ($n = 38$). Материалом для молекулярно-генетических исследований служили ткани из ушных раковин свиней, полученные прижизненно. Консервирование материала проводили согласно методике Н.А. Зиновьевой [20]. Все ткани хранили при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до проведения экстракции ДНК. Нуклеотидную последовательность гипервариабельного участка D-петли мтДНК выявляли посредством секвенирования наиболее вариабельного фрагмента D-петли мтДНК *Sus scrofa*, длиной 954 п.н. по методике F. Sanger, S. Nicklen et al. [21]. Для проведения анализа использовали фрагмент нуклеотидной последовательности длиной 705 пар оснований (п.н.), охватывающий позиции с 15535 по 16064. Этот фрагмент получили после выполнения процедур выравнивания последовательностей и удаления сегментов 5'- и 3'-концов, содержащих неоднозначно интерпретируемые нуклеотидные остатки и/или пропуски. Для увеличения фрагмента гипервариабельной области митохондриальной ДНК *S. scrofa* были разработаны праймеры, которые охватывают наиболее консервативные участки:

Последовательность праймера (5'–3'): mt-DNA1 CGT ATG CAA ACC AAA ACG C fw; mt-DNA2 GTT TTT GGG GTT TGG CAA G rw, где fw — прямой праймер (комплементарен 3'-цепи ДНК); rw — обратный праймер (комплементарен 5'-цепи ДНК). Для сравнительного анализа из генетической базы данных использовали опубликованные ранее [22] последовательности фрагмента D-петли мтДНК. Полученные сиквенсы в формате FASTA подверглись сравнению с референтной последовательностью свиньи крупной белой породы (NCBI Accession No. AJ002189). Для каждой выборки и их комбинаций определили следующие характеристики популяции: доля общих фрагментов F ; попарные генетические расстояния P ; внутривидовые генетические расстояния D ; межвидовые генетические расстояния D ; генетическое разнообразие, измеряемое с помощью индекса Шеннона H .

Анализ полиморфизма включал определение нуклеотидных позиций полиморфных сайтов, числа вариабельных сайтов S и среднего числа попарных различий между гаплотипами P_i . Эти расчеты выполняли с использованием программного обеспечения MEGA 7.0, Ugene v.1.19.0 и DNASP 6.2. Дополнительно произведены вычисления нуклеотидного π и гаплотипического разнообразия h , а также оценка соответствия наблюдаемых нуклеотидных замен гипотезе нейтральности в исследованных популяциях с применением Tajima-теста D , анализ мутационного процесса FST-тест с использованием программного обеспечения ARLEQUIN версии 3.11. Статистические тесты на нейтральность и оценку отклонений проводили с использованием 1000 реплик в ARLEQUIN v 3.11, что обеспечило высокую степень статистической надежности результатов. Оценку структуры blastocyst проводили на основании международной классификации, разработанной D.K. Gardner

и W.B. Schoolcraft в 1999 г. Сбор ооцитов и эмбрионов для анализа количества копий мтДНК — по стандартной схеме.

Для определения эффективности развития оценивали средние значения соотношения BCB+ к BCB– в ооцитах, а также показатели созревания, оплодотворения, и бластоцисты были разделены на средние размеры потомства для каждого гаплотипа мтДНК, чтобы получить значение для сравнения показателей конверсии в потомство. Анализ данных был осуществлен с применением специализированного программного обеспечения R версии 4.5.0. Исходные данные были импортированы из электронных таблиц MS Excel. Количественные данные подверглись тщательной проверке на соответствие нормальному распределению. В случае подтверждения нормальности данные анализировались с применением однофакторного дисперсионного анализа для сравнительного анализа гаплотипов. В ситуациях, когда данные не соответствовали критериям нормальности, применяли критерий Краскела — Уоллиса. При выявлении статистически значимых различий между гаплотипами осуществляли дополнительные статистические процедуры для более детального анализа. Размер помета как важный количественный показатель продемонстрировал нормальное распределение ($\alpha = 0,05$) для каждой анализируемой группы. Поскольку у гаплотипа А мтДНК был самый маленький размер помета, каждый гаплотип мтДНК сравнивался с гаплотипом А. Для анализа качественных данных применялся точный критерий Фишера. Для определения взаимосвязи между мтДНК и репродуктивной способностью была проведена корреляция Пирсона с двусторонним значением p . Все статистические анализы проводились с помощью GraphPad Prism версии 6.0d.

Результаты исследования и обсуждение

Мы провели детальный анализ воздействия гаплотипов митохондриальной ДНК на качество ооцитов, а также изучили полиморфизм митохондриальной ДНК и генетическое разнообразие свиней различных пород, опираясь на собственные данные. Следует подчеркнуть, что исследуемые популяции свиней представляют значительный интерес с точки зрения сохранения генетического разнообразия и репродуктивного потенциала. Эти аспекты имеют ключевое значение для поддержания устойчивости и адаптивности пород к изменяющимся условиям окружающей среды и селекционным воздействиям. Поддержание генетического разнообразия в свиноводстве представляет собой ключевой аспект стратегии сохранения биоразнообразия, нацеленной на обеспечение продовольственной безопасности в долгосрочной перспективе и устойчивое развитие отрасли животноводства.

Первое направление формирования пород свиней основывалось на селекционных стратегиях, ориентированных на улучшение локальных популяций посредством гибридизации с заводскими породами. В результате этого подхода были выведены такие породы, как брейтовская, ливенская, миргородская, муромская и уржумская, а также ряд других. Третье направление заключалось в плановом скрещивании местных пород, обладающих высокой адаптивностью к условиям разведения, с российскими и зарубежными высокопродуктивными породами. Этот метод позволял интегриро-

вать генетический потенциал местных пород с улучшенными характеристиками, что способствовало повышению продуктивности и адаптивности новых породных типов. Согласно полученным данным в исследуемой популяции свиней наблюдается эффект влияния полиморфизма гаплотипов D и E мтДНК, имеющие склонность воспроизводить большое количество поросят, чем особи с гаплотипом А. Однако при оценке количества живорожденных потомков у свиней с гаплотипом D не зафиксировали достоверной тенденции из-за высокого появления мертворожденных поросят. Данное обстоятельство указывает на то, что свиноматки с гаплотипом D находится на максимальных уровнях своей продуктивности (рис. 1).

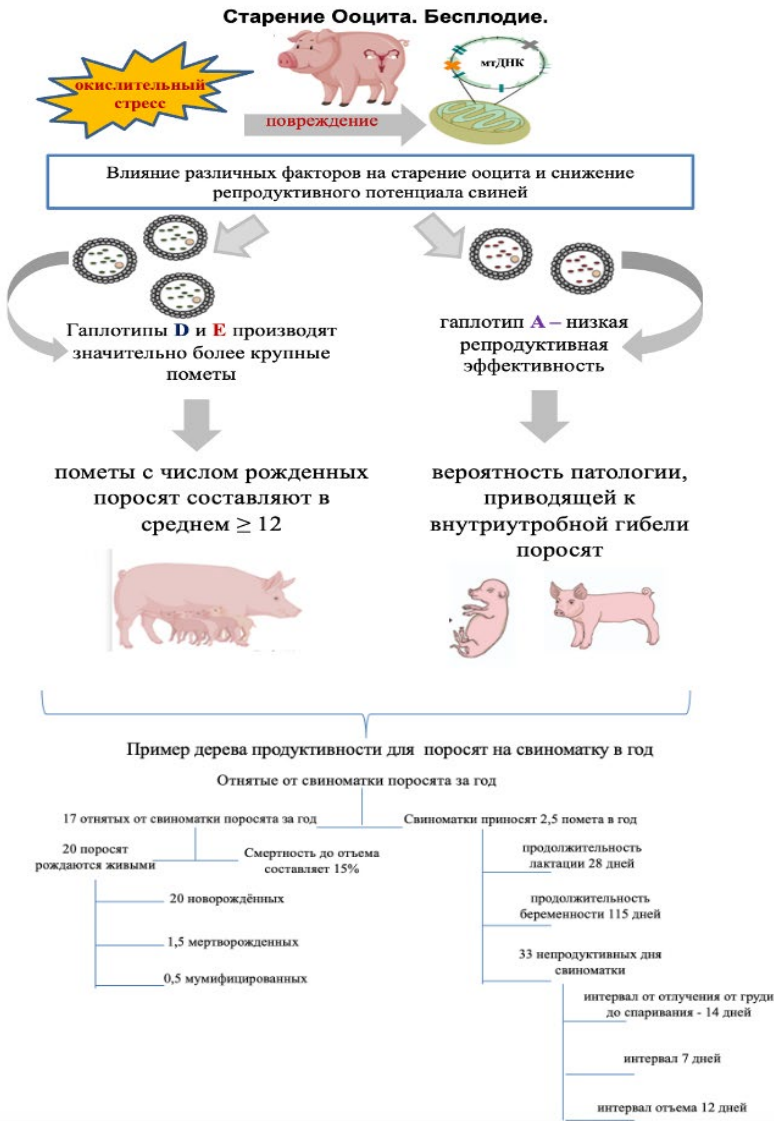


Рис. 1. Факторы, определяющие старение яйцеклетки и уменьшение фертильности у свиней
Источник: выполнено Н.А. Акопян, Д.И. Гильдиковым, И.Р. Селивановой.

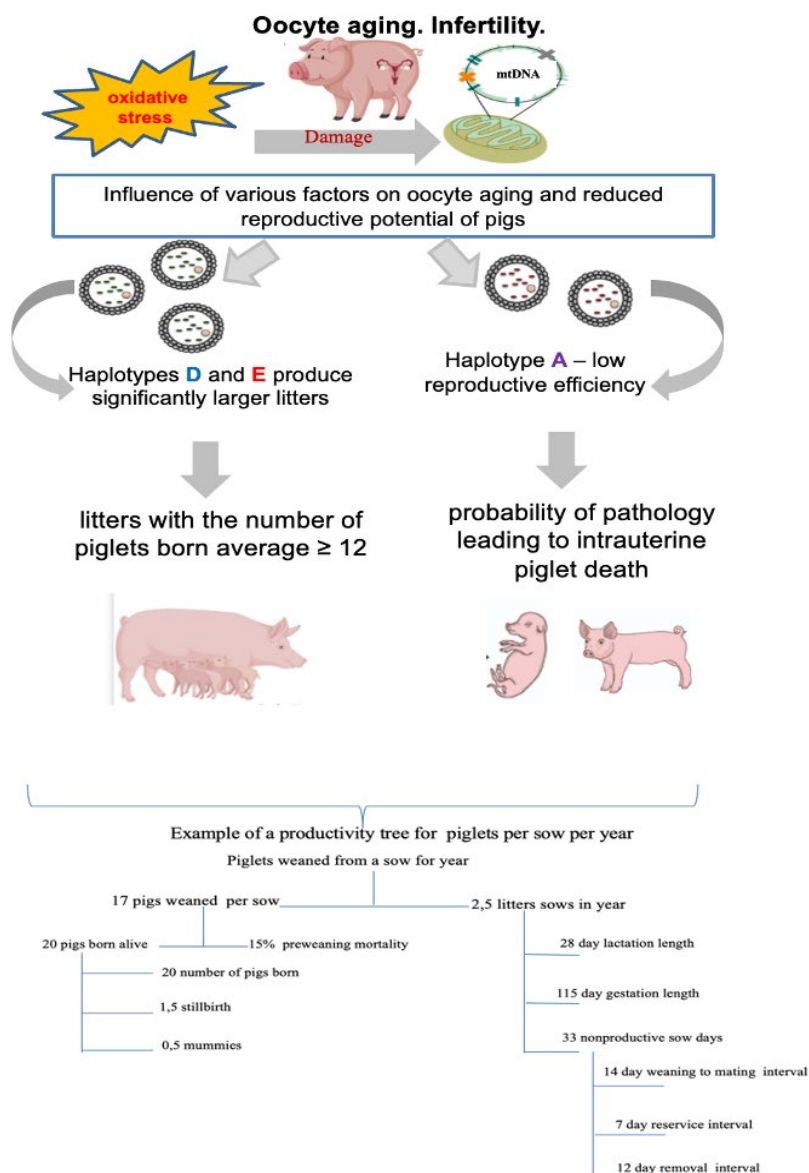


Fig. 1. Factors that determine egg aging and reduced fertility in pigs

Source: compiled by N.A. Akopyan, D.I. Gildikov, I.R. Selivanova.

Отбор желаемых признаков у сельскохозяйственных животных обычно осуществляется с использованием принципов закона Менделя в сочетании с эффектами окружающей среды. Признаки, которые тесно связаны с приспособленностью, такие как плодовитость, как правило, считаются менее наследуемыми, чем морфологические. Известно, что у тучных свиноматок на 21-й день беременности жизнеспособных эмбрионов на 22 % меньше по сравнению с худыми свиноматками, даже при аналогичной частоте овуляции [23]. Существует связь индекса ожирения свиней до беременности и корреляции понижения размера помета в популяции свиней.

Необходимо подчеркнуть, что свиньи, обладающие гаплотипами D и E, демонстрируют значительно более высокую плодовитость. По-видимому, у животных с гаплотипами D и E наблюдается более раннее созревание ооцитов по сравнению с потомством, где преобладают гаплотипы A, что приводит к снижению их репродуктивной эффективности. Однако гаплотипы D и E характеризуются более высокой устойчивостью в популяции свиней, поскольку среднее количество поросят в помете при их использовании составляет не менее 12, в то время как у популяции свиней с гаплотипом A этот показатель может быть ниже.

Гаплотип A характеризуется наличием 13 полиморфных маркеров, специфичных для данной гаплогруппы, в сравнении с гаплогруппой E, которая обладает 13 полиморфизмами против 3, и гаплогруппой D, где количество специфичных полиморфизмов составляет 13 против 5. Предполагается, что некоторые из этих полиморфных изменений могут оказывать влияние на аминокислотную последовательность митохондриального генома. В частности, для гаплотипа A прогнозируется, что замена нуклеотида 8116A на G приведет к замене аминокислоты изолейцина (Ile) на метионин (Met) в положении 58 полипептидной цепи АТФазы 6 (табл.). Для гаплотипа D имеются замены 4897A > G и 13424 T > C, которые приводят к замене аминокислоты Ile на Val в положении 330 NADH2 и Ile на Thr в положении 556 NADH5 соответственно (табл.). Гаплотип E характеризуется заменой 13529 T на C, что приводит к замене аминокислоты Ser на Phe в положении 591 полипептида NADH5. Таким образом, мутации в гене NADH5 нарушают работу комплекса I, который инициирует первый этап в процессе переноса электронов, что приводит в свою очередь к митохондриальной дисфункции. Согласно полученным данным, изученные три гаплотипа обладают разной репродуктивной способностью, которая влияет на размер помета.

Нуклеотидные замены полиморфных регионов митохондриальных гаплотипов

Референсная последовательность (NCBI No. AJ002189)	Гаплотип A	Гаплотип D	Гаплотип E	* Перекрывающиеся гены
2409				16S rRNA
2312				16S rRNA
3060		3060 C > T		NADH1
4179				NADH2
4898		4897 A > G		NADH2
8116	8116 A > G			ATPase 6
9758				NADH3
10629		10629 C > T		NADH4
12216	12216 G > C			NADH5
13424		13424 T > C		NADH5
13529			13529 T > C	NADH5
15615			15615 C > T	D-петля
15675	15675 T > C			D-петля
15758		15758 T > C		D-петля

Окончание табл.

Референсная последовательность (NCBI No. AJ002189)	Гаплотип А	Гаплотип D	Гаплотип E	* Перекрывающиеся гены
15840	15840 T > C			D-петля
15936				D-петля
16127			16127 G > A	D-петля

Примечание. *Перекрывающиеся гены представляют собой участки мтДНК, которые кодируют две или более (до шести) разных белковых последовательностей.

Источник: составлено Н.А. Акопян, Д.И. Гильдиловым, И.Р. Селивановой.

Nucleotide substitutions of polymorphic regions of mitochondrial haplotypes

Reference sequence (NCBI No. AJ002189) position	Haplotype A	Haplotype D	Haplotype E	* Overlapping gene
2409				16S rRNA
2312				16S rRNA
3060		3060 C > T		NADH1
4179				NADH2
4898		4897 A > G		NADH2
8116	8116 A > G			ATPase 6
9758				NADH3
10629		10629 C > T		NADH4
12216	12216 G > C			NADH5
13424		13424 T > C		NADH5
13529			13529 T > C	NADH5
15615			15615 C > T	D-loop
15675	15675 T > C			D-loop
15758		15758 T > C		D-loop
15840	15840 T > C			D-loop
15936				D-loop
16127			16127 G > A	D-loop

Note. *Overlapping genes are regions of mtDNA that encode two or more (up to six) different protein sequences.

Source: compiled by N.A. Akopyan, D.I. Gildikov, I.R. Selivanova.

Каждый гаплотип имеет свою способность к развитию, что влияет на качество ооцитов. Это, в свою очередь, определяет их способность к оплодотворению и дальнейшему развитию до стадии бластоцисты. Поскольку бластоциста — это финальная стадия преимплантационного периода, и от нее зависит, сможет ли эмбрион имплантироваться и привести к рождению здорового потомства. Поскольку митохондрии являются важными органеллами, которые обеспечивают аденозинтрифосфат (АТФ) для большинства клеточных энергоемких процессов через путь окислительного фосфорилирования в раннем эмбрионе. Митохондрии также являются основным источником продукции активных форм кислорода (АФК), а цепь переноса электронов в митохондриальном дыхании сопровождается продукцией АФК. Количество митохондрий в эмбрионе является одним из маркеров качества эмбриона [23]. Потенциал митохондриальной мембраны обеспечивает основу для

дыхательной функции митохондрий, превращая аденозиндифосфат (АДФ) в АТФ под действием ферментов.

В связи с этим значение эффекта воздействия гаплотипов можно соотнести с влиянием количества поросят, отнятых от свиноматки в течение года, что обычно служит контрольным показателем для сравнения продуктивности племенных хозяйств. Полученные данные демонстрируют взаимосвязь генетической изменчивости по естественным митохондриальным гаплотипам с количеством рожденных поросят в помете. Как известно, увеличение числа новорожденных поросят может иметь и негативные последствия для их организма, поскольку масса поросят при рождении становится меньше. Более того, некоторые поросята, имеющие незначительный вес, могут не получить достаточного количества молозива от свиноматки. Количество отнятых от свиноматки поросят зависит от количества опоросов и смертности до отъема, а количество опоросов на свиноматку в год зависит от непродуктивных дней, продолжительности лактации и беременности.

Что касается плодовитости, следует отметить, что на количество опоросов на свиноматку в год также оказывают влияние такие факторы, как частота опоросов, уровень стресса, которые, в свою очередь, увеличивают повреждение мтДНК за счет окислительного воздействия.

Предполагаемая племенная ценность представляет собой комплексный показатель, позволяющий оценить общую эффективность производства в племенной и мясной промышленности. В качестве ключевых критериев выступают репродуктивные факторы, такие как количество живых поросят, размер приплода и качество сосков. Кроме того, учитываются факторы, связанные с качеством мяса, включая плотность жира и толщину мышечной ткани. Еще одним важным критерием является среднесуточный привес за всю жизнь, который представляет собой оценку веса, набранного животным с момента рождения до смерти.

Интервалы между случками и выбраковкой также влияют на количество непродуктивных дней у свиноматок. В промышленных стадах число непродуктивных дней у свинок и свиноматок может увеличиваться из-за выкидышей. В то же время, плодовитость в значительной степени зависит от увеличения частоты овуляции и снижения выживаемости эмбрионов или плодов.

Односторонняя селекция свиноматок на повышение многоплодия без параллельного улучшения материнских качеств представляет серьезный риск для жизнеспособности и благополучия потомства. Генетический прогресс в увеличении числа поросят в помете будет нивелирован, если не сопровождается сопряженным отбором по таким признакам, как емкость матки, количество функциональных сосков и молочная продуктивность.

Гаплотипы мтДНК играют важную роль в адаптации к окружающей среде, предрасположенности к заболеваниям и репродуктивных функциях. Мы решили выяснить, влияют ли эти гаплотипы на другие характеристики свиней, определяющие их племенную ценность. В частности, мы хотели понять, могут ли гаплотипы, связанные с низкой плодовитостью, улучшать другие качества в ущерб репродук-

тивной способности. Поэтому мы исследовали также генетическое разнообразие свиноматок различных пород.

Свиньи, относящиеся к местным породам, характеризуются более гомогенной генетической структурой по сравнению с трансграничными породами, которые были подвергнуты исследованию. В частности, 93,8 % всех идентифицированных гаплогрупп принадлежали к гаплогруппе E. Доля гаплогрупп D и A составила соответственно 5,1 и 1,1 % (рис. 2).

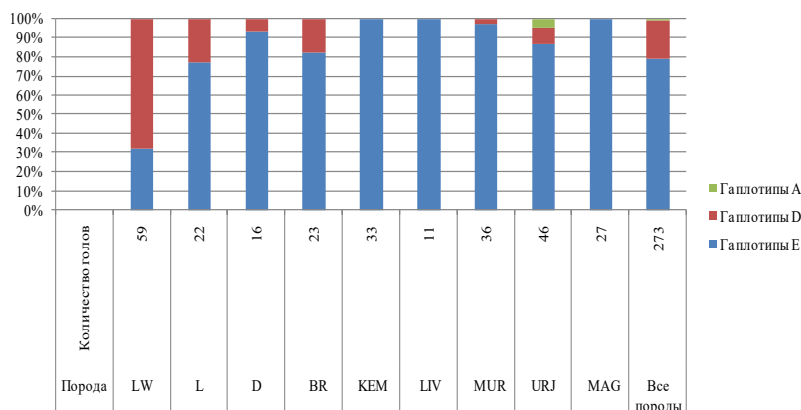


Рис. 2. Анализ гаплогрупп d-петли митохондриальной ДНК свиней: LW — крупная белая; L — ландрас; D — дюрок; BR — брейтовская; KEM — кемеровская; LIV — ливенская; MUR — муромская; URJ — уржумская; MANG — мангалица
 Источник: выполнено Н.А. Акопян, Д.И. Гильдиловым, И.Р. Селивановой.

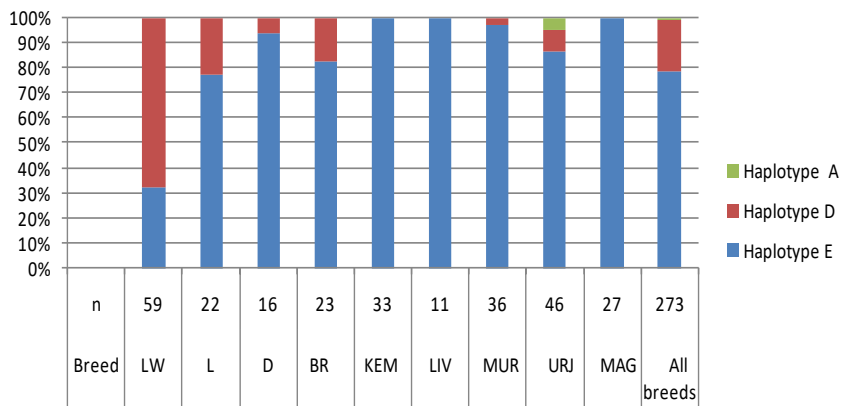


Fig. 2. Haplotype analysis of the mitochondrial DNA d-loop region of pigs: LW — large white; L — landrace; D — Duroc; BR — Breitovskaya; KEM — Kemerovo; LIV—Livenskaya; MUR — Muromskaya; URJ — Urzhumskaya; MANG — Mangalitsa
 Source: compiled by N.A. Akopyan, D.I. Gildikov, I.R. Selivanova.

Можно выдвинуть гипотезу о том, что в условиях ограниченного генетического разнообразия популяции местные породы свиней достигли своего предельного размера (рис. 3).

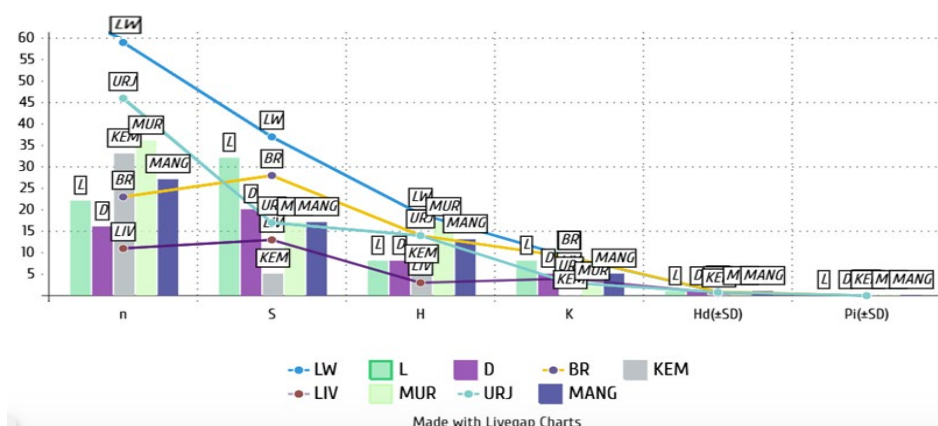


Рис. 3. Показатели генетического разнообразия у исследованных пород домашних свиней: LW – крупная белая; L – ландрас; D – дюрк; BR – брейтовская; KEM – кемеровская; LIV – ливенская; MUR – муромская; URJ – уржумская; MANG – мангалица; n – количество образцов; S – число полиморфных сайтов; K – среднее число нуклеотидных различий; H – число гаплотипов; Hd – гаплотипическое разнообразие; Pi – нуклеотидное разнообразие; SD – стандартное отклонение

Источник: выполнено Н.А. Акопян, Д.И. Гильдиковым, И.Р. Селивановой.

Fig. 3. Genetic diversity indicators in the studied breeds of domestic pigs: LW – large white; L – landrace; D – Duroc; BR – Breitovskaya; KEM – Kemerovo; LIV – Livenskaya; MUR – Muromskaya; URJ – Urzhumskaya; MANG – Mangalitsa; n – number of samples; S – number of polymorphic sites; K – average number of nucleotide differences; H – number of haplotypes; Hd – haplotype diversity; Pi – nucleotide diversity; SD – standard deviation

Source: compiled by N.A. Akopyan, D.I. Gildikov, I.R. Selivanova.

Мутации в митохондриальном геноме привели к накоплению вариативности гаплотипов мтДНК, в то время как разнообразие нуклеотидов в популяциях еще не достигло своего максимума. Эти данные не вступают в противоречие с результатами исследований в этой области [24, 25]. Генетическое разнообразие кемеровской породы свидетельствовало о том, что эта популяция произошла от сравнительно небольшого числа основателей и эволюционировала в условиях отсутствия существенного притока генов извне. Аналогичное генетическое родство особей без значительного влияния потока генов извне было обнаружено и в популяциях муромской и уржумской пород, что указывало на минимальное участие других пород в их формировании.

Заключение

У представителей российских пород свиней идентифицировано три группы гаплотипов мтДНК, что указывает на ограниченное генетическое разнообразие. Существуют факторы риска, которые оказывают влияние, как на свиноматок, так и на условия содержания на фермах, что приводит к снижению репродуктивных показателей свиноматок. Анализ мутаций мтДНК у свиноматок является важным инструментом для установления влияния гаплотипов на созревание ооцитов и прогнозирования выживаемости эмбрионов в организме матери.

Оптимизация функционального состояния митохондрий, направленная на повышение качества ооцитов, представляет собой перспективную стратегию для управления репродуктивными процессами и повышения их эффективности. Поскольку в бесплодии свиноматок часто участвуют множественные факторы, необходимо всестороннее понимание индивидуальных эффектов каждого фактора, связанного с бесплодием и накоплением мутаций мтДНК. Понимание факторов, влияющих на бесплодие, создает перспективы для различных стратегий улучшения качества ооцитов в будущем. Кроме того, исследование гаплотипов мтДНК племенных животных и применение полученных данных для оптимизации селекционных стратегий может значительно повысить предполагаемую племенную ценность особи, что, в свою очередь, обеспечит дальнейшее улучшение определенных популяций домашних животных.

Современные научные исследования предоставляют убедительные доказательства того, что линии эмбриональных стволовых клеток, обладающие идентичной ядерной ДНК, но различающиеся по гаплотипам мтДНК, демонстрируют различные паттерны экспрессии генов в процессе клеточной дифференцировки. Этот феномен указывает на существенную роль митохондриальных генетических вариаций в регуляции эпигенетических процессов и функциональной специфичности клеток, что имеет важные последствия для понимания механизмов клеточного развития и дифференцировки.

Таким образом, можно предположить, что гаплотипы мтДНК влияют на репродуктивную способность свиней и могут использоваться в качестве маркера в дополнение к существующим методам селекции для выявления продуктивных свиней. Следует подчеркнуть, что применяемые методы оценки копийности мтДНК с использованием полимеразной цепной реакции (ПЦР) характеризуются инвазивностью, что существенно ограничивает их применимость для анализа функционального состояния митохондрий ооцита. Вследствие этого мы выдвигаем гипотезу о том, что показатели нарушения работы митохондрий в клетках высококачественных яйцеклеток могут быть использованы для прогнозирования результатов вспомогательных репродуктивных технологий в свиноводстве.

Список литературы / References

1. Giuffra E, Kijas JM, Amarger V, Carlborg Ö, Jeon J-T, Andersson L. The origin of the domestic pig: independent domestication and subsequent introgression. *Genetics*. 2000;154(4):1785–1791. doi: 10.1093/genetics/154.4.1785
2. Wu S, Xie J, Zhong T, Shen L, Zhao Y, Chen L, Gan M, Zhang S, Zhu L, Niu L. Genetic polymorphisms in ESR and FSH β genes and their association with litter traits in Large White pigs. *Animal Biotechnology*. 2023;34(9):4713–4720. doi: 10.1080/10495398.2023.2187405 EDN: YOVMNG
3. Tan BG, Gustafsson CM, Falkenberg M. Mechanisms and regulation of human mitochondrial transcription. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2024;25(2):119–132. doi: 10.1038/s41580-023-00661-4 EDN: ADAEEJ
4. Srirattana K, St John JC. Transmission of dysfunctional mitochondrial DNA and its implications for mammalian reproduction. *Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology*. 2019;231:75–103. doi: 10.1007/102_2018_3 EDN: OXDUJH
5. Wang Y, Qi JJ, Yin YJ, Jiang H, Zhang J-B, Liang S, Yuan B. Ferulic acid enhances oocyte maturation and the subsequent development of bovine oocytes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(19):14804. doi: 10.3390/ijms241914804 EDN: WFISIP

6. Ullah F, Rauf W, Khan K, Khan S, Bell KM, de Oliveira VC, Tariq M, Bakhshalizadeh S, Touraine P, Katsanis N, Sinclair A, He S, Tucker EJ, Baig SM, Davis EE. A recessive variant in TFAM causes mtDNA depletion associated with primary ovarian insufficiency, seizures, intellectual disability and hearing loss. *Human Genetics*. 2021;140(12):1733–1751. doi: 10.1007/s00439-021-02380-2 EDN: IQGOZW
7. Dong L, Maoliang R, Li Z, Chen B. The complete mitochondrial genome sequence of Meishan pig (*Sus scrofa*) and a phylogenetic study. *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. 2016;1(1):112–113. doi: 10.1080/23802359.2015.1137850
8. May-Panloup P, Boucrot L, Chao de la Barca JM, Desquirit-Dumas V, Ferré-L'Hotellier V, Morinière C, Descamps P, Procaccio V, Reynier P. Ovarian ageing: the role of mitochondria in oocytes and follicles. *Human Reproduction Update*. 2016;22(6):725–743. doi: 10.1093/humupd/dmw028
9. Tsai TS, Rajasekar S, St John JC. The relationship between mitochondrial DNA haplotype and the reproductive capacity of domestic pigs (*Sus scrofa domestica*). *BMC Genetics*. 2016;17(1):67. doi: 10.1186/s12863-016-0375-4 EDN: YADHJB
10. Tajima F. Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics*. 1989;123(3):585–595. doi: 10.1093/genetics/123.3.585
11. An J, Min KI, Ju YS. Identifying somatic mitochondrial DNA mutations. *Methods in Molecular Biology*. 2022;2493:153–165. doi: 10.1007/978-1-0716-2293-3_10
12. Muro BB, Carnevale RF, Leal DF, Almond GW, Monteiro MS, Poor AP, Schinckel AP, Garbossa CA. The importance of optimal body condition to maximise reproductive health and perinatal outcomes in pigs. *Nutrition Research Reviews*. 2023;36(2):351–371. doi: 10.1017/S0954422422000129
13. Shendakov AI. Assessment of the prolificacy potential in the modern selection of breeding pigs. *Bulletin of Agrarian Science*. 2019;(2):78–81. (In Russ.). doi: 10.15217/ISSN2587-666X.2019.2.77 EDN: PMBAQG
Шендаков А.И. Оценка потенциала многоплодия в современной селекции племенных свиней // Вестник аграрной науки. 2019. № 2 (77). С. 78–81. doi: 10.15217/ISSN2587-666X.2019.2.77 EDN: PMBAQG
14. Pradhan M, Pal A, Samanta AK, Banerjee S, Samanta R. Mutations in cytochrome B gene affect female reproduction of Ghungroo pig. *Theriogenology*. 2018;119:121–130. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.05.015 EDN: YJKPKH
15. Roberts MM, Perkins SD, Anderson BL, Sawyer JT, Brandebourg TD. Characterization of growth performance, pork quality, and body composition in Mangalica pigs. *Foods*. 2023;12(3):554. doi: 10.3390/foods12030554 EDN: WVFKBW
16. Sanchez-Contreras M, Sweetwyne MT, Tsantilas KA, Whitson JA, Campbell MD, Kohn BF, Kim HJ, Hipp MJ, Fredrickson J, Nguyen MM, Hurley JB, Marcinek DJ, Rabinovitch PS, Kennedy SR. The multi-tissue landscape of somatic mtDNA mutations indicates tissue-specific accumulation and removal in aging. *eLife*. 2023;12:e83395. doi: 10.7554/eLife.83395 EDN: KXYZEJ
17. Niu YJ, Zhou W, Nie ZW, Shin KT, Cui XS. Melatonin enhances mitochondrial biogenesis and protects against rotenone-induced mitochondrial deficiency in early porcine embryos. *Journal of Pineal Research*. 2022;68(2): e12627. doi: 10.1111/jpi.12627
18. Kobayashi M, Ito J, Shirasuna K, Iwata H. Comparative analysis of cell-free DNA content in culture medium and mitochondrial DNA copy number in porcine parthenogenetically activated embryos. *The Journal of Reproduction and Development*. 2020;66(6):539–546. doi: 10.1262/jrd.2020-097 EDN: JUOYPT
19. Geng Z, Jin Y, Quan F, Huang S, Shi S, Hu B, Chi Z, Kong I, Zhang M, Yu X. Methoxychlor induces oxidative stress and impairs early embryonic development in pigs. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2023;11:1325406. doi: 10.3389/fcell.2023.1325406 EDN: RPQYLR
20. Zinovieva NA, Gladys EA. Molecular gene diagnostics in pig breeding. In: *Sovremennye dostizheniya i problemy biotekhnologii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh: materialy Mezhdunarodnoi konferentsii [Modern Achievements and Problems of Biotechnology of Agricultural Animals: Materials of the International Conference]*. Dubrovitsy; 2002:44–45.
21. Зинovieва Н.А., Гладырь Е.А. Молекулярная генная диагностика в свиноводстве // Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных: материалы Международной конференции. Дубровицы, 2002. С. 44–45.
22. Sanger F, Nicklen S, Coulson AR. DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1977;74(12):5463–5467. doi: 10.1073/pnas.74.12.5463 EDN: SPCVCL

22. Larson G, Dobney K, Albarella U, Fang M, Matisoo-Smith E, Robins J, Lowden S, Finlayson H, Brand T, Willerslev E, Rowley-Conwy P, Andersson L, Cooper A. Worldwide phylogeography of wild boar reveals multiple centers of pig domestication. *Science*. 2005;307(5715):1618–1621. doi: 10.1126/science.1106927

23. Liu R-P, He S-Y, Wang J, Wang X-Q, Jin Z-L, Guo H, Wang C-R, Xu Y-N, Kim N-H. BDE-47 induces mitochondrial dysfunction and endoplasmic reticulum stress to inhibit early porcine embryonic development. *Animals (Basel)*. 2023;13(14):2291. doi: 10.3390/ani13142291 EDN: MEJOYY

24. Larson G, Albarella U, Dobney K, Rowley-Conwy P, Schibler J, Tresset A, Vigne JD, Edwards CJ, Schlumbaum A, Dinu A, Balaşescu A, Dolman G, Tagliacozzo A, Manaseryan N, Miracle P, Van Wijngaarden-Bakker L, Masseti M, Bradley DG, Cooper A. Ancient DNA, pig domestication, and the spread of the Neolithic into Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007;104(39):15276–15281. doi: 10.1073/pnas.0703411104 EDN: MIPJFF

25. Ramalho-Santos J, Varum S, Amaral S, Mota PC, Sousa AP, Amaral A. Mitochondrial functionality in reproduction: from gonads and gametes to embryos and embryonic stem cells. *Human Reproduction Update*. 2009;15(5):553–572. doi: 10.1093/humupd/dmp016 EDN: NAIEZT

Об авторах:

Акопян Наре Акоповна — кандидат биологических наук, доцент кафедры общей патологии им. В.М. Коропова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — MBA имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: parlenare@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3897-6784 SPIN-код: 2597-3654

Гильдилов Дмитрий Иванович — кандидат ветеринарных наук, заведующий кафедрой общей патологии им. В.М. Коропова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — MBA имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: gildikovdmiv@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9947-5086 SPIN-код: 5832-3693

Селиванова Ирина Радиевна — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры общей патологии им. В.М. Коропова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — MBA имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: ira.selivanova78@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8691-8853 SPIN-код: 7812-3549

About authors:

Akopyan Nare Akopovna — Candidate of Biology Science, Associate Professor of the Department of General Pathology n.a. V.M. Koropov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: parlenare@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3897-6784 SPIN-code: 2597-3654

Gildikov Dmitry Ivanovich — Candidate of Veterinary Science, Head of the Department of General Pathology named after V.M. Koropov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: gildikovdmiv@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9947-5086 SPIN-code: 5832-3693

Selivanova Irina Radiyevna — Candidate of Veterinary Science, Associate Professor of the Department of General Pathology named after V.M. Koropov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: ira.selivanova78@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8691-8853 SPIN-code: 7812-3549

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-471-481

EDN WZGKCP

УДК 636.2.034

Научная статья / Research article

Ассоциация сайтов A80V, R25C, Y7F гена лептина с продолжительностью продуктивного долголетия у коров холмогорской породы

Н.А. Худякова¹  , И.С. Кожевникова^{1,2} , И.А. Классен¹ ,
А.О. Ступина¹ , М.С. Калмыкова¹ 

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, Российская Федерация

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Российская Федерация

 nata070707hudyakova@yandex.ru

Аннотация. В современном молочном скотоводстве актуально изучение генетических факторов, влияющих на продуктивное долголетие и молочную продуктивность крупного рогатого скота. Ген лептина, участвующий в регуляции энергетического обмена, является перспективным маркером для селекции. Однако влияние комплексных генотипов его полиморфизмов (A80V, R25C, Y7F) на продуктивность и долголетие животных изучено недостаточно, что определяет важность данного исследования. Цель исследования — изучить влияние комплексных генотипов гена лептина сайтов A80V, R25C, Y7F на показатели молочной продуктивности и длительности хозяйственного использования крупного рогатого скота холмогорской породы. Исследование проводилось на 207 коровах холмогорской породы, распределенных на группы с разными комплексными генотипами. Для статистического анализа численность животных в сравниваемых группах была уравнена между собой: по 13 голов в каждой группе при изучении пожизненной молочной продуктивности и по 19 голов в каждой группе при оценке длительности использования. Генотипирование проводили методом ПЦР-ПДРФ, а статистическую обработку — с помощью непараметрических методов (U-критерий Манна — Уитни). Анализировали пожизненный суточный удой, содержание жира и белка в молоке, возраст выбытия и пожизненные дойные дни (ПДД). Выявлено, что генотип AVRCYY ассоциирован с максимальным суточным удоем (22,04 кг) и наибольшим количеством ПДД (2032 дня), что свидетельствует о его положительном влиянии на продуктивное долголетие. Наименьшие показатели отмечены у генотипа AVCCYY (194 ПДД). Достоверные различия по содержанию жира в молоке обнаружены между группами AACCCYY, AARCCYY, AARRYY и AVCCYY. Генотип AACCCYY показал наивысшее содержание белка (3,23 %), но наименьший удой. Также выявлены различия в структуре причин выбытия: у животных с сочетанием генотипов AVCCYY преобладали гинекологические заболевания, а у животных с комплексным генотипом AVRCYY — болезни конечностей. Результаты исследования демонстрируют значимость комплексного анализа генотипов гена лептина для селекции молочного скота. Комплексный генотип AVRCYY может быть рекомендован как маркер повышенного продуктивного долголетия.

© Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О., Калмыкова М.С., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: крупный рогатый скот, полиморфизм, комплексные генотипы, удой, жир, белок, длительность хозяйственного использования

Вклад авторов: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О., Калмыкова М.С. — равный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, сбор и обработку материалов, анализ полученных данных, написание текста.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024–0006).

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 6 мая 2025 г., принята к публикации 5 июня 2025 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Классен И.А., Ступина А.О., Калмыкова М.С. Ассоциация сайтов A80V, R25C, Y7F гена лептина с продолжительностью продуктивного долголетия у коров холмогорской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 471–481. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-471-481 EDN: WZGKCP

Association of A80V, R25C, AND Y7F leptin gene sites with productive longevity duration in Kholmogory cows

Natalya A. Khudyakova¹  , Irina S. Kozhevnikova^{1, 2} ,
Inga A. Klassen¹ , Aleksandra O. Stupina¹ , Maria S. Kalmykova¹ 

¹Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russian Federation

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

 nata070707hudyakova@yandex.ru

Abstract. In modern dairy farming, the study of genetic factors affecting the productive longevity and milk productivity of cattle is relevant. The leptin gene, involved in the regulation of energy metabolism, is a promising marker for selection. However, the influence of its polymorphism complex genotypes (A80V, R25C, Y7F) on the productivity and longevity of animals has not been sufficiently studied, which determines the importance of this research. The aim of the study was to investigate the influence of the leptin gene complex genotypes at sites A80V, R25C, Y7F on the milk productivity indicators and the duration of economic use of Kholmogory cattle. The study was conducted on 207 Kholmogory breed cows, divided into groups with different complex genotypes. For statistical analysis, the number of animals in the compared groups was equalized: 13 heads per group for the study of lifetime milk productivity and 19 heads per group for the assessment of the duration of use. Genotyping was performed by PCR-RFLP, and statistical processing was carried out using non-parametric methods (Mann – Whitney U test). Lifetime daily milk yield, milk fat and protein content, age at culling, and lifetime milking days (LMD) were analyzed. It was revealed that the AVRCYY genotype is associated with the maximum daily milk yield (22.04 kg) and the highest number of LMD (2032 days), indicating its positive influence on productive longevity. The lowest indicators were noted for the AVCCYY genotype (194 LMD). Significant differences in milk fat content were found between groups AACCCYY, AARCCYY, AARRYY, and AVCCYY. The AACCCYY genotype showed the highest protein content (3.23%), but the lowest milk yield. Differences in the structure of culling reasons were also identified: gynecological diseases prevailed in animals with the AVCCYY genotype combination, while limb diseases prevailed in animals with the AVRCYY complex genotype. The

results of the study demonstrate the significance of a comprehensive analysis of leptin gene genotypes for dairy cattle selection. The AVRYY genotype can be recommended as a marker for increased productive longevity.

Keywords: cattle, polymorphism, complex genotypes, milk yield, fat, protein, duration of economic use

Authors' contribution: Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Klassen I.A., Stupina A.O., Kalmykova M.S. — equal contribution to the development of the concept and design of the study, collection and processing of materials, analysis of the obtained data, writing the text.

Financing. The article was prepared within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FRCBSA UB RAS) “Molecular-genetic evaluation of farm animals according to breeding and economically useful traits under the conditions of Arctic and subarctic territories of the Russian Federation” (FUUW-2024–0006).

Conflicts of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Article history: received 6 May 2025; accepted 5 June 2025.

For citation: Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Klassen IA, Stupina AO, Kalmykova MS. Association of A80V, R25C, AND Y7F leptin gene sites with productive longevity duration in Kholmogory cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):471–481. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-471-481 EDN: WZGKCP

Введение

Современное молочное скотоводство решает задачу оптимизации продуктивных качеств крупного рогатого скота через совершенствование методов селекции и содержания животных. Ключевым аспектом в данном контексте выступает взаимосвязь между динамикой роста молодняка и его последующей молочной продуктивностью. Как показывают исследования, интенсивность роста в раннем возрасте непосредственно влияет на сроки полового созревания и возможность раннего первого осеменения [1], что в свою очередь оказывает существенное влияние на экономическую эффективность производства молока [2–4].

Важное значение приобретает изучение генетических факторов, определяющих рост и развитие животных. Среди перспективных генетических маркеров особый интерес представляет ген лептина (LEP), кодирующий пептидный гормон, участвующий в регуляции энергетического обмена и влияющий на продуктивное долголетие скота [5, 6]. Структурные особенности данного гена, включающие три экзона [7, 8], и его полиморфизмы, такие как A80V, R25C и Y7F [9], открывают новые возможности для генетической селекции.

Многочисленные исследования демонстрируют значимость генетических маркеров в селекции молочного скота. Отдельные полиморфизмы гена LEP, такие как R25C, оказывают существенное влияние на продуктивные качества крупного рогатого скота. Например, установлено, что гомозиготный генотип CC по локусу R25C ассоциирован с повышенным риском выбраковки животных (в 3,14 раза по сравнению с гетерозиготами), что напрямую влияет на экономику молочных хозяйств [10, 11].

Другое исследование выявило значимые ассоциации полиморфизма A80V с функциональным долголетием коров, а также влияние генотипов отцов по гену LEP на передаваемые дочерям признаки молочной продуктивности [12]. В ра-

ботах зарубежных авторов отмечается, что носительство определенных аллелей (V, C, F) может негативно сказываться на продолжительности хозяйственного использования животных [11, 13].

Однако вопросы влияния комплексных генотипов по SNP A80V, R25C и Y7F гена LEP на пожизненную молочную продуктивность и здоровье животных изучены недостаточно.

В доступной литературе преобладают данные по изолированному анализу отдельных полиморфизмов, тогда как их комбинированный эффект требует дополнительного изучения. Особую актуальность приобретает исследование взаимодействия этих генетических вариантов, поскольку, определенные сочетания аллелей (например, CCYF, CCFF и RCFF) могут приводить к негативным последствиям на различных этапах онтогенеза [14].

Цель исследования — изучение влияния комплексных генотипов гена LEP сайтов A80V, R25C, Y7F на показатели молочной продуктивности и длительности хозяйственного использования крупного рогатого скота холмогорской породы.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования стало маточное поголовье крупного рогатого скота холмогорской породы, содержавшееся в АО «Холмогорский племязавод» и выбывшее в период 2023–2024 гг. Количество исследуемых животных — 207 голов. Однако для повышения статистической достоверности из анализа были исключены группы животных, представленные выборками менее 13 особей при расчетах показателей молочной продуктивности и менее 19 особей при анализе возраста выбытия и пожизненных дойных дней. В результате, итоговая численность животных, включенных в анализ, составила 65 при расчетах показателей молочной продуктивности и 95 голов при анализе возраста выбытия и пожизненных дойных дней.

Для обеспечения корректности статистических расчетов и повышения точности результатов, обработке подвергли данные по 5 генотипическим группам (AACCYY, AARCY, AARRY, AVCCYY, AVRYY), поскольку только эти группы имели достаточную численность выборки, обеспечивающую статистическую достоверность результатов. С целью повышения точности сравнительного статистического анализа сформировали группы с равным количеством животных.

Для уравнивания численности анализируемых групп было применено рандомизированное уравнивание объемов выборок с помощью программного обеспечения Microsoft Excel.

Получение биологического материала (крови) осуществляли ветеринарные врачи с использованием вакуумных пробирок с КЗ ЭДТА. Выделение ДНК проводили коммерческим набором «МагноПрайм ВЕТ» в соответствии с протоколом.

Генотипирование поголовья крупного рогатого скота осуществлено методом ПЦР-ПДРФ [11]. Применяли следующие режимы амплификации: SNP A80V (F: 5'-CAAGCAGGAAATAGGGAGTCATGG-3' и R: 5'-CTGGTGAGGATCTGTTGGTAGGTC-3') — 1 цикл 95 °C 3 мин, 32

цикла 95 °С 30 с / 67 °С 30 с / 72 °С 30 с, 1 цикл 72 °С 7 мин; SNPs R25C (F: 5'-CCAGGGAGTGCCTTTCATTA-3' и R: 5'-GGTGTATCCTGGACCTTCC-3') и Y7F (F: 5'-CTGCGTGGTCTACAGCACACCTC-3' и R: 5'-AGGGCCAAAGCCACAGGATTCG-3') — 1 цикл 94 °С 2 мин, 29 циклов 94 °С 20 с / 62 °С 20 с / 72 °С 30 с, 1 цикл 72 °С 5 мин.

При генотипировании по SNPs A80V и R25C электрофоретического разделение продуктов рестрикции производилось в 2%-м агарозном геле, по SNP Y7F — в 6%-м полиакриламидном геле.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы IBM SPSS Statistics. Учитывая ненормальное распределение показателей, для описания количественных переменных применялись медианные значения Me с указанием нижнего и верхнего квартилей Q1— Q3. Сравнительный анализ независимых выборок проводили с использованием непараметрического U-критерия Манна — Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Из 27 теоретически возможных аллельных комбинаций полиморфных сайтов A80V, R25C и Y7F гена LEP выявлено 12 вариантов. Дальнейшей обработке подверглись данные по 5 генотипическим группам (AACCCYY, AARCCYY, AARRYY, AVCCYY, AVRCCYY).

Мы проанализировали показатели пожизненной молочной продуктивности у коров холмогорской породы с разными аллельными сочетаниями генотипов (табл. 1).

Таблица 1

Показатели пожизненной молочной продуктивности и аллельные сочетания сайтов A80V, R25C и Y7F гена лептина у коров холмогорской породы, Me (Q1; Q3)

Генотипы	Пожизненная массовая доля жира, %	Пожизненная массовая доля белка, %	Пожизненный суточный удой, кг
AACCCYY	3,91 (3,65; 4,23) *	3,23 (3,00; 3,35)	19,59 (17,91; 21,81)
n	13	13	13
AARCCYY	3,56 (3,45; 3,62) *	3,14 (3,06; 3,29)	20,99 (18,33; 22,28)
n	13	13	13
AARRYY	3,69 (3,59; 3,96) *	3,11 (3,00; 3,20)	21,63 (20,91; 24,20)
n	13	13	13
AVCCYY	4,03 (3,59; 4,56) *	3,18 (3,06; 3,26)	21,31 (19,68; 22,02)
n	13	13	13
AVRCCYY	3,72 (3,39; 4,02)	3,19 (3,09; 3,27)	22,04 (20,89; 24,16)
n	13	13	13

Примечание. * — отмечены достоверные различия между группами ($p \leq 0,05$); — обозначены группы, между которыми обнаружены различия.

Источник: составлено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, И.А. Классен, А.О. Ступиной, М.С. Калмыковой.

Table 1

Lifetime milk productivity indicators and allelic combinations of sites A80V, R25C and Y7F of the leptin gene in Kholmogory cows, Me (Q1; Q3)

Genotypes	Lifetime mass fraction of fat, %	Lifetime mass fraction of protein, %	Lifetime daily milk yield, kg
AACCCYY	3.91 (3.65; 4.23) *	3.23 (3.00; 3.35)	19.59 (17.91; 21.81)
n	13	13	13
AARCCYY	3.56 (3.45; 3.62) *	3.14 (3.06; 3.29)	20.99 (18.33; 22.28)
n	13	13	13
AARRYY	3.69 (3.59; 3.96) *	3.11 (3.00; 3.20)	21.63 (20.91; 24.20)
n	13	13	13
AVCCYY	4.03 (3.59; 4.56) *	3.18 (3.06; 3.26)	21.31 (19.68; 22.02)
n	13	13	13
AVRCYY	3.72 (3.39; 4.02)	3.19 (3.09; 3.27)	22.04 (20.89; 24.16)
n	13	13	13

Note. * – significant differences between groups ($p \leq 0.05$) are indicated; [– groups between which differences were found are indicated.

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, I.A. Klassen, A.O. Stupina, M.S. Kalmykova.

Анализ представленных данных демонстрирует, что максимальный пожизненный суточный удой, равный 22,04 кг, отмечен у животных с комплексным генотипом AVRCYY, он превышает показатель группы с сочетанием генотипов AACCCYY, который характеризуется наименьшим удоём (19,59 кг). В группе AACCCYY, показывающей наименьшую продуктивность, наблюдалось наиболее высокое среднее содержание белка в молоке, составляющее 3,23 % за весь период лактации в стаде.

Также, достаточно высокое содержание белка было получено у коров в группе с комплексным генотипом AVRCYY, животные которой показали максимальный суточный пожизненный удой. Необходимо отметить, что достоверных различий по пожизненному суточному удою и среднему значению содержания белка в молоке между группами с разными комплексными генотипами получено не было. Однако, в ходе статистического анализа влияния комплексных генотипов на содержание жира в молоке получено достоверные различия между группами со следующими генотипами: AACCCYY и AARCCYY, AARCCYY и AARRYY, AARCCYY и AVCCYY.

Наивысшие показатели по содержанию жира получены в группах у животных, имеющих генотипы AVCCYY и AACCCYY, в которых изучаемый показатель составил 4,03 и 3,91 % соответственно. Эти данные достоверно отличались от показателя группы коров с генотипом AARCCYY. В этой группе коровы имели наименьшее содержание жира в молоке за все периоды лактации — 3,56 %. В группе животных с генотипом AVRCYY, где среднее содержание жира составило 3,72 %, не получено достоверных различий с другими группами.

Данные о возрасте выбытия и пожизненных дойных днях (ПДД) коров холмогорской породы с различными комплексными генотипами гена лептина приведены в табл. 2. Показатель ПДД — суммарное количество дней лактационной активности

особи за весь период ее хозяйственного использования — служит важным критерием оценки продолжительности продуктивного долголетия животных. Возраст выбытия в отелах характеризует продуктивное долголетие коровы и определяется количеством отелов за период ее использования до момента выбытия из стада.

Таблица 2

Показатели длительности использования коров у групп с комплексными генотипами сайтов A80V, R25C и Y7F гена лептина, Me (Q1; Q3)

Комплексный генотип	Пожизненные дойные дни	Возраст выбытия в отелах
AACCYY	714,50 (621,75; 1202,75)*	3,00 (2,75; 4,25)*
n	19	19
AARCCY	782,00 (304,00; 1567,00)*	3,00 (1,00; 6,00)
n	19	19
AARRYY	1112,50 (745,50; 1357,00)*	3,00 (4,00; 7,00)*
n	19	19
AVCCYY	194,00 (135,00; 930,00)*	1,00 (1,00; 3,00)*
n	19	19
AVRCYY	2032,00 (469,00; 2201,00)*	7,00 (1,00; 8,00)*
n	19	19

Примечание. * отмечены достоверные различия между группами ($p \leq 0,05$); [— обозначены группы, между которыми обнаружены различия.

Источник: составлено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, И.А. Классен, А.О. Ступиной, М.С. Калмыковой.

Table 2

Cow utilization rates in groups with complex genotypes of A80V, R25C and Y7F sites of the leptin gene, Me (Q1; Q3)

Complex genotype	Lifetime milking days	Age of departure in calvings
AACCYY	714.50 (621.75; 1202.75)*	3.00 (2.75; 4.25)*
n	19	19
AARCCY	782.00 (304.00; 1567.00)*	3.00 (1.00; 6.00)
n	19	19
AARRYY	1112.50 (745.50; 1357.00)*	3.00 (4.00; 7.00)*
n	19	19
AVCCYY	194.00 (135.00; 930.00)*	1.00 (1.00; 3.00)*
n	19	19
AVRCYY	2032.00 (469.00; 2201.00)*	7.00 (1.00; 8.00)*
n	19	19

Note. * marked significant differences between groups ($p \leq 0.05$); [— the groups between which differences were found are labelled

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, I.A. Klassen, A.O. Stupina, and M.S. Kalmykova.

Наиболее продолжительным периодом хозяйственного использования, выраженном в количестве дойных дней, характеризовались животные с комплексным генотипом AVRCYY. Коровы с представленным генотипом в своей выборке имели медиану, равную 2032,00, что в 2–3 раза больше, чем у остальных сочетаний генотипов. Кроме того, представленная комбинация генотипов достоверно больше, чем у группы животных с сочетанием генотипов AVCCYY. Аналогичная закономерность наблюдалась при анализе параметра «возраст выбытия в отелах». Полученные результаты свидетельствуют о том, что генотип AVRCYY ассоциирован с повышенными показателями продуктивного долголетия у крупного рогатого скота.

Группа особей с генотипом AARRYU показывает среднее значение, равное 1112,50 дойным дням, что является вторым по величине показателем, имеющим достоверную разницу с группой животных с комбинацией генотипов AVCCYY. Медиана показателя возраста выбытия в группе AARRYU составляет 3 отела, что в свою очередь является самым распространенным значением среди большинства групп. Достоверное различие отмечено с группой животных, несущих комплексный генотип AVCCYY.

Особь, обладающие сочетаниями генотипов AACCYY и AARCYU, имеют похожее значения ПДД — 714,50 и 782,00 соответственно, а также чаще всего выбывали в начале 3 отела.

Наименьшее количество ПДД (всего 194 дойных дня) и возраст выбытия (1 отел) имели животные с комбинацией генотипов AVCCYY. Статистически значимые различия с AACCYY, AARCYU, AARRYU и AVRCYY подчеркивают ее неблагоприятное влияние на длительность продуктивного долголетия.

Анализ причин выбытия коров холмогорской породы в зависимости от их генотипов сайтов A80V, R25C и Y7F по гену лептина выявил межгрупповые различия в структуре заболеваний/причин выбытия. Наибольшая доля выбытия по гинекологическим причинам отмечена у животных с генотипом AVCCYY (47,37 %), тогда как минимальные показатели отмечены в группе AARRYU (17,24 %). При этом генотип AARCYU характеризовался максимальной частотой болезней молочной железы (30,00 %), что почти в два раза превышает данный показатель у AVCCYY (15,79 %). Особого внимания заслуживает группа животных с комплексным генотипом AVRCYY, показывающая наивысшую частоту заболеваний конечностей (36,84 %) при относительно низком уровне гинекологических заболеваний (21,05 %).

Нарушения обмена веществ наиболее выражены у AARCYU (4,00 %), тогда как в группах особей с сочетаниями генотипов AVCCYY и AVRCYY подобные случаи не зафиксированы. Болезни пищеварительной системы встречались с низкой частотой почти во всех группах (2,56...5,26 %), а болезни дыхательной системы были отмечены лишь единично (1,00 % у AARCYU).

Заключение

Таким образом, результаты исследования показывают, что анализ частотного распределения генотипов выявил преобладание пяти вариантов аллельных сочетаний (AACCYY, AARCYU, AARRYU, AVCCYY, AVRCYY) по сайтам A80V,

R25C и Y7F гена лептина в исследуемой выборке холмогорского скота. Наивысший пожизненный суточный удой отмечен у животных с комплексным генотипом AVRCCY, который составил 22,04 кг, данный показатель на 2,81 кг, превышает группу животных с сочетанием генотипов AACCCY, который имел наименьший пожизненный суточный удой (19,59 кг). Однако животные в этой группе с генотипом AACCCY за весь период жизни имели наивысшее среднее содержание белка в молоке, среднее значение которого составило 3,23 %. Достоверные различия обнаружены по содержанию жира в молоке между группами со следующими генотипами — AACCCY и AACRCY, AACRCY и AACRRY, AACRCY и AVCCY.

Наиболее продолжительным периодом продуктивного долголетия характеризовались животные с комплексным генотипом AVRCCY, который также характеризовались самым высоким значением пожизненного суточного удоя в изучаемой выборке животных.

Комплексное изучение взаимодействия полиморфизмов гена лептина представляет значительный научный и практический интерес. Полученные данные могут стать основой для разработки более эффективных стратегий генетического отбора, направленных на улучшение продуктивных качеств и повышение длительности использования молочного скота.

Список литературы

1. Часовицкова М.А., Козлов К.А. Продуктивное долголетие коров черно-пестрой породы в зависимости от возраста и живой массы при первом осеменении // *Агропродовольственная политика России*. 2021. № 4. С. 37–40. EDN: XNCIZG
2. Wangchuk K., Wangdi J., Mindu M. Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight // *Journal of Applied Animal Research*. 2018. Vol. 46. № 1. P. 349–352. doi: 10.1080/09712119.2017.1302876
3. Панков М.Н., Смолина В.С., Ступина А.О., Классен И.А., Спаский Е.А. Бета-казеин коровьего молока и его влияние на организм человека (обзор) // *Журнал медико-биологических исследований*. 2024. Т. 12. № 3. С. 411–418. doi: 10.37482/2687-1491-Z207 EDN: QWJTGF
4. Ковалюк Н.В., Гырнец Е.А. Полиморфизм аллелей гена Lер как генетический маркер функционального долголетия крупного рогатого скота айрширской породы // *Univsum: химия и биология*. 2016. № 6 (24). С. 1–6. URL: <http://7univsum.com/ru/nature/archive/item/3257> EDN: WAIRVB
5. Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Ступина А.О., Классен И.А., Кашин А.С. Динамика живой массы коров холмогорской породы по полиморфизму гена лептина // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025. Т. 26. № 1. С. 158–165. doi: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.158-165 EDN: RPVEBM
6. Комендант Т.М., Епишко О.А., Чебуранова Е.С. Оптимизация методики выявления полиморфизмов гена лептина (LEP), влияющего на продуктивное долголетие крупного рогатого скота // *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*. 2017. № 37. С. 99–105. EDN: YOZAZO
7. Щеголев П.О., Сабетова К.Д., Чаицкий А.А., Сорокина А. Связь полиморфизма гена лептина (LEP) с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2021. № 1 (1). С. 25–32. doi: 10.52025/2712-8679_2021_01_25 EDN: HBJLBZ
8. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К., Варламова М.И. Влияние полиморфизма гена лептина (LEP) на молочную и мясную продуктивность коров-первотелок голштинской породы // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2021. Т. 245. № 1. С. 24–28. doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28 EDN: ZRWONH
9. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В., Морковкина Н.А., Шахназарова Ю.Ю. Использование полиморфизма локуса LEP в селекции чернопестрого скота // *Молочное и мясное скотоводство*. 2017. № 3. С. 14–16. EDN: YTDPRG
10. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms on functional traits in Polish Holstein-Friesian cattle // *Animal Science Papers and Reports*. 2010. Vol. 28. P. 133–141.

11. Szyda J., Morek-Kopec M., Komisarek J., Zarnecki A. Evaluation markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle // *BMC Genetics*. 2011. Vol. 12. P. 3. doi: 10.1186/1471-2156-12-30 EDN: OAQCYN
12. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Мачульская Е.В., Шахназарова Ю.Ю. Связь полиморфизма локусов R25C и A80V гена лептина с хозяйственно-ценными признаками у крупного рогатого скота голштинской породы // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2017. Т. 6. № 3. С. 16–21. EDN: VRCCIP
13. Yoon D.H., Cho B.H., Park B.L., Choi Y.H., Cheong H.S., Lee H.K., Chung E.R., Cheong I.C., Shin H.D. Highly Polymorphic Bovine Leptin Gene // *Journal of Animal Science*. 2005. Vol. 18. № 11. P. 1548–1551. doi: 10.5713/ajas.2005.1548
14. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Волченко А.Е., Мачульская Е.В., Шахназарова Ю.Ю. Использование полиморфизма локуса лептина в селекции крупного рогатого скота айрширской породы // Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 6. С. 13–15. EDN: SQJJJN
15. Szyda J. Statistical modeling of candidate gene effects on milk production traits in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90. № 6. P. 2971–2979. doi: 10.3168/jds.2006-724

References

1. Chasovchshikova MA, Kozlov KA. Productive longevity of the black-and-white breed of cows in relation to age and live weight at the first insemination. *Agro-food Policy in Russia*. 2021;(4):37–40. (In Russ.). EDN: XNCIZG
2. Wangchuk K, Wangdi J, Mindu M. Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. *Journal of Applied Animal Research*. 2018;(46):349–352. doi: 10.1080/09712119.2017.1302876
3. Pankov MN, Smolina VS, Stupina AO, Klassen IA, Spasskiy EA. Beta-casein of cow's milk and its effects on the human body (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2024;12(3):411–418. (In Russ.). doi: 10.37482/2687-1491-Z207 EDN: QWJTGF
4. Kovalyuk N, Gyrnets E. Polymorphism of lep gene allele as a genetic marker of functional longevity of ayrshire cattle. *Universum: Chemistry and Biology*. 2016;(6):1–6. (In Russ.). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3257> EDN: WAIRVB
5. Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Stupina AO, Klassen IA, Kashin AS. Dynamics of the development of live weight in cows of the Kholmogory breed according to the polymorphism of the leptin gene. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(1):158–165. (In Russ.). doi: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.158-165 EDN: RPVEBM
6. Komendant TM, Epishko OA, Cheburanova ES. Optimization of the method of detecting polymorphisms of the leptin gene (LEP), affecting the productive longevity of cattle. *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*. 2017;(37):99–105. (In Russ.). EDN: YOZAZO
7. Shchegolev PO, Sabetova KD, Chaitskiy AA, Sorokina A. Relationship of leptin gene polymorphism (LEP) with economically useful traits of cattle. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Region*. 2021;(1):25–32. (In Russ.). doi: 10.52025/2712-8679_2021_01_25 EDN: HBJLBZ
8. Gaynutdinova ER, Safina NYU, Shakirov SHK, Varlamova MI. Influence of leptin (LEP) gene polymorphism on dairy and meat productivity of Holstein heifers. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. 2021;245(1):24–28. (In Russ.). doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-24-28 EDN: ZRW0HH
9. Kovalyuk NV, Satsuk VF, Machulskaya EV, Morkovkina NA, Shakhnazarova YY. Use of polymorphism at loci of LEP in breeding of Black-Motley cattle. *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2017;(3):14–16. (In Russ.). EDN: YTDPRG
10. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms on functional traits in Polish Holstein-Friesian cattle. *Animal Science Papers and Reports*. 2010;28:133–141.
11. Szyda J, Morek-Kopec M, Komisarek J, Zarnecki A. Evaluation markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle. *BMC Genetics*. 2011;12:3. doi: 10.1186/1471-2156-12-30 EDN: OAQCYN
12. Kovalyuk NV, Satsuk VF, Machulskaya EV, Shakhnazarova YuYu. Relationship of polymorphism of R25C locus and A80V leptin gene with agriculturally valuable traits in Holstein cattle. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2017;6(3):16–21. (In Russ.). EDN: VRCCIP
13. Yoon DH, Cho BH, Park BL, Choi YH, Cheong HS, Lee HK, Chung ER, Cheong IC, Shin HD. Highly polymorphic bovine leptin gene. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 2005;18(11):1548–1551. doi: 10.5713/ajas.2005.1548
14. Kovalyuk NV, Satsuk VF, Volchenko AE, Machulskaya EV, Shahnazarova JJ. Using of polymorphism of the leptin locus in breeding of cattle of ayrshire breed. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2014;(6):13–15. (In Russ.). EDN: SQJJJN

15. Szyda J. Statistical modeling of candidate gene effects on milk production traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(6):2971–2979. doi: 10.3168/jds.2006-724

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-код: 3906-2286

Кожевникова Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, заведующая лабораторией лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Архангельск, 163002, Набережная Северной Двины, д. 17; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-код: 2441-2363

Класен Инга Андреевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; E-mail: klassening@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4421-6087 SPIN-код: 5343-4901

Ступина Александра Олеговна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; e-mail: sashaatupina6@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7664-3684 SPIN-код: 4712-2893

Калмыкова Мария Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Российская Федерация, 163000, г. Архангельск, проспект Никольский, д. 20; e-mail: kalmykova.m@edu.narfu.ru

ORCID: 0009-0000-0404-4631 SPIN-код: 3670-8226

About the authors:

Khudyakova Natalya Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-code: 3906-2286

Kozhevnikova Irina Sergeevna — Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Federation, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; Associate Professor, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-code: 2441-2363

Klassen Inga Andreevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; E-mail: klassening@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4421-6087 SPIN-code: 5343-4901

Stupina Aleksandra Olegovna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: sashaatupina6@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7664-3684 SPIN-code: 4712-2893

Kalmykova Maria Sergeevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Prospekt, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; email: kalmykova.m@edu.narfu.ru

ORCID: 0009-0000-0404-4631 SPIN-code: 3670-8226



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-482-496

EDN YAZSMK

УДК 636.92:619:616.33:617

Научная статья / Research article

Экспериментальное обоснование применения хирургических клеев на желудке у кроликов

К.Т. Инапшба¹  , М.Д. Качалин¹ ,
Е.Н. Борхунова¹, Н.В. Кислиновская²

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА
имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация

²Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии
им. А.Н. Бакулева Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва,
Российская Федерация

 kristinavet98@mail.ru

Аннотация. Широко распространяется применение дополнительных методов улучшения гемостаза для профилактики послеоперационных осложнений. Так в сердечно-сосудистой хирургии применяется герметизация ран с помощью хирургических клеев, но данный способ редко используется при операциях на желудочно-кишечном тракте. Изучены различные хирургические клеи, рассмотрены разные методы закрытия гастротомной раны у кроликов с применением таких хирургических клеев, как латексный тканевой и желатино-резорциновый. Приведена сравнительная характеристика клеев на основе оценки результативности применения с учетом клинических, патологоанатомических и гистологических исследований. В качестве объектов отобраны клинически здоровые лабораторные животные (кролики), оперативное вмешательство проведено идентично во всех группах, но с использованием двух разных хирургических клеев. Всем животным проводился клинический осмотр в послеоперационный период, патологоанатомические, гистологические и гематологические исследования. С помощью последних установили, что отсутствует связь между выбором хирургического клея и показателями крови. Сделан

© Инапшба К.Т., Качалин М.Д., Борхунова Е.Н., Кислиновская Н.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

вывод: оптимальным выбором для дополнительной герметизации швов является желатин-резорциновый хирургический клей. Исследование проведено на кафедре ветеринарной хирургии Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина.

Ключевые слова: кишечные швы, гастротомия, шовный материал

Вклад авторов: Авторы в равной степени внесли свой вклад в подготовку данного исследования и написания текста.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 5 июня 2025 г., принята к публикации 8 июля 2025 г.

Для цитирования: Инапшба К.Т., Качалин М.Д., Борхунова Е.Н., Кислиновская Н.В. Экспериментальное обоснование применения клеевых композитов на желудке у кроликов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 482–496. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-482-496 EDN: YAZSMK

Experimental validation of the use of surgical adhesives on the stomach in rabbits

Kristina T. Inapshba¹  , Mikhail D. Kachalin¹ ,
Elena N. Borhunova¹, Natalia V. Kislinovskaya²

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K.I. Skryabin,
Moscow, Russian Federation

²A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery of the Russian
Ministry of Health, Moscow, Russian Federation
 kristinavet98@mail.ru

Abstract. The application of supplementary hemostatic techniques for the prevention of postoperative complications is becoming increasingly widespread. In cardiovascular surgery, wound sealing using surgical adhesives has proven effective; however, this method is rarely applied in gastrointestinal procedures. The present study examined various surgical adhesives and evaluated different approaches to closing gastrotomy wounds in rabbits using latex-based tissue adhesive and gelatin-resorcinol adhesive. A comparative analysis of these adhesives was performed based on their clinical efficacy, as well as pathological and histological findings. Clinically healthy laboratory rabbits were selected as experimental subjects. Surgical interventions were performed identically across all groups, with the only difference being the type of adhesive used. Postoperative monitoring included clinical examinations, pathological assessments, histological analyses, and hematological testing. Hematological studies revealed no correlation between the type of surgical adhesive and blood parameters. The study concludes that gelatin-resorcinol surgical adhesive represents the optimal choice for additional sealing of sutures. The research was conducted at the Department of Veterinary Surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin.

Keywords: intestinal sutures, gastrotomy, suture material

Authors' contribution: The authors contributed equally to the preparation of this study and writing of the text.

Conflicts of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Article history: received 5 June 2025; accepted 8 July 2025.

For citation: Inapshba KT, Kachalin MD, Borkhunova EN, Kislinovskaya NV. Experimental validation of the use of adhesive composites on the stomach of rabbits. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3):482–496. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-482-496 EDN: YAZSMK

Введение

В ветеринарии и медицине при выполнении операций на органах желудочно-кишечного тракта активно применяется большое количество методов закрытия операционной раны. Хирурги разных школ и уровней подготовки могут в своей работе использовать как различные шовные материалы, так и различные виды кишечных швов. К тому же часто применяются и продолжают совершенствоваться клеевые композиты, которые позволяют улучшить герметичность операционной раны в комплексе со швами и доказывающие высокую эффективность. К примеру, при завороте желудка нередко приходится проводить спленэктомию, при неправильном наложении лигатур есть риск кровотечения из селезеночной артерии, благодаря использованию хирургических клеев можно профилактировать данное осложнение [1, 2].

Однако, при использовании клеевых композитов есть специфические осложнения в виде некроза окружающих тканей, отторжения клеевых пленок, раннего послеоперационного ослабления швов ввиду химических реакций с шовным материалом [3, 4].

В связи с этим мы рассмотрели наиболее перспективные виды клеевых композитов, провели сравнение их характеристик и эффективности применения для обоснования оптимального выбора при операциях на желудке.

Цель исследования — представить сравнительную макро- и микроморфологическую характеристику изменений стенки желудка у кроликов при использовании клеевых композитов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на кафедре ветеринарной хирургии и кафедре анатомии и гистологии животных имени проф. А.Ф. Климова Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина в 2024–2025 гг.

Объектом исследования явились кролики породы Советская шиншилла ($n = 24$), средняя масса тела которых составила $5,8 \pm 0,2$ кг, возраст которых находился в пределах от 10 до 12 месяцев. Животные подвергались четырехнедельному карантинированию, на момент эксперимента были клинически здоровы и разделены на 2 группы — по 7 самцов и 5 самок в каждой группе.

В качестве премедикации за 15 минут всем животным вводили раствор атропина сульфата 0,1% в дозе 0,25 мг/кг, а также раствор димедрола 1% в дозе 5 мг/кг [5, 6]. Ввиду физиологических особенностей пищеварения [7], у целевого вида

животных предоперационная водно-голодная диета не может быть соблюдена, поэтому за 3 суток до оперативного вмешательства всех кроликов переводили на грубые корма, а также применяли препарат метоклопрамид в дозе 0,5 мг/кг 1 раз в сутки в качестве профилактики послеоперационной атонии, как наиболее частого осложнения после выполнения общего наркоза.

Вводную анестезию, а затем и в качестве системного анальгетика использовали препарат Золетил в дозе 5,0...10,0 мг/кг внутримышечно. После наступления хирургической стадии общей анестезии переводили животных на ингаляционную анестезию с использованием препарата Изофлюран, МАК 2% и скоростью потока кислорода от 1 до 2 л/мин. Подача ингаляционного анестетика осуществлялась при помощи специальной маски для животных (масочный наркоз).

У всех экспериментальных животных после создания гастротомной раны по большой кривизне желудка мы накладывали кишечные швы по Пирогову полифиламентной рассасывающейся нитью ПГА 5/0 [8–11].

В эксперименте нами применялись два вида клеевых композитов:

– латексный тканевой клей, который применяется для герметизации анастомозов и ушитых ран полых органов, остановки паренхиматозных кровотечений и покрытия раневых поверхностей паренхиматозных органов. В его состав входит акрилатный латекс, поливиниловый спирт, аминокaproновая кислота и хлоргексидин;

– двухкомпонентный желатино-резорциновый глутарово-формальдегидный клей, который успешно применяется в реконструктивной хирургии сердца и сосудов в качестве герметизирующего средства для предотвращения кровотечений из мест хирургических проколов и анастомозов, для фиксации и склеивания тканей. Первый компонент — основа клея, второй — отвердитель. Основа состоит из двух видов желатина, отличающихся по молекулярной массе и резорцина. Отвердитель представляет собой водный раствор глутарового альдегида и формальдегида [12–14].

В обеих экспериментальных группах животных после наложения швов на желудке их дополнительно фиксировали испытуемыми хирургическими клеевыми адгезивами. Для этого предварительно высушивали марлевыми салфетками область гастротомной раны, наносили поверх основных швов клеевую композицию и соблюдали экспозицию в 5 минут до момента формирования клеевой пленки (табл.).

Формирование экспериментальных групп

№ группы	Количество животных, голов	Метод оперативного вмешательства
1	12	Наложение прерывного шва по Пирогову с применением латексного тканевого хирургического клея
2	12	Наложение прерывного шва по Пирогову с применением желатино-резорцинового хирургического клея

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Formation of experimental groups

Group No	Number of animals, heads	Surgical method
1	12	Application of interrupted Pirogov sutures using latex-based tissue surgical adhesive
2	12	Application of interrupted Pirogov sutures using gelatin-resorcinol surgical adhesive

Source: complied by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

В день проведения хирургического вмешательства, а также, на 3-и, 7-е, 14-е, и 30-е сутки после операции проводили клинический осмотр экспериментальных животных, осмотр места наложения кожных швов на вентральной брюшной стенке, оценивали степень боли по шкале Rabbit Grimace Scale (RbtGS) Manual [15], после чего проводили взятие крови на общеклинический анализ и биохимические исследования из краевой вены уха. На тех же послеоперационных сроках осуществляли выведение животных из эксперимента в соответствии с рекомендациями коллегии Евразийской экономической комиссии от 14 ноября 2023 г. № 33 «О руководстве по работе с лабораторными (экспериментальными) животными при проведении доклинических (неклинических) исследований». После этого осуществляли взятие аутопсий биоптатов из области наложенного хирургического шва на желудке для проведения микроморфологических исследований, предварительно материал фиксировали в 10%-м растворе формалина.

Гистопрепараты окрашивали гематоксилином и эозином, чтобы выявить общую морфологическую картину, по Ван-Гизону — для визуализации соединительнотканного компонента и альциановым синим — для оценки репарации фундальных желез и других железистых компонентов стенки желудка. Микроморфологические исследования проводили на микроскопе Jenamed-2, совмещенном с системой анализа цифрового ImageScope, позволяющего проводить статистическую обработку цифровых данных.

Результаты исследования и обсуждение

В результате гематологических исследований значимых изменений показателей крови в общеклиническом анализе и биохимическом составе плазмы мы не выявили, и все показатели находились в пределах нормальных референсных значений.

Результаты патологоанатомических исследований выявили общие закономерности. При внутреннем осмотре брюшной полости у всех групп анатомическое расположение органов было правильным, без патологических смещений; брюшина гладкая, блестящая; большой сальник умеренно гиперемирован в области оментопексии шва; желудок умеренно наполнен, правильной анатомической формы; спаечных процессов не наблюдается, а сосуды желудка характеризовались как умеренно кровенаполненные (рис. 1, 2).



Рис. 1. Макрокартина желудка кролика на 3 сутки после эксперимента. Область шва отечна, без признаков септического воспаления и некротических изменений. Стрелками указаны точечные геморрагии, располагающиеся билатерально в областях расположения нитей
Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 1. Macroscopic view of a rabbit stomach on day 3 after the experiment. The suture area is edematous, with no signs of septic inflammation or necrotic changes. Arrows indicate pinpoint hemorrhages located bilaterally in the regions of suture placement

Source: compiled by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

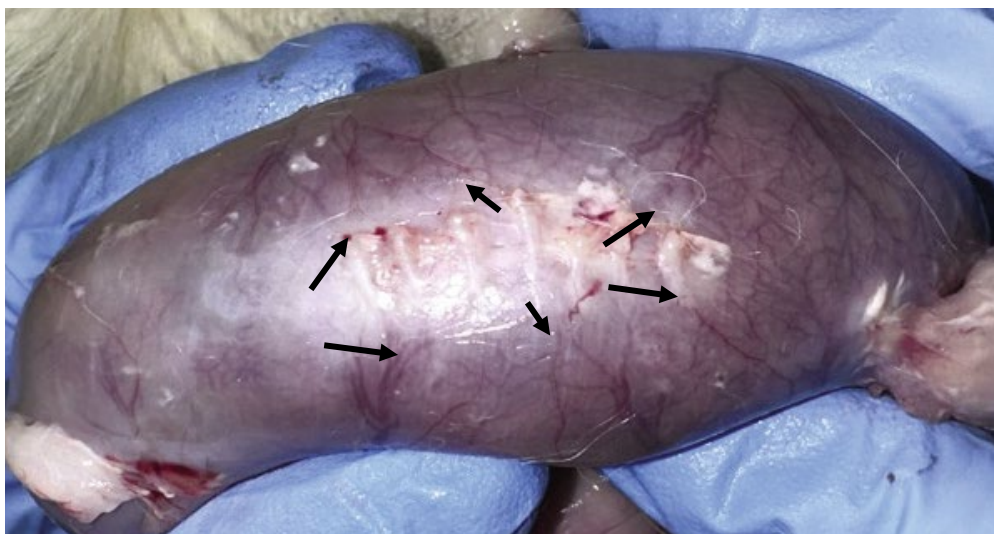


Рис. 2. Макрокартина желудка кролика на 30-е сутки после эксперимента. Область шва без признаков воспалительного процесса, стрелками показаны умеренно кровенаполненные сосуды
Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 2. Macroscopic view of a rabbit stomach on day 30 after the experiment. The suture area exhibits no signs of inflammation; arrows indicate moderately congested blood vessels

Source: compiled by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

Результаты микроморфологических исследований. На 3-и сутки после гастро-томии у животных из первой экспериментальной группы, в которой применяли латексный клей, мы регистрировали значительные диастазы, заполненные клеевым композитом, которые распространялись на слизистую оболочку, подслизистую основу, вплоть до мышечной оболочки (рис. 3, 4). Пласты гладких миоцитов мышечной оболочки в области наложение шва вворачивались во внутрь, что наряду с отсутствием сближения краев раны вышележащих оболочек приводило к неправильному сопоставлению краев. В области репарации визуализировали грануляции с признаками воспалительной инфильтрации. Все это, очевидно, обусловлено особенностями применяемого шва в комбинации с данным клеевым материалом.

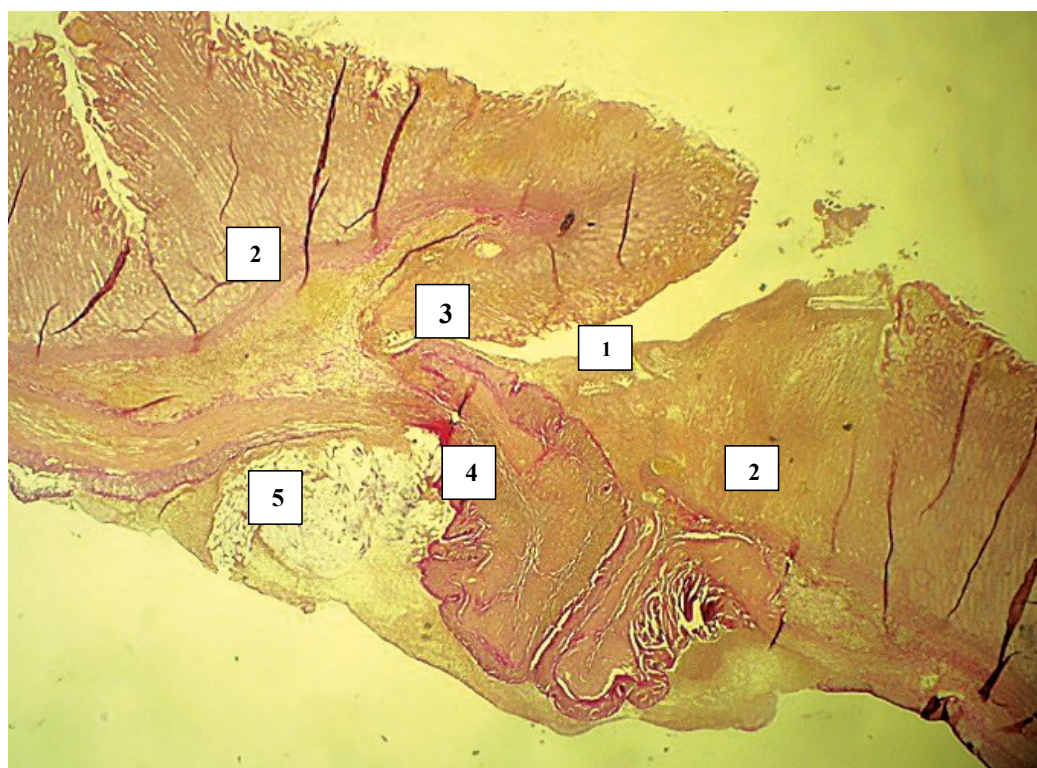


Рис. 3. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы № 1 (латексный тканевый композит) на 3-и сутки эксперимента: 1 — диастаз в области слизистой оболочки, заполненный клеевым композитом; 2 — слизистая оболочка желудка; 3 — подслизистая основа; 4 — мышечная оболочка; 5 — шовный материал. Ван-Гизон, $\times 32$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 3. Micromorphological structure of the gastric wall of a rabbit from group 1 (latex-based tissue composite) on day 3 of the experiment: 1 — diastasis in the mucosal region filled with adhesive composite; 2 — gastric mucosa; 3 — submucosal layer; 4 — muscular layer; 5 — suture material. Van Gieson stain, $\times 32$

Source: compiled by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

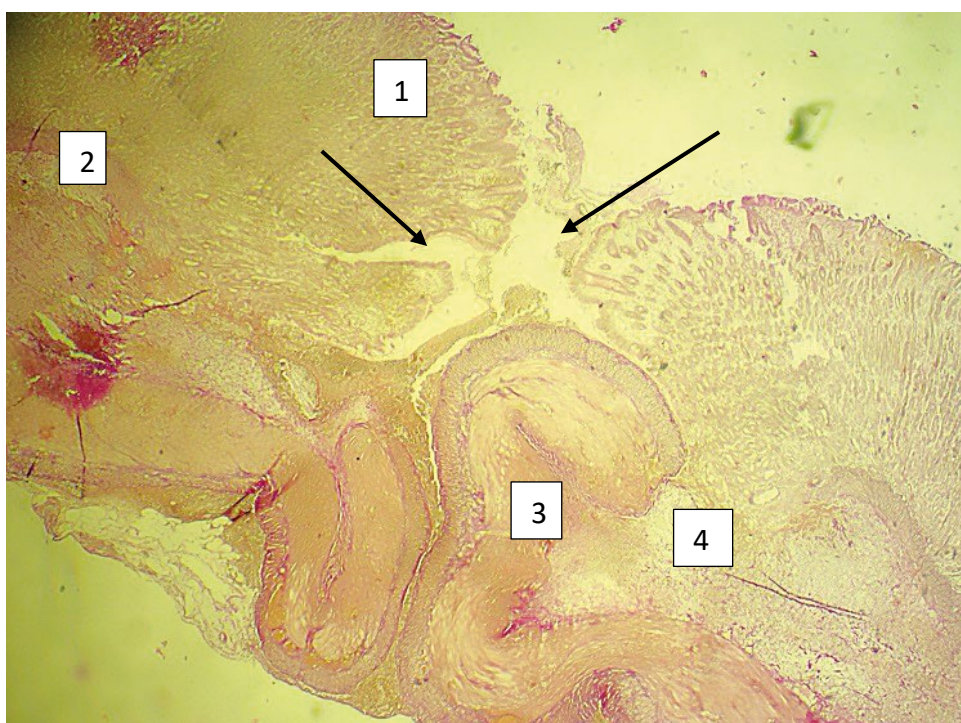


Рис. 4. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы 2 (желатин-резорциновый клеевой композит) на 3 сутки эксперимента: 1 — слизистая оболочка; 2 — подслизистая основа; 3 — мышечная ткань; 4 — область нахождения нити; стрелками указан диастаз. Ван-Гизон, $\times 32$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 4. Micromorphological structure of the gastric wall of a rabbit from group 2 (gelatin-resorcinol adhesive composite) on day 3 of the experiment: 1 — gastric mucosa; 2 — submucosal layer; 3 — muscular tissue; 4 — area of suture placement; arrows indicate diastasis. Van Gieson stain, $\times 32$

Source: compiled by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

В экспериментальной группе 2 на 3-и сутки после применения желатино-резорцинового клеевого композита наблюдали менее выраженный, чем в группе № 1 диастаз в области наложения швов и отсутствие воспалительной инфильтрации грануляционной ткани в области заживления раны.

На 7-е сутки в экспериментальной группе 1 наблюдается сопоставление краев слизистой оболочки, однако небольшой диастаз в области расположения клеевого композита, а также в области расположения нити в мышечной и серозной оболочках по-прежнему сохраняется. Наблюдается умеренная воспалительная инфильтрация (рис. 5).

Во 2-й экспериментальной группе в области слизистой оболочки диастаз отсутствует, однако в мышечной оболочке в области расположения швов имеются пространства между краями операционной раны связанные со смещением сюда хирургического клея (рис. 6).

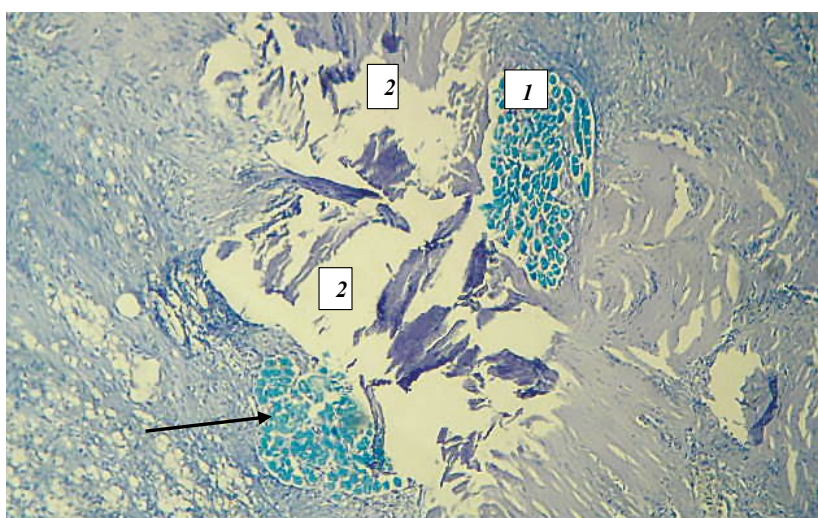


Рис. 5. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы 1 (латексный тканевый композит) на 7-е сутки эксперимента: 1 — нить (указана стрелкой); 2 — полости в области расположения нити. Альциановый синий, $\times 100$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 5. Micromorphological structure of the stomach wall of a rabbit from group 1 (latex tissue composite) on the 7th day of the experiment: 1 — thread (indicated by arrow); 2 — cavities in the area of the thread placement. Alcian blue, $\times 100$

Source: complied by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.



Рис. 6. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы 2 (желатин-резорциновый клеевой композит) на 7-е сутки эксперимента: 1 — слизистая оболочка; 2 — подслизистая основа; 3 — мышечная ткань; 4 — нить; стрелкой указан диастаз. Ван-Гизон, $\times 32$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалин, Е.Н. Борхунова, Н.В. Кислиновская.

Fig. 6. Micromorphological structure of the stomach wall of a rabbit from group 2 (gelatin-resorcinol adhesive composite) on day 7 of the experiment: 1 — mucosa; 2 — submucosa; 3 — muscle tissue; 4 — thread; diastasis indicated by arrow. Van Gieson stain, $\times 32$

Source: complied by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

На 14-е сутки в обеих группах наблюдается сопоставление краев раны и восстановление анатомической целостности стенки желудка. При этом гистотипическая структура оболочек не восстановлена, в них визуализируются признаки умеренной воспалительной инфильтрации, которые выражены в меньшей степени в группе 2 (рис. 7).

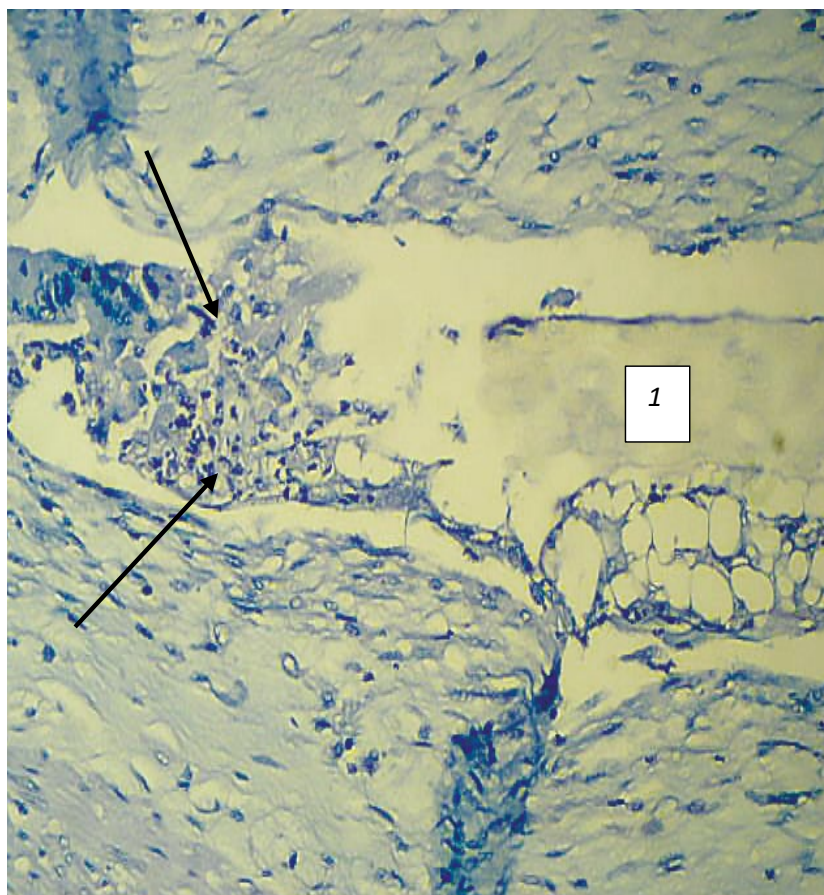


Рис. 7. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы 2 (желатин-резорциновый клеевой композит) на 14-е сутки эксперимента: 1 — нить; воспалительный инфильтрат указан стрелками. Альциановый синий, $\times 20$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 7. Micromorphological structure of the stomach wall of a rabbit from Group 2 (gelatin-resorcinol adhesive composite) on day 14 of the experiment: 1 — thread; inflammatory infiltrate (indicated by arrows). Alcian blue stain, $\times 20$

Source: complied by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

На 30-е сутки на фоне сохранения анатомической непрерывности оболочек в группе 1 определяли истончение слизистой оболочки, выраженный склероз в подслизистой основе, а также в мышечной оболочке. При этом в мышечной оболочке рубцовая ткань заполняла область бывшего диастаза (рис. 8).



Рис. 8. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы № 1 (латексный тканевый композит) на 30 сутки эксперимента: 1 — слизистая оболочка; 2 — подслизистая основа; 3 — мышечная ткань; 4 — область нахождения нити; стрелкой указан диастаз. Ван-Гизон, $\times 32$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 8. Micromorphological picture of the stomach wall of a rabbit from group No. 1 (latex tissue composite) on the 30th day of the experiment: 1 — mucous membrane; 2 — submucosa; 3 — muscle tissue; 4 — area of thread location; diastasis is indicated by an arrow. Van Gieson, $\times 32$

Source: complied by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.



Рис. 9. Микроморфологическая картина стенки желудка кролика из группы 2 (желатино-резорциновый клей) на 30-е сутки эксперимента: 1 — слизистая оболочка; 2 — подслизистая основа; 3 — мышечная ткань; 4 — область нахождения нити. Ван-Гизон, $\times 32$

Источник: выполнено К.Т. Инапшба, М.Д. Качалиным, Е.Н. Борхуновой, Н.В. Кислиновской.

Fig. 9. Micromorphological structure of the stomach wall of a rabbit from Group 2 (gelatin-resorcinol adhesive) on day 30 of the experiment. 1 — mucosa; 2 — submucosa; 3 — muscle tissue; 4 — thread location. Van Gieson stain, $\times 32$

Source: complied by K.T. Inapshba, M.D. Kachalin, E.N. Borkhunova, N.V. Kislinovskaya.

Во 2-й экспериментальной группе слизистая оболочка отличалась большей толщиной, чем в группе 1, явление склероза в подслизистой основе были выражены в меньшей степени, а восстановление мышечной оболочки происходило главным образом за счет гладкой мышечной ткани (рис. 9). Это свидетельствует о лучшем восстановлении структуры стенки желудка после наложения шва и применения желатин-резорцинового клеевого композита в данной группе.

Заключение

Согласно данным гематологических исследований, в экспериментальных группах 1 и 2 значимых отклонений от нормы по общеклиническому анализу крови и биохимическому составу плазмы выявлено не было. При патологоанатомических исследованиях в экспериментальной группе 1 на 3-и сутки в области шва наблюдали точечные геморрагии, располагающиеся билатерально в областях расположения нитей, локальное переполнение сосудов кровью, что может говорить о наличии воспалительного процесса. Во 2-й группе животных на 3-и сутки перифокально от шва отмечали умеренную гиперемию и незначительный отек.

В 1-й экспериментальной группе морфологическая картина на 3-и сутки свидетельствует о меньшей прочности шва в связи с наличием распространяющегося по всем оболочкам стенки желудка обширного диастаза, вызванного проникновением и последующим застыванием клеевого композита между краями раны, а также из-за выраженной воспалительной инфильтрации в области шва. В экспериментальной группе 2 диастаз распространялся на меньшую глубину стенки желудка, а воспаление было умеренным.

На 14-е сутки в обеих группах микроморфологически наблюдали восстановление анатомической целостности стенки желудка в области шва при сохранении умеренного воспаления, выраженного в меньшей степени в группе 2.

На 30-е сутки после оперативного вмешательства в экспериментальной группе 1 в стенке желудка наблюдалось восстановление слизистой оболочки и выраженные склеротические изменения в подслизистой основе и мышечной оболочке. В группе 2 слизистая оболочка с подслизистой основой также восстанавливалась, а склеротические изменения в оболочках были выражены в меньшей степени.

Таким образом, оптимальным хирургическим клеем для улучшения герметизации швов, применяемых при операциях на желудке, является желатино-резорциновый клей, так как он быстро подвергается резорбции и замещению грануляционной тканью с ее последующим склерозированием, а в слизистой и мышечной оболочках — специализированной тканью. Все это приводит к поддержанию прочности шва и ускоренному восстановлению анатомической целостности стенки органа. Вкупе с лучшим регенеративным потенциалом тканей желудка желатино-резорциновый клей обладает выгодными эксплуатационными преимуществами по сравнению с латексным, а именно большей вязкостью и оптимальной скоростью отвердевания.

Список литературы

1. Недобезжкова Е.Ю., Ватников Ю.А., Полябин С.В. Мониторинг послеоперационных осложнений при завороте желудка у собак // Ветеринарная патология. 2013. № 3 (45). С. 92–95. EDN: RHIZON
2. Антонов О.Н. Фибриновый клей в профилактике несостоятельности анастомозов «высокого риска» в плановой торакоабдоминальной хирургии : дис. ... канд. мед. наук. М., 2006. 112 с. EDN: NPXOYP
3. Демина Н.Б., Чернова Л.В., Козлова Ж.М. Применение клеевых композиций в хирургии // Журнал им. Н.И. Пирогова. 2019. Т. 3. № 1. С. 129–134. doi: 10.17116/hirurgia2019031129 EDN: WTEIAE
4. Пушкарь Д.Ю., Живов А.В., Исмаилов А.В., Багаудинов М.Р. Оперативное лечение стриктуры уретры с применением фибринового клея «биолей-лаб» // Медицинский вестник Башкортостана. 2013. Т. 8. № 2. С. 271–273. EDN: QZKAZD
5. Полябин С.В., Филиппов Ю.И., Старынина В.С. Ингаляционная анестезия при тяжелых хирургических операциях // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 42–2. С. 186–189. EDN: YUJNR
6. Старынина В.С., Филиппов Ю.И., Перышкина Л.С. Сравнительный анализ применения наркозно-дыхательных контуров для ингаляционной анестезии у лабораторных животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2022. № 12–2. С. 91–98. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202212213 EDN: QYYQQY
7. Слесаренко Н.А., Комякова В.А., Степанишин В.В. Морфофункциональная характеристика кишечника у представителей отряда грызунов // Лабораторные животные для научных исследований. 2019. № 3. doi: 10.29296/2618723X-2019-03-01 EDN: PVCYTN
8. Инапиба К.Т., Филиппов Ю.И., Качалин М.Д., Борхунова Е.Н. Экспериментальное обоснование применения непрерывных и прерывистых швов на желудке у кроликов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2022. № 3. С. 28–36. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202203004 EDN: AQUCQB
9. Оразов М.Р., Сулаева О.Н., Старкова Е.Ю. Патогенетические механизмы регенерации дермы после имплантации нитей на основе полидиоксанона // Московский хирургический журнал. 2017. № 4 (56). С. 13–27. EDN: YSVRNW
10. Инапиба К.Т., Борхунова Е.Н., Филиппов Ю.И. Морфологическая характеристика желудка при экспериментальном применении желудочно-кишечных швов у кроликов // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения : сб. трудов науч.-практ. конф., Москва, 08 ноября 2022 г. / под общ. ред. С.В. Полябина, Л.А. Гнездиловой. М.: Сельскохозяйственные технологии, 2022. С. 88–89. EDN: ZHGDIE
11. Лопатина В.М., Бирюкова Н.В. Исторический опыт и перспективы использования хирургических шовных материалов в медицине // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 74–1. С. 84–88. doi: 10.18411/lj-06-2021-18 EDN: LSZTAA
12. Костава В.Т., Кислиновская Н.В. Применение в сердечно-сосудистой хирургии медицинских клеев на желатиновой основе // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. 2023. Т. 24. № 6. С. 551–559. doi: 10.24022/1810-0694-2023-24-6-551-559 EDN: NQJXEB
13. Бокерия Л.А., Межнева В.В., Муратов Р.М., Скопин И.И., Костава В.Т. Первый опыт применения биологического клея «Биоклей-ЛАБ» // Материалы научно-практической конференции «Актуальные вопросы сердечно-сосудистой хирургии». Нижний Новгород, 2003. С. 137.
14. Бокерия Л.А., Межнева В.В., Муратов Р.М., Костава В.Т.; заявитель Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН. Патент № 2236 260 С2 Российская Федерация, МПК А61L 24/10, А61L 24/00. Хирургический клей «биолей-лаб»: № 2002122996; заявл. 28.08.2002; опубл. 20.09.2024.
15. Keating S.C.J., Thomas A.A., Flecknell P.A., Leach M.C. Evaluation of EMLA cream for preventing pain during tattooing of rabbits: changes in physiological, behavioural and facial expression responses // PLoS One. 2012. Vol. 7. № 9. p. e44437. doi: 10.1371/journal.pone.0044437

References

1. Nedobezhkova EY, Vatikov YA, Pozyabin SV. Monitoring postoperative complications in gastric torsion in dogs. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2013;(3):92–95. (In Russ.). EDN: RHIZON
2. Antonov ON. *Fibrinovi klei v profilaktike nesostoyatel'nosti anastomozov «vyssokogo riska» v plano-voi torakoabdominal'noi khirurgii* [Fibrin glue in the prevention of “high-risk” anastomotic leaks in elective thoracoabdominal surgery] [dissertation]. Moscow; 2006. (In Russ.). EDN: NPXOYP
3. Demina NB, Chernova LV, Kozlova ZM. Application of adhesive compositions in surgery. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*. 2019;3(1):129–134. (In Russ.). doi: 10.17116/hirurgia2019031129 EDN: WTEIAE

4. Pushkar DY, Zhivov AV, Ismailov AV, Bagaudinov MR. Surgical treatment of urethral stricture using fibrin glue. *Bashkortostan Medical Journal*. 2013;8(2):271–273. (In Russ.). EDN: QZKAZD
5. Pozyabin SV, Filippov YI, Starynina VS. Inhalation anesthesia in severe surgical operations. *International Journal of Agrarian Science and Education*. 2018;(42–2):186–189. (In Russ.). EDN: YTUJNR
6. Starynina VS, Filippov YI, Peryshkina LS. Comparative analysis of the use of anesthesia-respiratory circuits for inhalation anesthesia in laboratory animals. *Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*. 2022;(12–2):91–98. (In Russ.). doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202212213 EDN: QYYQQY
7. Slesarenko NA, Komyakova VA, Stepanishin VV. The morphofunctional characteristic of rodents' intestine. *Laboratory Animals for Science*. 2019;(3). (In Russ.). doi: 10.29296/2618723X-2019-03-01 EDN: PVCYTN
8. Inapshba KT, Filippov YI, Kachalin MD, Borkhunova EN. Experimental justification of continuous and discontinuous sutures on the stomach in rabbits. *Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*. 2022;(3):28–36. (In Russ.). doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202203004 EDN: AQUCQB
9. Orazov MR, Sulaeva ON, Starkova EY. Pathogenetic mechanisms of regeneration of the dermis after implantation of the threads based on polydioxanone. *The Moscow Surgical Journal*. 2017;(4):13–27. (In Russ.). EDN: YSVRNW
10. Inapshba KT, Borkhunova EN, Filippov YI. Morphological characteristics of the stomach in experimental use of gastrointestinal sutures in rabbits. In: Pozyabin SV, Gnezdilova LA, eds. *Actual Problems of Veterinary Medicine, Animal Husbandry, Biotechnology and Examination of Raw Materials and Products of Animal Origin: Proc Sci Pract Conf; 2022 Nov 8; Moscow*. Moscow: Agricultural Technologies; 2022:88–89. (In Russ.). EDN: ZHGDIE
11. Lopatina VM, Biryukova NV. Historical experience and prospects for the use of surgical suture materials in medicine. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2021;(74–1):84–88. (In Russ.). EDN: LSZTAA
12. Kostava VT, Kislinovskaya NV. Usage of gelatin-based medical adhesives in cardiovascular surgery. The Bulletin of Bakoulev Center. *Cardiovascular Diseases*. 2023;24(6):551–559. (In Russ.). doi:10.24022/1810-0694-2023-24-6-551-559 EDN: NQJXEB
13. Bokeria LA, Mezheva VV, Muratov RM, Skopin II, Kostava VT. *First experience of using biological glue "Biokley-LAB"*. In: *Proceedings of the scientific and practical conference "Aktual'nye voprosy serdechno-sosudistoi khirurgii [Current issues in cardiovascular surgery]"*. Nizhny Novgorod; 2003:137. (In Russ.).
14. Bokeria LA, Mezheva VV, Muratov RM, Kostava VT. Surgical adhesive "Bioclay-LAB". Russian Federation Patent No. 2 236 260 C2. IPC A61L 24/10, A61L 24/00. Declared 2002 Aug 28; published 2024 Sep 20. (In Russ.).
15. Keating SC, Thomas AA, Flecknell PA, Leach MC. Evaluation of EMLA cream for preventing pain during tattooing of rabbits: changes in physiological, behavioural and facial expression responses. *PLoS One*. 2012;7(9):e44437. doi: 10.1371/journal.pone.0044437

Об авторах:

Инапшба Кристина Теймуразовна — ассистент кафедры ветеринарной хирургии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: kristinavet98@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8685-575X SPIN-код: 6148-0042

Качалин Михаил Дмитриевич — доктор ветеринарных наук, доцент кафедры ветеринарной хирургии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: kachalinmd@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5942-8771 SPIN-код: 3890-1481

Борхунова Елена Николаевна — доктор биологических наук, заведующий кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: borhunova@mail.ru
SPIN-код: 8745-5568

Кислиновская Наталья Владимировна — кандидат химических наук, ведущий технолог группы имплантируемых изделий и медицинских клеев отдела научных разработок и опытного производства медицинских изделий для сердечно-сосудистой хирургии, Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева Минздрава России, Российская Федерация, 121552, г. Москва, Рублёвское ш., д. 135; e-mail: nkislinovskaya@mail.ru
SPIN-код: 8272-7608

About authors:

Inapshba Kristina Teimurazovna — Assistant of the Department of Veterinary Surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: kristinavet98@mail.ru

SPIN-code: 6148-0042 ORCID: 0000-0002-8685-575X

Kachalin Mikhail Dmitrievich — Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: kachalinmd@gmail.com

SPIN-code: 3890-1481 ORCID: 0000-0001-5942-8771

Borkhunova Elena Nikolaevna — Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Animal Anatomy and Histology named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: borhunova@mail.ru

SPIN-code: 8745-5568

Kislinovskaya Natalia Vladimirovna — Candidate of Chemical Sciences, Leading Technologist of the Implantable Products and Medical Adhesives Group of the Department of Scientific Development and Pilot Production of Medical Products for Cardiovascular Surgery, A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery of the Russian Ministry of Health, 135 Rublevskoe sh., Moscow, 121552, Russian Federation; e-mail: nkislinovskaya@mail.ru

SPIN-code: 8272-7608



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-497-508
EDN YFWVUQ
УДК 636.7:619:616.831-006(470.311)

Научная статья / Research article

Клинические особенности опухолей головного мозга у собак в Московском регионе: ретроспективное исследование

Н.А. Глазов^{1,2}  , Ю.А. Ватников² , М.Н. Якунина¹ 

¹Ветеринарный онкологический научный центр «Биоконтроль», г. Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 Nikolayglazovvet@gmail.com

Аннотация. Впервые в истории российской ветеринарии осуществлен ретроспективный анализ клинических особенностей опухолей головного мозга (ОГМ) у собак. Исследование проведено в Московском регионе в 2018–2024 гг. на базе ветеринарной клиники «Биоконтроль». Цель исследования — определение частоты, локализации и клинических проявлений ОГМ. Проанализированы данные 54142 собак, из которых у 150 выявлены ОГМ (1,2 % от онкологических случаев, 0,28 % от общего числа пациентов). Средний возраст составил 9,4 года. Наиболее часто ОГМ регистрировали у метисов, французских бульдогов, кане-корсо и немецких овчарок. Брахицефалические породы показали предрасположенность к интрааксиальным поражениям, мезоцефалы — к экстрааксиальным. Половая предрасположенность отсутствовала. Основные клинические проявления включали судороги, атаксию, парезы и изменения сознания в зависимости от локализации опухоли. Медиана объема опухолей составила 6 см³ для экстрааксиальных и 9,4 см³ для интрааксиальных поражений. Гистологическая верификация выполнена у 23 пациентов. Диагностику проводили с использованием МРТ (1,5 Тесла), гистологии и иммуногистохимии. Исследование показало необходимость гистологического анализа ОГМ для точного типирования поражений и подчеркнуло важность развития методов визуализации и инвазивной диагностики в ветеринарии. Полученные данные частично отличаются от зарубежных, что обусловлено различием породного состава поголовья собак. Уникальные результаты могут служить базой для разработки стандартизированных протоколов диагностики и лечения ОГМ у собак.

Ключевые слова: ветеринария, онкология, глиома, менингиома

Вклад авторов: Глазов Н.А. — сбор данных и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; Ватников Ю.А. — помощь в обработке и анализе материалов; Якунина М.Н. — концепция и дизайн исследования. Все авторы одобрили окончательную версию рукописи.

© Глазов Н.А., Ватников Ю.А., Якунина М.Н., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 1 июля 2025 г., принята к публикации 15 июля 2025 г.

Для цитирования: Глазов Н.А., Ватников Ю.А., Якунина М.Н. Клинические особенности опухолей головного мозга у собак в Московском регионе: ретроспективное исследование // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 3. С. 497–508. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-497-508 EDN: YFWVUQ

Clinical features of brain tumors in dogs in the Moscow region: a retrospective study

Nikolay A. Glazov^{1,2}  , Yuri A. Vatnikov² , Marina N. Yakunina¹ 

¹Biocontrol Veterinary Oncology Research Center, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 Glazov2002@yandex.ru

Abstract. For the first time in the history of Russian veterinary medicine, a retrospective analysis of the clinical features of brain tumors (BT) in dogs was carried out. The study was conducted in the Moscow region in 2018–2024 on the basis of the Biocontrol veterinary clinic. The aim of the study is to determine the frequency, localization and clinical manifestations of BT. The data of 54,142 dogs were analyzed, of which 150 had BT (1.2% of oncological cases, 0.28% of the total number of patients). The average age was 9.4 years. Most often, BT was recorded in cross-breed, French bulldogs, Cane Corso and German shepherds. Brachycephalic breeds showed a predisposition to intra-axial lesions, mesocephalic to extra-axial. There was no gender predisposition. The main clinical manifestations included convulsions, ataxia, paresis and changes in consciousness depending on the location of the tumor. The median tumor volume was 6 cm³ for extra-axial and 9.4 cm³ for intra-axial lesions. Histological verification was performed in 23 patients. Diagnosis was carried out using MRI (1.5 Tesla), histology and immunohistochemistry. The study showed the need for histological analysis of BT for accurate typing of lesions and emphasized the importance of developing methods of imaging and invasive diagnosis in veterinary medicine. The data obtained partially differ from foreign ones, which is due to the difference in the breed sampling of the dog population. Unique results can serve as a basis for the development of standardized protocols for the diagnosis and treatment of canine BT.

Keywords: veterinary medicine, oncology, glioma, meningioma

Author contribution: Glazov N.A. — data collection and processing of materials, analysis of the obtained data, writing a text; Vatnikov Yu.A. — assistance in the processing and analysis of materials; Yakunina M.N. — concept and design of the study. All authors approved the final version of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Article history: received 1 July 2025; accepted 15 July 2025.

For citation: Glazov NA, Vatnikov YuA, Yakunina MN. Clinical features of brain tumors in dogs in the Moscow region: a retrospective study. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(3): 497–508. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-497-508 EDN: YFWVUQ

Введение

Опухоли головного мозга (ОГМ) у собак представляют серьезную проблему ветеринарной медицины из-за сложности диагностики и ограниченной доступности методов верификации. При этом собаки, наряду с человеком, демонстрируют наиболее высокую частоту встречаемости спонтанных ОГМ среди всех млекопитающих [1–3]. По оценкам исследователей, частота опухолей нервной системы собак составляет 14,5 случаев на 100 000 [4]. По данным других авторов, внутричерепные новообразования наблюдаются у 2...4,5 % собак, подвергнутых посмертному исследованию [1, 2]. Первичные ОГМ представлены менингиомами (~50 %), глиомами (~35 %) и опухолями сосудистого сплетения (~7 %). Вторичные опухоли составляют около 50 % от всех случаев ОГМ [4–6]. Несмотря на такую низкую встречаемость ОГМ, данная патология вызывает много вопросов у ветеринарных врачей. Во-первых, диагностика ОГМ остается сложной, так как выявить опухоль нервной системы можно по результатам магнитно-резонансной томографии, реже компьютерной томографии [7–11]. Однако эти методы инструментальной диагностики не имеют широкого распространения в ветеринарии. Во-вторых, дифференциация вида и типа опухоли при жизни затруднена из-за ограниченной доступности биопсии. Материал при жизни в основном получают при хирургическом вмешательстве. В-третьих, точное типирование и определение злокачественности опухоли часто требует иммуногистохимического исследования (ИГХ) в дополнение к гистологическому, но оно редко доступно в достаточном объеме [12]. Наконец, в русскоязычной научной литературе систематизированные данные по ОГМ практически отсутствуют, что может быть обусловлено ограниченным применением современных методов визуализации и недостаточным вниманием к этой проблеме в российской ветеринарии.

Следует отметить, что ОГМ встречаются у собак всех возрастов и пород. При этом, нет данных о половой предрасположенности. Однако эти опухоли чаще регистрируются у животных среднего и старшего возраста (медиана — 8–10,5 лет в зависимости от вида опухоли), с определенной предрасположенностью у брахицефалических пород к глиомам и крупных пород к менингиомам [1–4]. Клинические проявления варьируют в зависимости от локализации и объема опухоли, включая судороги, атаксию и нарушения сознания, что требует точной и своевременной диагностики для выбора терапевтической стратегии.

Наше исследование впервые в российской практике систематизирует данные по частоте, локализации и клиническим проявлениям ОГМ у собак. Оно основано на анализе клинических случаев ветеринарной клиники «Биоконтроль» за период 2018–2024 гг.

Цель исследования — установить частоту, локализацию и клинические проявления опухолей головного мозга у собак в Московском регионе.

Задачи исследования:

- 1) определить частоту встречаемости ОГМ у собак среди всех онкологических заболеваний;
- 2) выявить породную предрасположенность и возрастные особенности;
- 3) проанализировать клинические симптомы в зависимости от локализации и объема опухолей.

Материалы и методы исследования

В ветеринарную клинику «Биоконтроль» (Россия, Москва) за период с января 2018 г. по июнь 2024 г. поступило 54 142 собаки. У 12 427 животных на основании анамнеза, клинического осмотра, данных ультразвукового исследования (УЗИ) и рентгенограмм в различных проекциях выявлен опухолевый процесс. У 2709 пациентов в ходе неврологического обследования установили неврологический дефицит. У 175 животных с симптомами поражения головного мозга результаты МРТ показали объемные внутричерепные поражения.

Критерии полного или частичного исключения:

- случаи с опухолями гипофиза ($n = 25$) не учитывали;
- пациенты без заключения МРТ, но с известной локализацией ($n = 7$, учитывали только при общем подсчете пациентов с ОГМ и локализации);
- пациенты без заключения МРТ и с неизвестной локализацией ($n = 2$, учитывали только при общем подсчете пациентов с ОГМ)
- опухоли неправильной формы ($n = 6$, не проводили расчет объема);
- множественные поражения мозга ($n = 7$, не проводили анализ симптомов, локализации и объема).

Итоговая выборка для анализа составила 150 собак. Из них у 137 пациентов рассчитали объем опухоли, у 23 провели гистологическую верификацию диагноза. У двух из них диагноз подтвердился на основании ИГХ.

Регистрация данных. Учет пациентов и сбор данных осуществляли с использованием электронных медицинских карт в программе «ЕНОТ» (разработчик — ООО «ВетСофт», Россия). В карту вносили: породу, пол, возраст, вес, клинические симптомы, результаты МРТ (локализация, размеры, характер поражения) и, при наличии, данные гистологического и иммуногистохимического исследований.

Магнитно-резонансная томография. Диагностику проводили с использованием МРТ-сканеров с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла (аппараты Siemens Magnetom Impact Expert, GE Signa Explorer, Siemens Magnetom Symphony, Siemens Aera и Philips Ingenia) в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях.

Толщина среза 3 мм. Интерпретацию МРТ проводили ветеринарные специалисты методов лучевой диагностики с опытом работы более 5 лет, в некоторых случаях с привлечением врача-невролога. Локализация опухолей классифицировалась как:

- экстрааксиальная (вне паренхимы мозга);
- интрааксиальная (в паренхиме мозга);

- по отделам: лобная, височная, теменная, затылочная доли, мозжечок, ствол мозга, желудочки, черепные нервы (ЧН) или структуры черепа.

Расчет объема опухоли. Объем опухоли V определили для 137 случаев с четко очерченными границами по формуле эллипсоида:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_1}{2} \right) \left(\frac{d_2}{2} \right) \left(\frac{d_3}{2} \right),$$

где d_1, d_2, d_3 — максимальный диаметр опухоли в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, полученный в результате ручного измерения с использованием программного обеспечения Vidar Dicom Viewer, RadiAnt DICOM Viewer или eFilm Lite на основе данных МРТ. Метод подтвержден исследованиями [13].

Гистологическое исследование. Гистологическая верификация выполнена у 23 пациентов на основе материала, полученного при хирургическом вмешательстве ($n = 21$) или посмертно ($n = 2$). Ткани фиксировали в 10 % растворе формалина, обезвоживали и заливали парафином. Срезы толщиной 2 мкм окрашивали гематоксилин-эозином и исследовали под световым микроскопом при увеличении 400× (микроскоп Olympus C×43). Анализ проводили ветеринарные патологи (кандидаты ветеринарных и биологических наук). В 2 случаях дополнительно выполнили ИГХ исследование с использованием маркеров PanCK, Vimentin, GFAP, MCK, S100, CD31, Ki67, vWF для уточнения диагноза.

Классификация и диагностика. В 127 случаях диагноз оставался предположительным и основывался на данных МРТ и породе животного (характеристики сигнала, локализация, наличие контрастного усиления, характерная порода) в соответствии с критериями, описанными Roberto José-Lopez et al. [14] и James L.M. et al. [7]. Предположительные типы опухолей (менингиома, глиома и др.) определяли на основе литературных данных и опыта клиницистов. Окончательный диагноз устанавливали только при наличии гистологического подтверждения ($n = 23$), реже — ИГХ ($n = 2$). Частоту ОГМ рассчитывали как доля случаев среди онкологических пациентов ($150/12427 \times 100$) и общего числа собак ($150/54142 \times 100$).

Результаты исследования и обсуждение

Результаты наших исследований продемонстрировали частоту встречаемости ОГМ в Московском регионе 1,2 % (150 из 12427) среди собак с онкологическими заболеваниями и 0,28 % (150 из 54142) от общего числа пациентов-собак клиники «Биоконтроль» за период 2018–2024 гг. Процент среди всех пациентов с симптомами поражения нервной системы равен 5,5 (150 из 2709). Средний возраст животных составил $9,4 \pm 3$ года. Медиана возраста для экстрааксиальных опухолей — 10,4 лет, для интрааксиальных — 9 лет.

Породная и половая предрасположенность. Наиболее часто ОГМ регистрировали у метисов (16,7 %, $n = 25$), французских бульдогов (16 %, $n = 24$), кане-корсо (6,7 %, $n = 10$) и немецких овчарок (6 %, $n = 9$) (табл. 1).

Таблица 1

**Частота встречаемости опухоли головного мозга по породам
в Московском регионе**

Порода	Количество <i>n</i>	Доля из итоговой выборки, %*
Метис	25	16,7
Французский бульдог	24	16
Кане-корсо	10	6,7
Немецкая овчарка	9	6
Йоркширский терьер	7	4,7
Чихуахуа	6	4
Боксер	6	4
Вест-хайленд-уайт-терьер	5	3,3
Американский стаффордширдский терьер	4	2,7
Английский бульдог	4	2,7
Лабрадор ретривер	3	2
Вельш-корги пемброк	3	2
Джек-рассел	3	2
Немецкий шпиц	3	2
Сибирский хаски	3	2
Такса	3	2
Восточно-европейская овчарка	2	1,3
Родзийский риджбек	2	1,3
Русский той	2	1,3
У 26 пород выявлено по одному случаю ОГМ**		

*Итоговая выборка 150 собак; ** 26 пород с единичным выявлением ОГМ: Акита-ину, Английский кокер-спаниель, Бельгийская овчарка, Бигль, Бордер-терьер, Бостон-терьер, Бульмастиф, Доберман, Золотой ретривер, Ка-де-бо, Колли, Мальтезе, Маремма, Миттельшнауцер, Папильон, Пинчер, Померанский шпиц, Пти-брабансон, Русский спаниель, Сибу-ину, Сицилийская борзая, Цвергшнауцер, Шарпей, Ши-тцу, Японский хин, Левретка.

Источник: составлено Н.А. Глазовым.

Брахицефалические породы преобладали среди случаев с интрааксиальными поражениями ($n = 50$, или 61 % от 82 случаев). Мезоцефалы ($n = 39$, или 92,9 % от 42 случаев) преобладали при экстракраниальных локализациях. Значимой половой предрасположенности по всем опухолям не выявлено (самцы — 54 %, $n = 82$; самки — 46 %, $n = 68$). При экстрааксиальной локализации соотношение составило 1:1 (самцы $n = 21$; самки $n = 24$), при интрааксиальной — 1,4:1 (самцы $n = 50$; самки $n = 32$).

Локализация и объем опухолей. Из 148 случаев экстрааксиальные составили 30,4 % ($n = 45$), интрааксиальные — 55,4 % ($n = 82$). Остальные случаи включали опухоли черепных нервов (4 %, $n = 6$), желудочков (2 %, $n = 3$), вторичные образования (3,4 %, $n = 5$) и множественные поражения (4,7 %, $n = 7$) (табл. 2). Наиболее частая локализация — височная доля (интрааксиальная, 29,7 %, $n = 44$) и лобная

доля (экстра- и интрааксиальная — по 14,7 %, $n = 21$). Медиана объема опухолей: 6 см³ (0,45...34,9) для экстрааксиальных ($n = 41$) и 9,4 см³ (0,9...54,6) для интрааксиальных ($n = 81$). Максимальные объемы отмечены в височной доле (10,3 см³ интрааксиально, 9,85 см³ экстрааксиально), минимальные — в затылочной (4,6 и 3,7 см³ соответственно) (табл. 3).

Таблица 2

Распределение опухолей по отделам головного мозга

Отдел	Экстраакси- альные		Интраакси- альные		Черепные нервы		Желудочки		Множественные		Вторичные	
	<i>n</i> *	% **	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Лобная	21	14,7	21	14,7	6	4,2	3	2,1	7	4,7	5	3,5
Височная	5	3,5	44	29,7								
Теменная	3	2,1	2	1,4								
Затылочная	1	0,7	4	2,8								
Ствол	8	5,6	9	6,1								
Мозжечок	7	4,9	2	1,4								
Всего	45		82									

Примечание. * n — количество случаев; **% — процент от числа собак, имевших данные о локализации опухоли в истории болезни.

Источник: составлено Н.А. Глазовым, Ю.А. Ватниковым.

Таблица 3

Медиана объемов опухолей в зависимости от локализации

Локализация	Лобная доля, интрааксиально	Лобная доля, экстрааксиально	Височная доля, интрааксиально	Височная доля, экстрааксиально	Теменная доля, интрааксиально	Теменная доля, экстрааксиально	Затылочная доля, интрааксиально	Затылочная доля, экстрааксиально	Ствол, интрааксиально	Ствол, экстрааксиально
Медиана, см ³	8,7	7	10,3	9,85	8,7	5,8	4,6	3,7	9,4	9
Количество	21	19	42	6	2	3	5	1	9	7

Источник: составлено Н.А. Глазовым.

Опухоли наибольшего объема располагались в височной доле, наименьшего — в затылочной.

Клинические проявления. Судороги наблюдали в 66 % случаев ($n = 99$), чаще при височной (100 % экстра-, 63,6 % интра-), теменной (100 % экстра- и интра-) и лобной (85 % экстра-, 85,7 % интра-) локализации. Атаксия (21,3 %, $n = 32$) преобладала при поражениях мозжечка (85,7 % экстра-, 100 % интра-) и ствола (44,4 % интра-). Парезы (8 %, $n = 12$) — при поражениях ствола мозга (44,4 % интра-),

изменение сознания (6,7 %, $n = 10$) — при поражении лобной и теменной долей экстрааксиально (14,3 и 33,3 %). Поражение черепных нервов (8,7 %, $n = 13$) проявлялось их дисфункцией в 100 % случаев (табл. 4). Объем опухоли не коррелировал с выраженностью симптомов. Но симптомы возникали только после того, как опухоль достигала в одном из диаметров 1 см.

Таблица 4

Зависимость симптоматических проявлений от локализации опухоли

Локализация (n)	Частота проявления симптома, %				
	Судороги	Атаксия	Парез	Изменение уровня сознания	Поражение ЧН
Лобная экстра (21)	85	4,7		14,3	
Височная экстра (5)	100				
Теменная экстра (3)	100	33,3		33,3	
Затылочная экстра (1)	100				
Ствол экстра (8)	50	20			
Мозжечок экстра (7)	14,3	85,7	14,3		
Лобная интра (21)	85,7	9,5	4,8		
Височная интра (44)	63,6	6,8	4,8	6,8	
Теменная интра (2)	100				
Затылочная интра (4)	75	25			
Ствол интра (9)	11,1	44,4	44,4	11,1	
Мозжечок интра (2)		100			
ЧН (6)	16,7	33,3	16,7		100
Желудочки (3)	66,6	33,3			

Источник: составлено Н.А. Глазовым, М.Н. Якуниной.

Диагностическая точность. Гистологическая верификация ($n = 23$) выявила менингиомы (54,5 %, $n = 12$), глиомы (31,7 %, $n = 7$) и редкие случаи (саркома кости, саркома периферического нерва, метастаз карциномы молочной железы и гематому — по 1 случаю). Предположительные диагнозы по МРТ совпали с гистологическими в 92,3 % случаев для менингиом (12 из 13) и в 77,8 % — для глиом (7 из 9). На основании данных МРТ по 127 случаям предположительно были диагностированы глиомы в 52,8 %, менингиомы в 36,2 % из них.

Частота ОГМ в нашем исследовании составила 1,2 % от общего числа онкологических пациентов и 0,28 % от общего числа собак. Эти показатели находятся в пределах литературного диапазона (0,0145...4,5 %) [1–4], но на нижней границе, что может указывать на недостаточность выявления этой патологии в российской ветеринарии. Средний возраст собак с ОГМ 9,4 года совпадает с международными

данными (8–11 лет) [2, 5]. Экстрааксиальные опухоли чаще встречались у собак старшего возраста (10,4 лет), интрааксиальные у более младшего (9 лет). Эти данные согласуются с исследованиями Miller D.A. et al. [8] (10,5 и 8 лет соответственно). Отсутствие половой предрасположенности к ОГМ в целом подтверждается различными исследованиями [2, 5]. В нашей выборке процент самцов — 54, самок — 46. При этом самцы продемонстрировали склонность к глиомам, соотношение составило 1,4:1. В работе José-López et al. [14] соотношение 1,3:1 соответственно.

Породная предрасположенность совпадает с литературными данными. Брахицефалы (французские бульдоги превалировали ($n = 23$)) — 58 % интрааксиальных случаев и мезоцефалы (метисы, немецкие овчарки) — 92,9 % экстрааксиальных. Эти показатели подтверждают склонность брахицефалов к глиомам, а крупных пород к менингиомам [14, 15]. В исследовании значительно превалировали французские бульдоги (16 %, $n = 25$ от всех случаев и 46 %, $n = 23$ от интрааксиальных), что значительно отличает нашу выборку, возможно, из-за популярности породы в регионе. Распределение опухолей по локализации (30,4 % экстрааксиальных и 55,4 % интрааксиальных) отличается от общепринятой статистики, где менингиомы (~50 %) превалируют над глиомами (~35 %) [5] (табл. 5 и 6). Это расхождение объясняется малой долей гистологически подтвержденных случаев: из 23 верифицированных диагнозов менингиомы составили 54,5, а глиомы — 31,7 %, что ближе к литературе. Предположительные диагнозы по МРТ в нашем исследовании (глиомы — 52,8, менингиомы — 36,2 % среди 127 случаев) могли исказить картину, что указывает на сложность дифференциации опухоли без гистологического исследования [13].

Таблица 5

Сравнительный анализ полученных данных с результатами Forward A.K. et al. по локализациям экстрааксиальных ОГМ

Локализация	Экстрааксиальное (собственное исследование)		Forward A.K. et al. [16]	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Лобная доля	21	46,6	69	68,3
Височная доля	5	11,1	9	8,9
Теменная доля	3	6,7	10	9,9
Затылочная доля	1	2,2	6	5,9
Ствол	8	17,8	Не указано	
Мозжечок	7	15,6	7	6,9
Всего	45	100	101	100

Источник: составлено Н.А. Глазовым, М.Н. Якуниной.

Таблица 6

Сравнительный анализ полученных данных с результатами José-Lopez R. et al. по локализациям интракраниальных ОГМ

Локализация	Интрааксиальное (собственное исследование)		José-Lopez R. Et al. [14]	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Лобная доля	21	25,6	29	34,5
Височная доля	44	52,4	25	29,8
Теменная доля	2	2,4	11	13,1
Затылочная доля	4	4,8	Не выявляли	
Ствол	9	11	4	4,8
Мозжечок	2	2,4	1	1,2
Промежуточный мозг	Не выявляли		14	16,7
Всего	82	100	84	100

Источник: составлено Н.А. Глазовым, М.Н. Якуниной.

Клинические проявления коррелируют с локализацией: судороги (66 %) доминировали при поражениях большого мозга (84,5 % интрааксиальных, 66,6 % экстрааксиальных), атаксия (21,3 %) — при опухолях мозжечка и ствола, что согласуется с работами [14, 17]. Отсутствие зависимости симптомов от объема опухоли указывает на возможную роль других факторов, таких как отек или масс-эффект, которые не оценивались в данном исследовании.

Наше исследование впервые систематизирует данные по ОГМ у собак в российской практике, выявляя как сходства (возраст, симптомы), так и отличия (локализация, породный состав) от зарубежных работ. Ограничения состоят в малой доле гистологических данных и отсутствии анализа отека, что могло повлиять на интерпретацию. Тем не менее, результаты подчеркивают важность МРТ и необходимость развития инвазивных методов диагностики в ветеринарии.

Заключение

Проведенное исследование позволило впервые получить данные о частоте встречаемости ОГМ у собак в Московском регионе, систематизировать информацию об их локализации и клинических проявлениях и определить средний возраст возникновения данной патологии. Выявлена предрасположенность брахицефалических пород к интрааксиальным поражениям (особенно французских бульдогов), а мезоцефалических — к экстрааксиальным. Установлена предрасположенность самцов к интрааксиальной локализации, подтверждено соответствие симптомов уровню поражения головного мозга, при этом судороги были наиболее частым из них. Отмечено, что опухолевый объем не коррелирует с тяжестью симптомов, но требуется дополнительная оценка выраженности отека паренхимы мозга на фоне новообразования для выявления возможной взаимосвязи. Полученные данные имеют ряд расхождений с литературными, что может быть связано с количеством

выборки и количеством гистологически подтвержденных диагнозов. Выводы: обязательна гистологическая верификация заболевания; дальнейшие исследования следует направить на разработку стандартизированных протоколов диагностики с опухолевыми поражениями головного мозга у животных.

Список литературы

1. Hayes HM, Priester WA Jr, Pendergrass TW. Occurrence of nervous-tissue tumors in cattle, horses, cats and dogs. *International Journal of Cancer*. 1975;15(1):39–47. doi: 10.1002/ijc.2910150106
2. Snyder JM, Shofer FS, Van Winkle TJ, Massicotte C. Canine intracranial primary neoplasia: 173 cases (1986–2003). *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2006;20(3):669–675. doi: 10.1111/j.1939-1676.2006.tb02913.x
3. Dahme E, Schiefer B. Intracranielle Geschwülste bei Tieren. *Transboundary and Emerging Diseases*. 1960;7(4):341–363. doi: 10.1111/j.1439-0442.1960.tb00255.x
4. Dorn CR, Taylor DO, Frye FL, Hibbard HH. Survey of animal neoplasms in Alameda and Contra Costa Counties, California. I Methodology and description of cases. *Journal of the National Cancer Institute*. 1968;40(2):295–305.
5. Song RB, Vite CH, Bradley CW, Cross JR. Postmortem evaluation of 435 cases of intracranial neoplasia in dogs and relationship of neoplasm with breed, age, and body weight. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2013;27(5):1143–1152. doi: 10.1111/jvim.12136
6. Snyder JM, Lipitz L, Skorupski KA, Shofer F, Van Winkle TJ. Secondary intracranial neoplasia in the dog: 177 cases (1986–2003). *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2008;22(1):172–177. doi: 10.1111/j.1939-1676.2007.0002.x
7. James LM, Garcia-Mora J, Edwards M, John HR. An illustrated scoping review of the magnetic resonance imaging characteristics of canine and feline brain tumors. *Animals: an open access journal from MDPI (Basil)*. 2024;14(7):1044. doi: 10.3390/ani14071044
8. Miller DA, Miller CR, Rossmeisl JH. Canine primary intracranial cancer: a clinicopathologic and comparative review of glioma, meningioma, and choroid plexus tumors. *Frontiers in Oncology*. 2019;9:1151. doi: 10.3389/fonc.2019.01151
9. Garcia Mora JK, Robertson J, Fang-Chi Hsu, Shinn RL, Larson MM. Comparison of linear and volumetric criteria for the determination of therapeutic response in dogs with intracranial gliomas. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2022;36(3):1066–1074. doi: 10.1111/jvim.16406
10. Stadler KL, Ruth JD, Pancotto TE, Werre SR, Rossmeisl JH. Computed tomography and magnetic resonance imaging are equivalent in mensuration and similarly inaccurate in grade and type predictability of canine intracranial gliomas. *Frontiers in Veterinary Science*. 2017;4:157. doi: 10.3389/fvets.2017.00157
11. Walther E, Warfield S, Akbarzadeh A, Davis K, Sidhu N. Use of CT and MR imaging in radiation therapy planning of imaging-diagnosed canine intracranial meningioma achieves better tumor coverage than CT alone. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2023;64(4):775–783. doi: 10.1111/vru.13262
12. Rissi DR, Miller AD, Demeter EA, Church ME, Koehler JW. Diagnostic immunohistochemistry of primary and secondary central nervous system neoplasms of dogs and cats. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2024;36(2):153–168. doi: 10.1177/1040638723122185
13. Le Fèvre C, Sun R, Cebula H, Thiery A, Antoni D, Schott R, Proust F, Constans JM, Noël G. Ellipsoid calculations versus manual tumor delineations for glioblastoma tumor volume evaluation. *Scientific Reports*. 2022;12(1):10502. doi: 10.1038/s41598-022-13739-4
14. José-Lopez R, Gutierrez-Quintana R, de la Fuente C, Manzanilla EG, Suñol A, Pi Castro D, Añor S, Sánchez-Masian D, Fernández-Flores F, Ricci E, Marioni-Henry K, Mascort J, Matiassek LA, Matiassek K, Brennan PM, Pumarola M. Clinical features, diagnosis, and survival analysis of dogs with glioma. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2021;35(4):1902–1917. doi: 10.1111/jvim.16199
15. Koehler JW, Miller AD, Miller CR, Porter B, Aldape KA. Revised diagnostic classification of canine glioma: towards validation of the canine glioma patient as a naturally occurring preclinical model for human glioma. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*. 2018;77(11):1039–1105. doi: 10.1093/jnen/nly085
16. Forward AK, Volk HA, Cherubini GB, Harcourt-Brown T, Plessas IN, Garosi L, De Decker S. Clinical presentation, diagnostic findings and outcome of dogs undergoing surgical resection for intracranial meningioma: 101 dogs. *BMC Veterinary Research*. 2022;18(1):88. doi: 10.1186/s12917-022-03182-y

17. Parker RL, Du J, Shinn RL, Drury AG, Hsu FC, Roberston JL, Cecere TE, Arendse AU, Rossmeisl JH. Incidence, risk factors, and outcomes for early postoperative seizures in dogs with rostral tentorial brain tumors after intracranial surgery. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2022;36(2):694–701. doi: 10.1111/jvim.16391

Об авторах:

Глазов Николай Александрович — ветеринарный врач, Ветеринарный онкологический научный центр «Биоконтроль», Российская Федерация, 115522, г. Москва, Каширское шоссе, д. 24, стр. 10; аспирант департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: nikolayglazovvet@gmail.com

ORCID: 0009-0005-5637-2828

Ватников Юрий Анатольевич — доктор ветеринарных наук, профессор, директор департамента ветеринарной медицины агротехнологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vatnikov@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-0036-3402 SPIN-код: 2726–8270

Якунина Марина Николаевна — доктор ветеринарных наук, заведующий отделением онкологии, Ветеринарный онкологический научный центр «Биоконтроль», Российская Федерация, 115522, г. Москва, Каширское шоссе, д. 24, стр. 10; e-mail: irsovet@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5278-1641