



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2026 Том 21 № 2

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2
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 Агробιοтехнологического
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
Ковеос 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 «ВНИИПФит», 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, 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 26.06.2026. Выход в свет 30.06.2026. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитуры Tinos, Roboto.

Усл. печ. л. 16,27. Тираж 500 экз. Заказ № 553. 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

2026 VOLUME 21 No. 2

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2
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. Solovyov — 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, 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

Растениеводство

Баканева А.А. Приемы возделывания эспарцета в аридных условиях Северного Прикаспия.....211

Рогачев Д.А., Рогачев А.Ф. Алгоритмизация управления биопродуктивностью озимых зерновых культур с учетом гидротермического коэффициента Селянинова в почвенно-климатических условиях Юга России.....223

Генетика и селекция растений

Катрушенко А.А., Иваний А.А., Пензин А.А., Галиченко А.П., Тимкин П.Д. Анализ дифференциальной экспрессии генов глицининов и β -конглицининов сортов сои европейской и канадской селекции.....234

Защита растений

Алексеев Е.Ю., Долженко В.И. Деградация и распространение имидаклоприда в картофеле249

Соколов А.А., Виноградов Д.В., Зубкова Т.В., Лебедев И.М. Фитосанитарное состояние агроценозов и урожайность яровой пшеницы в условиях Рязанской области256

Почвоведение и агрохимия

Горепекин И.В., Султанова З.С., Калнин Т.Г., Федотов Г.Н., Шоба С.А., Сабирова Ш.П., Пирназарова Н.П. Влияние 6-бензиламинопурина на продуктивность озимых зерновых в условиях почвенного засоления.....269

Животноводство

Gallegos S.J., Ponomareva E.S., Ilina L.A. Effects of *Lacticaseibacillus paracasei* and *Enterococcus faecium* on the microbial community and metabolic potential of legume-cereal silage (Влияние *Lacticaseibacillus paracasei* и *Enterococcus faecium* на микробное сообщество и метаболический потенциал силоса бобово-злаковых культур)280

Генетика и селекция животных

Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Калякина Р.Г., Седых Т.А. Влияние генотипа валушков на выход питательных веществ и энергетическую ценность мышечной ткани.....291

Ветеринария

- Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Банникова Д.А., Шопинская М.И.** Общие закономерности динамики развития биопленок грибов *Aspergillus spp.*299
- Акопян Н.А., Байматов В.Н.** Плоскоклеточный рак у кошек: морфологические предикторы выживаемости и экспериментальная прогностическая модель.....308
- Лаптев С.В., Селина М.В.** Изменчивость и многообразие генетических вариантов парвовируса — причина парвовирусного энтерита у собак.....345
- Лещёва Н.А., Плешакова В.И.** Влияние сочетанного применения пробиотика и комплекса органических кислот на энтеромикробиоценоз, гематологические и иммунологические показатели перепелов при экспериментальном дисбиозе357
- Вахонина Е.А., Романова Е.П.** Тяжелые металлы в прополисе и его экстрактах.....372

Contents

Crop production

Bakaneva A.A. Methods of cultivating sainfoin in the arid conditions of the Northern Caspian region.211

Rogachev D.A., Rogachev A.F. Algorithmization of bioproductivity management of winter grain crops adjusting the Selyaninov hydrothermal coefficient in the soil and climatic conditions of Southern Russia.....223

Genetics and plant breeding

Katrushenko A.A., Ivaniy A.A., Penzin A.A., Galichenko A.P., Timkin P.D. Analysis of differential expression of glycinin and β -conglycinin genes in European and Canadian soybean varieties.....234

Plant protection

Alekseev E.Y., Dolzhenko V.I. Degradation and distribution of imidacloprid in potatoes249

Sokolov A.A., Vinogradov D.V., Zubkova T.V., Lebedev I.M. Phytosanitary state of agrocenoses and yield of spring wheat in the Ryazan region.....256

Soil science and agrochemistry

Gorepekin I.V., Sultanova Z.S., Kalnin T.G., Fedotov G.N., Shoba S.A., Sabirova S.P., Pirnazarova N.P. The effect of 6-benzylaminopurine on productivity of winter cereals under soil salinization conditions.....269

Animal breeding

Gallegos S.J., Ponomareva E.S., Ilina L.A. Effects of *Lacticaseibacillus paracasei* and *Enterococcus faecium* on the microbial community and metabolic potential of legume-cereal silage.....280

Genetics and selection of animals

Yuldashbaev Y.A., Kosilov V.I., Nikonova E.A., Rakhimzhanova I.A., Kalyakina R.G., Sedykh T.A. Influence of wether genotype on nutrient yield and the energy value of muscle tissue.291

Veterinary science

Lenchenko E.M., Sachivkina N.P., Bannikova D.A., Shopinskaya M.I. General patterns of *Aspergillus spp.* biofilm development dynamics299

Akopyan N.A., Baimatov V.N. Feline squamous cell carcinoma: morphologic predictors of survival and an experimental prognostic model308

Laptev S.V., Selina M.V. Genetic variability and antigenic diversity of canine parvovirus as the cause of canine parvoviral enteritis345

Lescheva N.A., Pleshakova V.I. Effect of the combined use of a probiotic and an organic acid complex on enteromicrobiocenosis, hematological and immunological parameters of quails with experimental dysbiosis357

Vakhonina E.A., Romanova E.P. Heavy metal content in propolis and propolis extracts.....372



Растениеводство

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-211-222

EDN JDXVQA

УДК 633.37

Научная статья / Research article

Приемы возделывания эспарцета в аридных условиях Северного Прикаспия

А.А. Баканева



Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук,
Астраханская область, Российская Федерация

✉ solnce5508@mail.ru

Аннотация. Эспарцет (*Onobrychis*) отличается неприхотливостью к условиям возделывания и одновременно обладает высокой кормовой ценностью. Благодаря длительному продуктивному периоду, превосходным кормовым качествам, способности улучшать плодородие почвы и высокой адаптивности, эспарцет остается перспективной и востребованной культурой в системе кормопроизводства, поэтому исследование актуально для региона. Цель исследования — провести интродукцию эспарцета, изучить его биологические особенности, кормовую ценность и адаптивный потенциал, а также технологические приемы выращивания для использования в фитомелиорации аридных деградированных пастбищных экосистем Северного Прикаспия. Объектом исследования является эспарцет, произрастающий в условиях полупустынной и пустынной природно-климатических зон. Применены методики А.И. Иванова и соавторов (1985), Б.А. Доспехова (1985), Г.В. Удовенко (1988), А.А. Кутузовой и соавторов (2015) и др. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнялась методом дисперсионного анализа по методике Б.А. Доспехова (2014) в программе Microsoft Excel. На основании данных трехлетних (2023–2025 гг.) исследований в почвенно-климатических условиях Северного Прикаспия установлено, что оптимальным из изученных сортов для данного региона является эспарцет песчаный сорт Степ, предшественник залежь.

Ключевые слова: яровой ячмень, эспарцет песчаный, кормовая ценность, залежь, предшественник, пастбищные культуры

Заявление о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Баканева А.А., 2026



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 10 марта 2026 г., принята к публикации 3 апреля 2026 г.

Для цитирования: Баканева А.А. Приемы возделывания эспарцета в аридных условиях Северного Прикаспия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 211–222. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-211-222 EDN: JDXVQA

Methods of cultivating sainfoin in the arid conditions of the Northern Caspian region

Anna A. Bakaneva 

Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan region, Russian Federation

✉ solnce5508@mail.ru

Abstract. The study presents the technological methods of growing sainfoin (*Onobrychis*) in the arid conditions of the Northern Caspian region. This crop is characterized by its undemanding nature and, at the same time, high forage value. Due to its long productive period, excellent forage qualities, ability to improve soil fertility and high adaptability, sainfoin remains a promising and popular crop in the forage production system, therefore the research is relevant for this region. The aim of the study was to introduce sainfoin, study its biological characteristics, forage value and adaptive potential, as well as technological methods of cultivation for use in phytomelioration of arid degraded pasture ecosystems of the Northern Caspian region. The object of the study is sainfoin growing in semi-desert and desert natural and climatic zones. The methodologies of A.I. Ivanov et al. (1985), B.A. Dospekhov (1985), G.V. Udovenko (1988), A.A. Kutuzova et al. (2015), and others were applied. Statistical processing of experimental data was performed using analysis of variance method according to the methodology of B.A. Dospekhov (2014) in Microsoft Excel. Based on three-year (2023–2025) research data under the soil and climatic conditions of the Northern Caspian region, it was established that the optimal cultivar among those studied for this region is sand sainfoin cv. Step, with fallow land as the preceding crop.

Keywords: spring barley, Hungarian sainfoin, forage value, fallow land, forecrop, pasture crops

Conflicts of interest. The author declares no conflicts of interest.

Article history: received 10 March 2026; accepted 3 April 2026.

For citation: Bakaneva AA. Methods of cultivating sainfoin in the arid conditions of the Northern Caspian region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):211–222. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-211-222 EDN: JDXVQA

Введение

Наша планета имеет площадь 510 млн кв. км, из них площадь земельных ресурсов мира составляет 134 млн кв. км — 26,3 %. При этом под сельскохозяйственные нужды используется 4,81 млрд га — 36 % мирового земельного фонда. На данные земельные ресурсы легла нагрузка по удовлетворению возрастающего спроса

населения на продукты животного происхождения [1]. Промышленное развитие животноводства не отменяет использование естественных пастбищ, которые расположены в засушливых регионах. Мясо животных, выращенных на сухостепных и полупустынных пастбищах, по качеству значительно превосходит продукцию откормочных предприятий. В связи с этим вопрос наличия пастбищных ресурсов приобретает ключевое значение [2].

Однако потребительское землепользование в отношении пастбищ привело к катастрофическим последствиям для окружающей среды не только в аридных зонах Российской Федерации, но и других странах. Ученые Казахстана, Узбекистана, Монголии, Киргизии, в РФ — Алтая, Калмыкии, Прикаспия отмечают активное развитие процессов опустынивания пастбищных экосистем при увеличивающейся антропогенно-климатической нагрузке [3–9]. Происходит обеднение растительного покрова, выпадение ценных высокопитательных видов растений из состава фитоценозов, увеличение процента открытой почвы, движение незакрепленных песков, и как результат — пыльные бури [10, 11]. Исходя из этого, научные исследования, направленные на остановку деградации аридных экосистем, решают государственные задачи. Научная значимость работы обусловлена необходимостью отбора подходящих видов растений, которые обеспечат сохранение и увеличение биоразнообразия в условиях недостаточного увлажнения.

Бобовые растения играют значимую роль в фитомелиорации и оказывают благоприятное мелиоративное влияние на пастбищные фитоценозы, создавая тем самым оптимальные условия для выпасаемых животных, являются защитой от неблагоприятных факторов и основным средством в борьбе с опустыниванием [12–15].

Цель исследования — провести интродукцию эспарцета (*Onobrychis*), изучить его биологические особенности, кормовую ценность и адаптивный потенциал, а также технологические приемы выращивания для использования в фитомелиорации аридных деградированных пастбищных экосистем Северного Прикаспия.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась в 2023–2025 гг. в ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в рамках государственного задания по теме: «Разработать научные основы создания и восстановления кормовых угодий, на основе интродукции, мобилизации генетических ресурсов кормовых растений с высокоценными признаками продуктивности и качества, устойчивости к био- и абиострессорам, в целях предотвращения опустынивания и деградации аридных территорий, повышения продуктивности и увеличения биоразнообразия естественных и агроландшафтов, в условиях увеличения антропогенно-техногенной нагрузки и глобальных изменений климата». Закладка опыта проведена 21.03.2023 г. на территории ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», в правобережной степной зоне Черноярского района (Астраханская область).

Рельеф местности — равнинный. Почвы светло-каштановые, по механическому составу — солонцеватые суглинки, содержание солонцов — от 5 до 10 %. В исследованиях применялся двухфакторный полевой опыт, проводимый методом расщепленных делянок. Фактор А — сорта: эспарцет песчаный Василий и эспарцет песчаный Степ, фактор В — предшественник (залежь, ячмень). Контроль — растительность естественного пастбищного фитоценоза.

Общая площадь под опытом — 4,5 га; площадь опытной делянки — 1000 м². Способ посева — рядовой с междурядьем 0,3 м. Глубина заделки семян — 0,02 м. Размещение делянок — последовательное, в четырехкратной повторности.

Результаты исследования и обсуждение

Заделка семян произведена 21 марта 2023 г. На формирование урожая многолетних бобовых трав, в т. ч. эспарцета, влияет ряд внешних условий, таких как влагообеспеченность, количество выпавших осадков, температура и влажность среды. Наиболее благоприятная для этих сельскохозяйственных культур температура воздуха — +18...+25 °С. По данным метеостанции села Черный Яр, погодные условия 2023 г. признаны удовлетворительными. Показатель ГТК¹, варьировавшийся в пределах 0,3...0,6, свидетельствует о принадлежности региона к сухой зоне. Климатические условия 2024 г. классифицируются как более теплые по сравнению с нормой (отклонение +3,7 °С). Показатель ГТК (0,32) свидетельствует о засушливом характере увлажнения. По данным 2025 г., среднегодовая температура оказалась выше климатической нормы на 3,5 °С. Максимальный рост положительной аномалии пришелся на зимние месяцы: в декабре и январе отклонения составили +8,8 и +17,2 °С соответственно. Данные мониторинга показали идентичность значений средней относительной влажности воздуха за 2025 и 2024 гг. Результаты мониторинга запасов влаги в слое почвы 0–1,00 м в течение вегетационного периода свидетельствуют о недостаточной увлажненности. В весенний период запасы влаги были низкими (30–45 мм), а в летний наблюдалась почвенная засуха (5–10 мм).

Согласно методике Б.А. Доспехова², перед учетом урожайности в период цветения фиксировали состояние растений и их реакцию на засуху. Вегетационный период эспарцета (от всходов до начала цветения) не зависел от предшественников и в среднем составил 165 суток на всех вариантах опыта.

Согласно полученным средним трехлетним данным, характеризующим состояние посевов и их устойчивость к засушливым условиям (табл. 1), предшественники не оказали существенного влияния ни на состояние посевов эспарцета, ни на их устойчивость к засухе. Независимо от варианта опыта посевы эспарцета оценивались в 5 баллов (отличное состояние), а реакция на засуху была минимальной — 1 балл.

¹ Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

Таблица 1

Состояние посевов эспарцета, средние 2023–2025 гг., ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»

Культура, сорт	Предшественник	Состояние посева, балл	Реакция на засуху, балл
Эспарцет песчаный Василий	Залежь	5	1
	Ячмень яровой	5	1
Эспарцет песчаный Степ	Залежь	5	1
	Ячмень яровой	5	1

Источник: составлено А.А. Баканевой.

Table 1

Sainfoin crop stand condition, average for 2023–2025, PAFSC RAS

Crop, cultivar	Forecrop	Crop stand condition,score	Response to drought,score
Sainfoin cv. Vasily	Fallow	5	1
	Spring barley	5	1
Sainfoin cv. Step	Fallow	5	1
	Spring barley	5	1

Source: compiled by A.A. Bakaneva.

В фазу «бутонизация — начало цветения» провели учеты по определению высоты и облиственности растений эспарцета (табл. 2). Выявлено, что изучаемые элементы технологии возделывания, а также сорта эспарцета, влияли и на высоту растений, и на их облиственность.

Таблица 2

Высота и облиственность эспарцета, средние 2023–2025 гг., ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»

Культура, сорт	Предшественник	Высота, м	Облиственность, %
Эспарцет песчаный Василий	Залежь	0,54	30,2
	Ячмень яровой	0,47	29,0
Эспарцет песчаный Степ	Залежь	0,57	34,6
	Ячмень яровой	0,51	31,0
НСП ₍₀₅₎ общая 2023		0,02	0,54
НСП ₍₀₅₎ общая 2024		0,02	0,54
НСП ₍₀₅₎ общая 2025		0,02	0,54

Источник: составлено А.А. Баканевой.

Table 2

Height and leafiness of sainfoin, average for 2023–2025, PAFSC RAS

Crop, сгдешмфк	Forecrop	Height, m	Leafiness, %
Sainfoin cv. Vasily	Fallow	0.54	30.2
	Spring barley	0.47	29.0
Sainfoin cv. Step	Fallow	0.57	34.6
	Spring barley	0.51	31.0
NSR _{(05) general 2023}		0.02	0.54
NSR _{(05) general 2024}		0.02	0.54
NSR _{(05) general 2025}		0.02	0.54

Source: compiled by A.A. Bakaneva.

Средняя высота растений эспарцета в опыте составила 0,52 м. Максимальная высота (0,57 м) отмечена у сорта Степ на варианте с предшественником залежь, которая составила. На вариантах с предшественником залежь высота растений в среднем составила 0,56 м, что на 0,07 м выше, чем на вариантах опыта, где предшественником был яровой ячмень.

Облиственность растений эспарцета также зависела от применяемых агроприемов и сортов. Максимальные значения облиственности отмечены у сорта Степ и составили, в среднем по агроприемам, 32,8 %, что на 3,2 % выше, чем средняя облиственность растений эспарцета в опыте. Применение такого агроприема, как предшественник залежь, увеличило облиственность растений эспарцета на 2,4 %.

На стадии бутонизации осуществляли лабораторные исследования по определению водоудерживающей и водопоглощающей способности листьев эспарцета (табл. 3).

Установлено, что максимальные значения водоудерживающей и водопоглощающей способности листьев эспарцета отмечены у сорта Степ на варианте с предшественником залежь — 75,3 и 128,5 % соответственно.

Таблица 3

Водоудерживающая и водопоглощающая способность листьев эспарцета, средние 2023–2025 гг., ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»

Культура, сорт	Предшественник	Водоудерживающая способность, %	Водопоглощающая способность, %
Эспарцет песчаный Василий	Залежь	73,2	122,7
	Ячмень яровой	71,3	120,3
Эспарцет песчаный Степ	Залежь	75,3	128,5
	Ячмень яровой	72,6	123,4
НСР _{(05) общая 2023}		0,11	0,11
НСР _{(05) общая 2024}		0,12	0,10
НСР _{(05) общая 2025}		0,11	0,11

Источник: составлено А.А. Баканевой.

Table 3

**Water-holding and water-absorbing capacity of sainfoin leaves,
average for 2023–2025, PAFSC RAS**

Crop, cultivar	Forecrop	Water-holding capacity, %	Water-absorbing capacity, %
Sainfoin cv. Vasily	Fallow	73.2	122.7
	Spring barley	71.3	120.3
Sainfoin cv. Step	Fallow	75.3	128.5
	Spring barley	72.6	123.4
LSD _{(05) general 2023}		0.11	0.11
LSD _{(05) general 2024}		0.12	0.10
LSD _{(05) general 2025}		0.11	0.11

Source: compiled by A.A. Bakaneva.

На вариантах опыта с использованием в качестве предшественника залежи показатели водоудерживающей и водопоглощающей способности листьев эспарцета выше по сравнению с вариантом, где предшественником был яровой ячмень, на 2,3 и 3,7 % соответственно. Также можно отметить, что самые высокие значения водоудерживающей и водопоглощающей способности листьев отмечены у всех изучаемых сортов эспарцета на вариантах с предшественником залежь. Таким образом, по результатам исследования выявлено, что на данном варианте опыта растения эспарцета более адаптированы к экстремальным условиям внешней среды и лучше переносят воздушную и почвенную засухи.

На протяжении трех лет в фазу цветения проводили срез образцов эспарцета с последующим определением урожайности зеленой и сухой массы (табл. 4). Применение различных предшественников и сортов оказало влияние на урожайность зеленой и сухой массы эспарцета. Самым высокоурожайным оказался сорт Степ на варианте залежь 41,82 т/га зеленой массы и 10,74 т/га сухой массы. Использование залежи в качестве предшественника привело к росту урожайности зеленой массы в среднем по сортам на 1,86 т/га, а сухой массы — на 0,57 т/га. Статистические показатели НСР₀₅ (наименьшая существенная разница) минимальные (0,001–0,04), что говорит о высокой достоверности различий между вариантами опыта.

Таблица 4

Урожайность эспарцета, среднее 2023–2025 гг., ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»

Культура, сорт	Предшественник	Урожайность, т/га	
		Зеленой массы	Сухой массы
Эспарцет песчаный Василий	Залежь	38,31	8,69
	Ячмень яровой	37,93	8,64
Эспарцет песчаный Степ	Залежь	41,82	10,74
	Ячмень яровой	38,49	9,66

Окончание табл. 4

Культура, сорт	Предшественник	Урожайность, т/га	
		Зеленой массы	Сухой массы
2023 г.			
НСП _{(05) общая}		0,01	0,03
НСП _{(05) А}		0,001	0,02
НСП _{(05) В}		0,001	0,03
НСП _{(05) АВ}		0,013	0,04
2024 г.			
НСП _{(05) общая}		0,01	0,03
НСП _{(05) А}		0,001	0,02
НСП _{(05) В}		0,001	0,02
НСП _{(05) АВ}		0,012	0,03
2025 г.			
НСП _{(05) общая}		0,01	0,04
НСП _{(05) А}		0,001	0,03
НСП _{(05) В}		0,001	0,03
НСП _{(05) АВ}		0,013	0,04

Источник: составлено А.А. Баканевой.

Table 4

Sainfoin yield, average for 2023–2025, PAFSC RAS

Crop. cultivar	Forecrop	Yield. t/ha	
		Fresh weight	Dry weight
Sainfoin cv. Vasily	Fallow	38.31	8.69
	Spring barley	37.93	8.64
Sainfoin cv. Step	Fallow	41.82	10.74
	Spring barley	38.49	9.66
2023			
НСП _{(05) general}		0.01	0.03
НСП _{(05) А}		0.001	0.02
НСП _{(05) В}		0.001	0.03
НСП _{(05) АВ}		0.013	0.04
2024			
НСП _{(05) general}		0.01	0.03
НСП _{(05) А}		0.001	0.02
НСП _{(05) В}		0.001	0.02
НСП _{(05) АВ}		0.012	0.03

Ending tabl. 4

Crop. cultivar	Forecrop	Yield. t/ha	
		Fresh weight	Dry weight
2025			
HCP _{(05) general}		0.01	0.04
HCP _{(05) A}		0.001	0.03
HCP _{(05) B}		0.001	0.03
HCP _{(05) AB}		0.013	0.04

Source: compiled by A.A. Bakaneva.

Также в фазу цветения для оценки кормовой ценности эспарцета провели биохимический анализ сухой массы по вариантам опыта. Наибольшее количество в сухой биомассе эспарцета сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы, сырого жира и кормовых единиц отмечено у сорта эспарцет песчаный Степ на варианте опыта предшественником залежь (табл. 5).

Таблица 5

**Биохимический состав и кормовая ценность эспарцета, 2023–2025 гг.,
ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»**

Культура, сорт	Предшественник	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырая зола, %	Сырой жир, %	Количество кормовых единиц
Эспарцет песчаный Василий	Залежь	17,94	25,66	11,45	2,61	0,47
	Ячмень яровой	16,51	25,51	10,90	2,26	0,46
Эспарцет песчаный Степ	Залежь	18,68	26,94	11,93	2,74	0,49
	Ячмень яровой	17,99	26,62	11,00	2,63	0,48
HCP ₍₀₅₎ общая 2023		0,09	0,04	0,10	0,04	0,03
HCP ₍₀₅₎ общая 2024		0,09	0,05	0,11	0,05	0,02
HCP ₍₀₅₎ общая 2025		0,09	0,05	0,10	0,05	0,03

Источник: составлено А.А. Баканевой.

Table 5

Biochemical composition and nutritive value of sainfoin, 2023–2025, PAFSC RAS

Crop, cultivar	Forecrop	Crude protein, %	Crude fiber, %	Crude ash, %	Crude fat, %	Feed units
Sainfoin cv. Vasily	Fallow	17.94	25.66	11.45	2.61	0.47
	Spring barley	16.51	25.51	10.90	2.26	0.46

Ending tabl. 5

Crop, cultivar	Forecrop	Crude protein, %	Crude fiber, %	Crude ash, %	Crude fat, %	Feed units
Sainfoin cv. Step	Fallow	18.68	26.94	11.93	2.74	0.49
	Spring barley	17.99	26.62	11.00	2.63	0.48
LSD _{(05) general 2023}		0.09	0.04	0.10	0.04	0.03
LSD _{(05) general 2024}		0.09	0.05	0.11	0.05	0.02
LSD _{(05) general 2025}		0.09	0.05	0.10	0.05	0.03

Source: compiled by A.A. Bakaneva.

Заключение

По результатам трехлетних исследований (2023–2025 гг.) установлено, что в условиях засушливой зоны Нижнего Поволжья эспарцет песчаный сорт Степ проявил высокую адаптивность к экстремальным погодным условиям. Состояние посевов оценивалось как отличное (5 баллов), а реакция растений на засуху — очень слабая (1 балл) независимо от сорта и предшественника, что подтверждает врожденную засухоустойчивость культуры.

Применение залежи в качестве предшественника по сравнению с ячменем яровым оказало достоверно положительное влияние на биологические параметры растений: высота увеличилась в среднем на 0,07 м, облиственность — на 2,4 %, а водоудерживающая и водопоглощающая способность листьев — на 2,3 и 3,7 % соответственно. Сорт Степ превосходил сорт Василий по урожайность зеленой (41,82 т/га) и сухой (10,74 т/га) массы. На этом же варианте отмечено максимальное содержание сырого протеина (18,68 %), сырой клетчатки (26,94 %) и кормовых единиц (0,49), что свидетельствует о высокой кормовой ценности полученной продукции.

Таким образом, оптимальной технологией возделывания эспарцета песчаного в условиях засушливых регионов является использование сорта Степ после залежи.

Список литературы

1. Подопригоров Ю.Н., Хюпинин А.А. Джужгун безлистный (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) — эффективный фитомелиорант в засушливых условиях Северного Прикаспия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 288–298. doi: 10.32786/2071-9485-2023-02-33 EDN: VFJWTY

2. Булахтина Г.К. Изучение адаптивного потенциала кормовых кустарниковых растений для использования в восстановлении деградированных полупустынных пастбищных экосистем // Аграрный вестник Урала. 2022. № 1 (216). С. 2–11. doi: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-2-11 EDN: BHZFBU

3. Кульжанова С.Н., Байдюсен А.А., Ботабекова Б.Т., Жумадилова Н.Б., Кенжегулова С.О. Особенности влияния антропогенных факторов на степные растения и их трансформация // Кормопроизводство. 2017. № 7. С. 7–11. EDN: YUHLVD
4. Золотов Д.В., Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Першин Д.К., Малыгина Н.С., Грибков А.В. Изменение землепользования в Алтайском крае: проблемы и перспективы достижения нейтрального баланса деградации земель // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 25–33. doi: 10.24411/1993-3916-2020-10092 EDN: RQKLQB
5. Бобушев Т.С., Султаналиев К.Э. Оценка и адаптация подхода НБДЗ к классификации земельных ресурсов в Кыргызской Республике // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 43–47. doi: 10.24411/1993-3916-2020-10094 EDN: LHCFLD
6. Бананова В.А., Лазарева В.Г., Менкеев В.С.-Г. Процессы опустынивания растительного покрова Северо-Западного Прикаспия и пути его восстановления // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2019. № 1 (38). С. 14–16.
7. Намруева Л.В. Экологическая ситуация в современной Калмыкии: междисциплинарный анализ // Новые исследования Тувы. 2022. № 2. С. 102–114. doi: 10.25178/nit.2022.2.7 EDN: UCOQDB
8. Дедова Э.Б., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 63–71. EDN: PQELOX
9. Тютюма Н.В., Булахтина Г.К. Технологические приемы рекультивации деградированных аридных пастбищных экосистем в Северном Прикаспии // Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума (Международного степного форума). Оренбург, 2024. С. 1369–1375. doi: 10.24412/cl-37200-2024-1369-1375 EDN: FDSYPT
10. Рыбашилькова Л.П., Турко С.Ю. Трансформация фитоценозов в пустынно-пастбищных экосистемах (на примере северо-западного Прикаспия) // Растительные ресурсы. 2023. Т. 59. № 1. С. 93–106. doi: 10.31857/S0033994623010090 EDN: YASSYH
11. Яшин И.М., Васенев И.И., Ворников Д.В., Петухова А.А. Экологическое состояние и деградация черноземов Приволжской возвышенности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 1. С. 41–52. EDN: OQQRDN
12. Булахтина Г.К., Тютюма Н.А. Оценка аридных кормовых растений в качестве фитомелиорантов опустыненных пастбищных экосистем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 148–157. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-15 EDN: ODLJCT
13. Крючков С.Н., Матисс Г.Я. Лесоразведение в засушливых условиях: монография. Волгоград, 2014. 300 с.
14. Кулик К.Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель // Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 8–13. doi: 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08–13 EDN: LWQWQF
15. Манаенков А.С. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С. 5–23. EDN: WDHNEB

References

1. Podoprigorov YN, Khyupinin AA. Juzgun leafless (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) is an effective phytomeliorant in aid conditions of the Northern Caspian region. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;(2):288–298. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2023-02-33 EDN: VFJWTV
2. Bulakhtina GK. Study of the adaptive potential of fodder shrubs for use in the restoration of degraded semi-desert pasture ecosystems. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;(1):2–11. (In Russ.). doi: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-2-11 EDN: BHZFBV
3. Kulzhanova SN, Baidyusen AA, Botabekova BT, Zhumadilova NB, Kenzhegulova SO. Steppe flora as affected by anthropogenic factors and plant transformation. *Kormoproizvodstvo*. 2017;(7):7–11. (In Russ.). EDN: YUHLVD
4. Zolotov DV, Chernykh DV, Biryukov RY, Pershin DK, Malygina NS, Gribkov AV. Change of land use in Altai Krai: problems and prospects for the achievement of land degradation neutrality. *Arid Ecosystems*. 2020;26(2):25–33. (In Russ.). doi: 10.24411/1993-3916-2020-10092 EDN: RQKLQB

5. Bobushev TS, Sultanaliev KE. Evaluation and adaptation of the land degradation neutrality approach to land classification resources in the Kyrgyz Republic. *Arid Ecosystems*. 2020;26(2):43–47. (In Russ.). doi: 10.24411/1993-3916-2020-10094 EDN: LHCFL
6. Bananova VA, Lazareva VG, Menkeev VSG. Desertification processes of the vegetation cover of the Northwestern Caspian region and ways of its restoration. *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territorii*. 2019;(1):14–16. (In Russ.) doi: 10.24411/2071-7830-2019-10004 EDN: EOLMRM
7. Namrueva LV. Environmental situation in contemporary Kalmykia: an interdisciplinary study. *The New Research of Tuva*. 2022;(2):102–114. (In Russ.). doi: 10.25178/nit.2022.2.7 EDN: UCOQDB
8. Dedova EB, Goldvarg BA, Tsagan-Mandzhiev NL. Land degradation of the republic of kalmykia: problems and ways to recover. *Arid Ecosystems*. 2020;26(2):63–71. (In Russ.). EDN: PQELOX
9. Tyutyuma NV, Bulakhtina GK. Technological methods for reclamation of degraded arid pastoral ecosystems in the Northern Caspian region. In: *Steppes of Northern Eurasia: conference proceedings*. Orenburg; 2024. p.1369–1375. (In Russ.). doi: 10.24412/cl-37200-2024-1369-1375 EDN: FDSYPT
10. Rybashlykova LP, Turko SY. Plant community transformations in desert rangeland ecosystems — evidence from the North-Western Caspian lowland. *Rastitelnye resursy*, 2023;59(1):93–106. (In Russ.). doi: 10.31857/S0033994623010090 EDN: YASSYH
11. Yashin IM, Vasenev II, Vornikov DV, Petukhova AA. Ecological state and degradation of chernozems of the Volga upland. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;(1):41–52. (In Russ.). EDN: OQQRDN
12. Bulakhtina GK, Tyutyuma NA. Assessment of arid forage plants as phytomeliorants of deserted pasture ecosystems. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;(1):148–157. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-15 EDN: ODLJCT
13. Kryuchkov SN, Matiss GY. *Lesorazvedenie v zasushlivykh usloviyakh* [Afforestation in arid conditions]. Volgograd; 2014. (In Russ.). EDN: YSBXRB
14. Kulik KN. The current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of droughts and land desert cation. *Scientific Agronomy Journal*. 2022;(3):8–13. (In Russ.). doi: 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13 EDN: LWWQFG
15. Manaenkov AS. The formation of steppe and protective afforestation: theoretical and applied aspects in the contemporary context. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2016;(2):5–23. (In Russ.). doi: 10.15350/2306-2827.2016.2.5 EDN: WDHHEB

Об авторе:

Баканева Анна Александровна — младший научный сотрудник, отдел рационального природопользования, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: solnce5508@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2619-8794 SPIN-код: 7306-1060

About author:

Bakaneva Anna Aleksandrovna — Junior Researcher, Department of Environmental Management, Pricaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny quarter, Solenoye Zaymishche, Chernoyarsky District, Astrakhan Region, 416251, Russian Federation; e-mail: solnce5508@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2619-8794 SPIN-code: 7306-1060



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-223-233

EDN JFDZXH

УДК 631.559:631.674

Научная статья / Research article

Алгоритмизация управления биопродуктивностью озимых зерновых культур с учетом гидротермического коэффициента Селянинова в почвенно-климатических условиях Юга России

Д.А. Рогачев¹ , **А.Ф. Рогачев²**  ¹ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация²Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Российская Федерация rafr@mail.ru

Аннотация. Управление производственными процессами в орошаемом земледелии на основе комплексного учета агроклиматических условий возделывания озимых зерновых культур — одна из ключевых научно-практических задач современного растениеводства, напрямую связанная с повышением эффективности агротехнических и мелиоративных мероприятий. Особую значимость проблема приобретает для засушливых почвенно-климатических зон Юга России, где в условиях нарастающей аридности природной среды формирование урожайности определяется сложным взаимодействием климатических, биологических и технологических факторов. Многочисленные исследования свидетельствуют о тенденции дальнейшего роста дефицитов влагообеспеченности и других ограничений производственного процесса вследствие изменений климата, что обуславливает необходимость совершенствования технологий возделывания зерновых культур, ориентированных на адаптацию агроэкосистем к напряженным природно-хозяйственным условиям и основанных на учете гидротермических показателей. Цель исследования — устранение биотехнологического противоречия между высоким урожаем низкого качества и получением качественного зерна, не обеспечивающего окупаемость производственных затрат. Для разработки технологии возделывания агрокультур с учетом влияния гидротермической обеспеченности провели анализ почвенно-климатических условий Волгоградской области как типичного представителя зоны рискованного земледелия на Юге России. Разработаны «Способ управления производственными процессами сельскохозяйственных растений в условиях резко континентального климата» (патент РФ № 2228607) и технология управления биопродук-

© Рогачев Д.А., Рогачев А.Ф., 2026

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

тивностью озимых культур, учитывающая зональные величины гидротермического коэффициента Селянинова ($G_{\text{сел}} = 0,3 \dots 0,6$), характерные для засушливых условий Юга России. Технология, апробированная в производственных условиях Волгоградской области, обеспечивает возможность управления процессами достижения биологической продуктивности озимых зерновых в засушливых почвенно-климатических условиях с одновременной оценкой их потенциальной урожайности.

Ключевые слова: влагообеспеченность, аридизация, патентные исследования, производственные процессы, качественное зерно

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

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

История статьи: поступила в редакцию 28 марта 2025 г., принята к публикации 3 февраля 2026 г.

Для цитирования: Рогачев Д.А., Рогачев А.Ф. Алгоритмизация управления биопродуктивностью озимых зерновых культур с учетом гидротермического коэффициента Селянинова в почвенно-климатических условиях Юга России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 223–233. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-223-233 EDN: JFDZXH

Algorithmization of bioproductivity management of winter grain crops adjusting the Selyaninov hydrothermal coefficient in the soil and climatic conditions of Southern Russia

Dmitry A. Rogachev¹ , Aleksey F. Rogachev²  

¹Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
 rafr@mail.ru

Abstract. Managing production processes in irrigated agriculture based on a comprehensive consideration of agroclimatic conditions for winter grain crop cultivation is one of the key scientific and practical tasks of modern crop production, directly related to increasing the efficiency of agrotechnical and land reclamation measures. This problem is particularly significant for the arid soil and climatic zones of southern Russia, where, in conditions of increasing environmental aridity, crop yields are determined by a complex interaction of climatic, biological, and technological factors. Numerous studies indicate a trend toward further increasing moisture deficits and other production constraints due to climate change, necessitating improved grain crop cultivation technologies that are aimed at adapting agroecosystems to challenging natural and economic conditions and consider hydrothermal parameters. The objective of this study was to eliminate the biotechnological contradiction between high yields of low quality and the production of high-quality grain that does not ensure the return on production costs. To develop a technology for cultivating agricultural crops considering the influence of hydrothermal conditions, an analysis of the soil and climatic conditions of the Volgograd region was carried out as a typical representative of the risky farming zone in Southern Russia. A “Method for Managing Agricultural Plant Production Processes in Extreme Continental Climate Conditions” (RU Patent No. 2228607) and a technology for managing winter crop bioproductivity were developed, taking into account the zonal values of the Selyaninov hydrothermal coefficient ($G_{\text{сел}} = 0.3 \dots 0.6$),

typical of the arid conditions of southern Russia. The technology, tested under production conditions in the Volgograd region, enables the management of processes for achieving biological productivity in winter grains in arid soil and climatic conditions while simultaneously assessing their yield potential.

Keywords: cereal crops, moisture availability, aridization, patent research, production processes, high-quality grain, yield

Author's contribution. The authors contributed equally to obtaining and processing the research results and writing the manuscript.

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

Article history: received 28 March 2025; accepted 3 February 2026.

For citation: Rogachev DA, Rogachev AF. Algorithmization of bioproductivity management of winter grain crops adjusting the Selyaninov hydrothermal coefficient in the soil and climatic conditions of Southern Russia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):223–233. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-223-233 EDN: JFDZXH

Введение

Управление продукционными процессами орошаемого земледелия на основе учета агроклиматических условий возделывания озимых зерновых культур представляет собой важную задачу, решение которой актуально для оценки эффективности проводимых агротехнических и мелиоративных мероприятий. В особенности это относится к засушливым почвенно-климатическим условиям Юга России в условиях аридизации, где необходимо учитывать совокупность агроклиматических, биологических и технологических факторов возделывания сельскохозяйственных культур [1–3].

В острозасушливых условиях структуру сельскохозяйственных культур севооборотов следует выбирать с учетом не только требуемых объемов их производства на рассматриваемой площади, но и уязвимости культур, в частности, с учетом неблагоприятных погодных явлений, вероятности засух и их характеристик [4–7].

Традиционным методом борьбы с засухами и суховеями [8–11] можно считать повышение влагосодержания почвы методом водных мелиораций. Но основным препятствием практического применения оросительных мелиораций является дефицит водных ресурсов. Другое ограничение данного подхода, в существенной степени сдерживающее масштабы практического его использования даже при наличии источников воды, — потребность в значительных затратах материальных и финансовых ресурсов.

По результатам многочисленных исследований, эти проблемы будут обостряться со временем вследствие наблюдающихся аридизации почвенно-климатических условий и глобального потепления. Это обосновывает актуальность разработок, совершенствующих технологии возделывания зерновых культур в напряженных природно-хозяйственных условиях, включая гидротермические.

Цель исследования — устранение биотехнологического противоречия между большим урожаем низкого качества (фуражного применения) и низкой окупаемостью производственных затрат при получении качественного зерна.

Материалы и методы исследования

В дополнение к анализу научно-технической литературы по направлению исследований проведен патентный поиск по отобранным рубрикам международной патентной классификации (МПК) **A01G 7/00; A01G 22/00; G01W 1/02** и др. Патентные исследования выявили ряд известных способов управления производственными процессами, в т.ч. на основе прогнозирования урожайности и качества зерна, а также методов снижения рисков в сельскохозяйственном производстве, связанных с опасными для земледелия явлениями природы [5].

Анализировали также методы искусственного вызова осадков из облаков либо их увеличения, активного воздействия на облака и др. (в т.ч. МПК **G01W 1/02**).

Для разработки технологии производства агрокультур с учетом влияния гидротермических условий возделывания провели анализ почвенно-климатических условий Волгоградской области, отобранной в качестве типичного представителя засушливых условий земледелия на Юге России.

Особенность Волгоградской области как типичного для Нижнего Поволжья региона с точки зрения изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур составляет резко-континентальный климат, включая даже раннелетние засухи. Отмечены годы (например, 2010 г.), в которые за май-июнь наблюдали 4...18 мм осадков при норме более 30 мм. Местоположение и природно-климатические условия Волгоградской области характеризуется как зона рискованного земледелия.

Учет гидротермических условий возделывания агрокультур осуществляли с использованием величины гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), измеряемого отношением выпавших осадков к сумме температур.

Вычисление ГТК, мм/°С, проводилось по зависимости

$$G_{\text{сел}} = 10 \cdot \frac{\Sigma P}{\Sigma t}, \quad (1)$$

где $G_{\text{сел}}$ — численное значение ГТК, мм/°С; ΣP — значение суммы осадков, выпавших за период, в пределах которого температура воздуха была выше +10 °С, мм; Σt — интегральное значение суммы положительных температур, рассчитанное за тот же период, °С.

Отметим, что ГТК является комплексным показателем тепло- и влагообеспеченности условий возделывания, характеризующим складывающиеся климатические условия хозяйственного года в плане обеспеченности тепло- и влагоресурсами. Моделирование межгодовой изменчивости значений ГТК за периоды вегетации представляет собой отдельную проблему, решаемую различными расчетно-эмпирическими методами, например [12].

При разработке описываемой технологии использовали методы математико-статистического моделирования урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнологических и природно-климатических факторов, описанные в научной и технической литературе [6–11].

Известны региональные рекомендации по выбору агротехнических параметров при возделывании зерновых культур в засушливых условиях Волгоградского региона [13–16].

При обосновании рациональных значений нормы высева семян следует учитывать долю растений, не сохранившихся до уборочного периода. В частности, при возделывании пшеницы на черноземных почвах густота стояния не должна быть ниже 500...600 шт./м². При высеве кондиционных семян на каштановых почвах густота стояния растений может снижаться до 300...450 шт./м². В условиях степной и сухостепной зоны Волгоградской области РФ при календарных сроках посева с 25 августа по 5 сентября рекомендовано устанавливать норму высева на каштановых и темно-каштановых почвах равной 3,5...4,0 млн шт./га. На светло-каштановых почвах в полупустынной зоне оптимально высевать озимые культуры в период с 1 по 10 сентября с нормой высева 2,5...3,0 млн шт./га при температуре почвы и воздуха в период сева не ниже +18°...+12 °С.

Результаты исследования и обсуждение

В процессе проведенного патентного поиска при разработке метода экспресс-оценки потенциальной продуктивности сельскохозяйственных растений в качестве базового выбрали способ [6], который включал отбор семян, их замачивание в водном растворе калийной соли с инструментальным измерением скорости увеличения концентрации ионов водорода. Авторы [6] установили, что оцениваемая потенциальная продуктивность растений находится в прямолинейной зависимости от этой характеристики.

Описанный способ позволяет упростить технологию диагностики, а также способствует повышению достоверности оценки продуктивности, однако некоторым недостатком является ограниченность диапазона прогнозирования, поскольку его проблематично масштабировать на другие регионы, отличающиеся иными условиями.

Из патентных исследований известен способ оценки продуктивности озимых зерновых культур, например, озимой пшеницы и ячменя, который включает оптимизацию сроков и норм высева. Предлагается обеспечивать сумму накопленных в процессе вегетации температур, равную 600 °С [1].

В [2] изложен способ оценки урожайности озимых зерновых культур, возделываемых в условиях засушливого климата, включающий оптимизацию агротехнических параметров при температуре сева в пределах +12...+18 °С. Недостаток способа, обуславливающий необходимость его совершенствования, заключается в отсутствии рекомендаций для корректировки агротехнологических параметров согласно складывающимся климатическим условиям тепло- и влагообеспеченности.

На карте районирования по агроклиматическим показателям территории региона Волгоградской области, включая суммы температур за период вегетации, превышающих 10 °С, и гидротермических изолиний коэффициента $G_{\text{сел}}$, (рис. 1) пунктирными линиями показаны границы административных районов, а цифровыми и буквенными обозначениями — их номера. Контуры типичных изолиний суммарных температур изображены через 200 °С, а значений гидротермических коэффициентов — через 0,1.

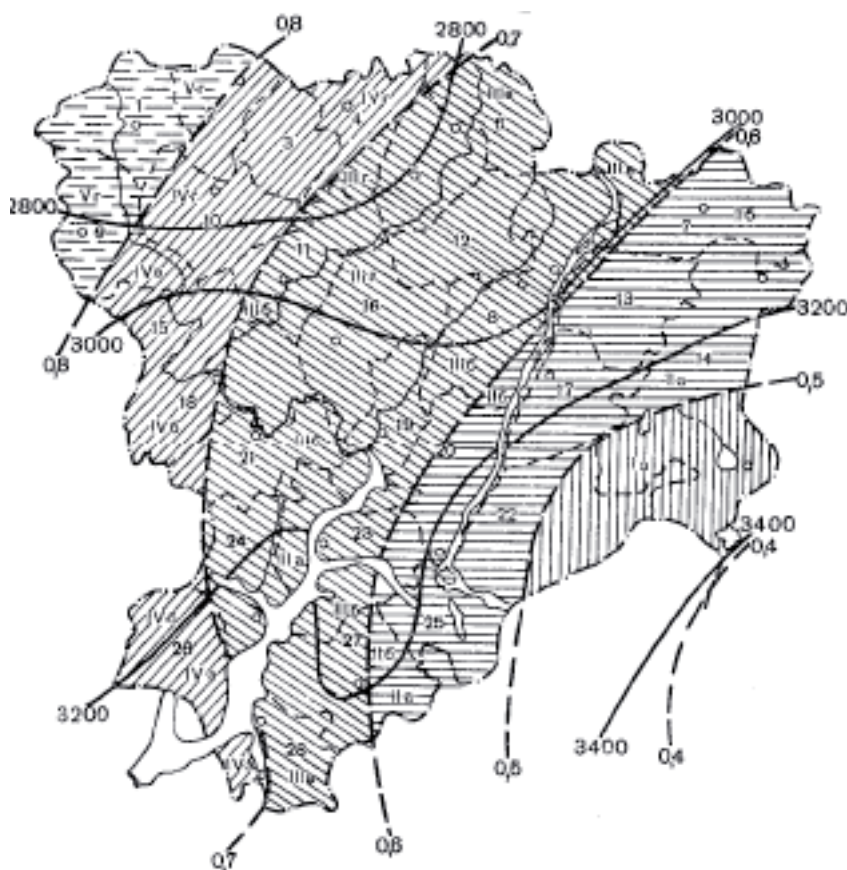


Рис. 1. Агроклиматическое районирование Волгоградской области

Источник: по материалам Агроклиматического справочника по Волгоградской области¹.

В связи с изложенным поставлена задача разработки технологии возделывания озимых зерновых колосовых культур и прогнозирования продуктивности и качества зерна по результатам фенологических наблюдений.

Для решения задачи разработан «Способ управления продукционными процессами сельскохозяйственных растений в условиях резко континентального климата» [4], защищенный патентом РФ № 2228607.

¹ Агроклиматический справочник по Волгоградской области / под ред. З.М. Русива, Л.И. Царькова. Издание 2-е, испр., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 144 с.

Разработанная модифицированная технология для оценки потенциальной продуктивности основана на оптимизации агротехнических сроков и норм высева апробирована в условиях Волгоградской области.

Алгоритмической основой предложенного метода является корректировка величины нормы высева семян расчетным численным значением ГТК $G_{\text{сел}}$, определяемым для региона выращивания зерновой культуры.

Алгоритм учета влияния ГТК предусматривает следующие корректировки агротехнических параметров в зависимости от его величины:

- при $G_{\text{сел}} < 0,5$ норму высева уменьшают на 10...15 % от расчетных величин, а ширину междурядий увеличивают с 15 до 22,5 см;
- $G_{\text{сел}}$ в пределах 0,5...0,9 норму высева сохраняют в рекомендуемых значениях,
- $G_{\text{сел}} > 0,9$ норму высева увеличивают на 20...25 % при уменьшении величины междурядий до 7,5 см.

Таким образом, управление процессом биопродуктивности при возделывании посевов зерновых реализуется с помощью учета величины ГТК, характеризующего их фактическую тепло- и влагообеспеченность. Величину ГТК определяют расчетным или графоаналитическим методом.

Реализация описанного подхода позволяет одновременно численно оценить урожайность озимых зерновых культур по формуле

$$Y_{03} = aG_{\text{сел}}S + b, \quad (2)$$

где Y_{03} — оценка величины урожайности, т/га; a и b — параметры, определяемые по многолетним эмпирическим данным, например, методом наименьших квадратов; S — накопленная сумма положительных температур от момента посева до прекращения вегетации, °С; $G_{\text{сел}}$ — величина гидротермического коэффициента, принимаемая для региона агропроизводства, мм/°С.

Результаты полевых исследований, в которых изучалось влияния нормы высева семян на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Донщина, приведены в табл. 1. В процессе исследований ширина междурядий составляла 22,5 см при величине глубины посева семян пшеницы 5...6 см. Полевые опыты проводили с 6 по 8 сентября на каштановых почвах в сухостепной зоне Волгоградской области. Величина $G_{\text{сел}}$ для опытного хозяйства принималась равной 0,9.

По данным многолетних наблюдений значения коэффициентов в зависимости (2) составили:

$$a = 0,008; b = 0,390.$$

Значение константы суммы температур принимались $S = 600$ °С.

Численный расчет позволил получить точечную оценку прогноза продуктивности на следующий год по зависимости (2), которая составила

$$Y_{\text{зк}} = 0,008 \cdot 600 \cdot 0,9 + 0,390 = 4,71 \text{ т/га}. \quad (3)$$

Точечная оценка прогноза продуктивности озимой пшеницы сорта Дон 95 для $S = 585^{\circ}\text{C}$, выполненная по зависимости (2), составила

$$Y_{\text{зк}} = 0,008 \cdot 585 \cdot 1,3 + 0,390 = 6,74 \text{ т/га.} \tag{4}$$

Таблица 1

Зависимость продуктивности и качества зерна озимой пшеницы сорта Донщина от величины нормы высева

Норма высева, 10 ⁶ шт./га	Урожайность, т/га	Количество выпадов в осенне-зимний период, %	Количество стеблей в период уборки, шт./м ²	Содержание белка, %	Клейковина, %
1,5	2,83	11,4	275	10,6	23,1
2,0	3,12	10,7	316	12,7	28,5
2,5	4,27	9,2	362	14,3	32,4
3,0	4,53	7,3	389	15,1	34,7
3,5	4,63	6,9	426	16,2	37,3
3,6	4,71	5,2	458	15,8	35,1
3,7	4,72	5,8	482	15,1	33,1
3,8	4,58	6,3	492	14,2	30,2
3,9	3,87	6,6	496	13,6	28,1
4,0	3,62	6,7	472	10,6	27,6

Источник: составлено Д.А. Рогачевым, А.Ф. Рогачевым по данным [4].

Влияние нормы высева семян на урожайность озимой пшеницы сорта Донщина, аппроксимированное квадратичным полиномом, показано на рис. 2.

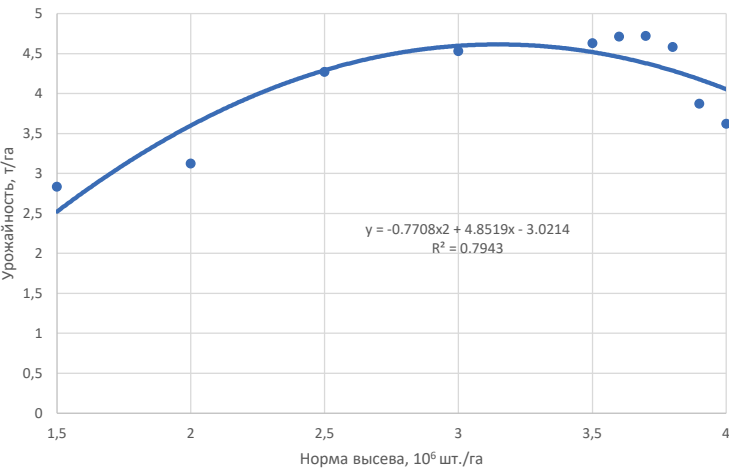


Рис. 2. Зависимость продуктивности озимой пшеницы сорта Донщина от нормы высева семян

Источник: составлено Д.А. Рогачевым, А.Ф. Рогачевым.

Регрессионная зависимость продуктивности озимой пшеницы сорта Донщина от нормы высева семян аппроксимируется формулой с приемлемой точностью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,7943$).

$$Y = -0,7708x^2 + 4,8519x - 3,0214, \tag{5}$$

где x — норма высева семян, млн шт./га.

Экспериментально установлено, что ширина междурядий при выращивании озимой пшеницы также может определять качество зерна [4], что иллюстрируется приведенными данными (табл. 2).

Таблица 2

Влияние ширины междурядий на урожайность Y , т/га, и качество зерна (содержание белка B и клейковины K , %)

№	Сорт	Ширина междурядий, см											
		7,5			15,0			22,5			30,0		
		Y	B	K	Y	B	K	Y	B	K	Y	B	K
1	Дон 93	4,83	17,1	34,7	4,37	16,8	33,2	4,15	15,7	30,2	3,37	12,3	29,2
2	Дон 95	4,13	16,2	30,2	3,99	16,1	29,8	3,78	15,6	28,7	3,15	14,2	26,3
3	Волгоградская 84	6,31	16,4	35,3	5,87	15,8	33,3	4,13	15,1	31,8	3,27	14,8	29,7
4	Донщина	3,36	16,2	37,3	3,12	15,8	36,2	2,87	12,6	31,2	2,13	10,6	23,1
5	Краснодарская 39	3,17	14,2	36,3	2,85	13,8	33,0	2,67	13,1	32,6	2,12	12,4	29,8
6	Мироновская юбилейная	4,15	18,6	38,6	3,86	17,9	37,4	3,41	16,3	34,3	2,97	12,7	31,3
7	Саратовская 90	3,09	14,4	30,3	5,72	15,8	32,3	4,13	13,6	28,4	3,62	12,4	24,9

Источник: составлено Д.А. Рогачевым, А.Ф. Рогачевым по данным [4].

При изучении влияния ширины междурядий на урожайность значения величины междурядий менее 7,5 см не рассматривались ввиду невозможности технологической реализации (рис. 3).

Регрессионная зависимость продуктивности озимой пшеницы сорта Донщина от ширины междурядий аппроксимируется формулой с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9865$.

$$Y = -0,0022x^2 + 0,0308x + 3,23, \tag{6}$$

где x — ширина междурядий, см.

Величины продуктивности анализируемых сортов озимой пшеницы согласуются с расчетами, выполненными по формуле (2), с приемлемой агротехнической

точностью, при этом расхождение значений расчетных и опытных данных находится в допустимых пределах ($\text{НСР} < 0,05$).

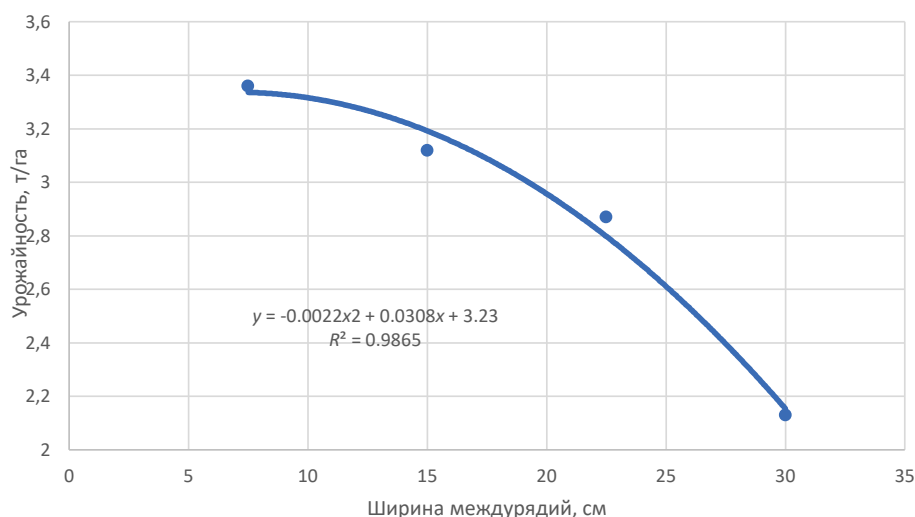


Рис. 3. Влияние ширины междурядий на урожайность озимой пшеницы сорта Донцина
Источник: составлено Д.А. Рогачевым, А.Ф. Рогачевым.

Заключение

Разработанная технология управления биопродуктивностью озимых культур, учитывающая зональные величины ГТК, характерные для засушливых условий Юга России, обеспечивает возможность управления процессами достижения биологической продуктивности озимых зерновых в засушливых почвенно-климатических условиях с одновременной оценкой их потенциальной урожайности.

Достаточная высокая сходимость значений фактической урожайности озимых зерновых культур с прогнозной оценкой их потенциальной продуктивности ($\text{НСР} < 0,05$) позволяет планировать результаты зернового аграрного производства с обеспечением программируемой эффективности на следующий хозяйственный год.

Список литературы

1. Анкудович Ю.Н. Влияние климатических факторов и систем удобрения на урожайность зерновых культур // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 1 (41). С. 3. doi: 10.23649/JAE.2024.41.1 EDN: HJLYEB
2. Korsak V., Pronko N., Karpova O., Shadskikh V., Kizhaeva V. Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river // Advances in Dynamical Systems and Applications. 2021. Vol. 16. № 1. Pp. 121–132. doi: 10.37622/adsa/16.1.2021.121-132 EDN: ZMMQKB
3. Патент № 2271096 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00. Способ прогнозирования урожайности озимых зерновых культур в условиях засушливого климата: № 2004123690/12: заявл. 02.08.2004: опубл. 10.03.2006 / А.Ф. Рогачев, А.М. Салдаев; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия». EDN: CHWDTE

4. Патент № 2228607 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00. Способ управления процессами при возделывании озимых зерновых культур в условиях засушливого климата: № 2002126981/12: заявл. 09.10.2002: опубл. 20.05.2004 / А.Ф. Рогачев, А.М. Салдаев, Д.А. Рогачев; заявитель Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия. EDN: ODGSGN
5. Патент № 2794981 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00, А01G 22/00, G01W 1/02. Способ определения степени засухи и вероятности её наступления при производстве сельскохозяйственных культур в условиях засух: № 2022110971: заявл. 20.04.2022: опубл. 26.04.2023 / Б.А. Ашабоков, Л.М. Федченко, Х.М.Х. Байсиев и др.
6. Авторское свидетельство № 1414355 А1 СССР, МПК А01G 7/00. Способ экспресс-диагностики потенциальной продуктивности растений: № 4139372: заявл. 27.10.1986: опубл. 07.08.1988 / Л.Н. Воробьев, Н.Н. Егорова, А.И. Мартыненко.
7. Асаланов П.Г., Бендик Н.В., Иванов Я.М. Задача оптимизации сельскохозяйственного производства с учетом своевременности посева и природных событий // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образования ИРГСХА (27–29 мая 2014 г.). Часть II. Иркутск : Изд-во ИРГСХА, 2014. С. 3–8. EDN: JHZQTV
8. Белякова А.Ю., Ващукевич Е.В., Иванов Я.М. Оптимизация производства сельскохозяйственной продукции при редком сочетании засух и гидрологических событий // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образования ИРГСХА (27–29 мая 2014 г.). Часть II. Иркутск : Изд-во ИРГСХА, 2014. С. 9–15. EDN: VIXPQZ
9. Ващукевич Е.В., Иванов Я.М. Математические модели аграрного производства с вероятностными характеристиками засух и гидрологических событий : монография. Иркутск : Изд-во ИРГСХА, 2012. 150 с.
10. Патент № 2721857 С2 Российская Федерация, МПК А01G 7/00, А01C 7/00, А01B 49/06. Способ сохранения водных ресурсов и борьбы с опустыниванием и засухой: № 2018124757: заявл. 05.07.2018: опубл. 25.05.2020 / С.В. Бриндюк. EDN: BYTLHN
11. Патент № 2464776 С2 Российская Федерация, МПК А01G 25/00, А01G 25/02. Способ регулирования фитолимата в агрофитоценозах при капельном орошении и система для его осуществления: № 2010120980/13: заявл. 24.05.2010: опубл. 27.10.2012 / А.С. Овчинников, В.С. Бочарников, О.В. Бочарникова и др.; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия». EDN: ZLFWTJ
12. Pavlova V.N., Chernova O.V., Alyabina I.O., Romanenkov V.A., Karachenkova A.A. Assessment of control impacts on winter wheat productivity under changing agroclimatic resources: a case study for the Rostov Oblast // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2024. Vol. 49. № 6. P. 520–530. doi: 10.3103/S1068373924060062 EDN: CGASWO
13. Личман Г.И., Беленков А.И. Принятия решений при возделывании сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия // Нивы России. 2016. № 1 (134). С. 58–60. EDN: WMKXAN
14. Сарычев А.Н. Особенности возделывания озимой пшеницы в условиях агролесоландшафта в засушливых районах Волгоградской области // Научные и технологические подходы в развитии аграрной науки : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Солёное Займище, 13–15 мая 2014 г. ГНУ Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, Региональный Фонд «Аграрный университетский комплекс», Прикаспийский научно-производственный центр по подготовке научных кадров. Солёное Займище : Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2014. Т. I. С. 65–70. EDN: VKOKLD
15. Кузин А.Г. Продуктивность сортов озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения и нормы посева на южном черноземе Волгоградской области : автореф. дисс. ... канд. сельскохозяйств. наук. Волгоград, 2008. 22 с. EDN: NJJZGD
16. Тихонов Н.И., Махмаев И.С. Технология возделывания озимой пшеницы в полупустынной зоне светло-каштановых почв Волгоградской области : монография. Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2014. 188 с. EDN: UCXGWC

Об авторах:

Рогачев Дмитрий Алексеевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНЦ «Гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: Rogachev.soft@gmail.com
 ORCID: 0009-0003-4014-4770 SPIN-код: 1948-7354

Рогачев Алексей Фруминович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры математического моделирования и информатики, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: rafr@mail.ru
 ORCID: 0000-0002-3077-6622 SPIN-код: 8413-5020



Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-234-248

EDN JIHMQW

УДК 633.34:575.113

Научная статья / Research article

Анализ дифференциальной экспрессии генов глицининов и β -конглицининов сортов сои европейской и канадской селекции

А.А. Катрушенко  , А.А. Иваний , А.А. Пензин ,
А.П. Галиченко , П.Д. Тимкин 

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск, Российская
Федерация
 lsi@vniisoi.ru

Аннотация. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является одним из основных источников высококачественного белка для пищевых и кормовых целей. Запасные белки семян — глицинин (11S) и β -конглицинин (7S) — различаются по аминокислотному составу и функциональным свойствам, а их соотношение выступает ключевым фактором качества сои. Цель исследования — оценить белковый профиль сортов сои европейской и канадской селекции на основе анализа дифференциальной экспрессии генов глицининов и β -конглицининов. Шесть сортов сои (ЕСГ 1813, РТЖ Спида, Ме 5, Мю 5 — Франция; Н.С. Катя — Сербия; Кассиди — Канада) выращивали в 2023–2024 гг. на базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (Амурская область). Из зрелых семян выделяли тотальную РНК, синтезировали кДНК и анализировали уровень экспрессии генов *Gy1–Gy5*, *Gy7*, *Cg1*, *Cg3* и *Cg4* методом количественной ПЦР в реальном времени. В качестве референтного гена использовали *Tubulin*. Относительную экспрессию рассчитывали методом $2^{-\Delta\Delta C_t}$. Все праймеры показали высокую специфичность, подтвержденную единичными пиками плавления. Экспрессия гена *Gy7* не обнаружена ни у одного из сортов, что согласуется с его утратой или супрессией в процессе селекции. Большинство сортов характеризовались консервативными профилями экспрессии генов *Gy1*, *Gy2* и *Gy3*. У двух сортов выявлены уникальные паттерны экспрессии: Кассиди (Канада) — достоверно повышенная экспрессия гена *Gy4*, Мю 5 (Франция) — достоверно повышенная экспрессия гена *Gy5*.

© Катрушенко А.А., Иваний А.А., Пензин А.А., Галиченко А.П., Тимкин П.Д., 2026



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

($p < 0,05$). Сорт РТЖ Спида (Франция) продемонстрировал достоверно повышенную экспрессию гена *Cg3*. По суммарному соотношению транскриптов глицининов и β -конглицининов сорта четко разделились на высокоглицининовые (Мю 5 — 86 %, Кассиди — 82 %, Ме 5 — 64 %) и высоко- β -конглицининовые (Н.С. Катя — 67 %, РТЖ Спида — 63 %, ЕСГ 1813 — 53 %). Выявленный диапазон соотношения 11S/7S (0,5...6,1) существенно превышает ранее опубликованные данные для американских и бразильских сортов. Идентифицированные сорта-доноры (Кассиди — высокая экспрессия *Gy4*, Мю 5 — высокая экспрессия *Gy5*, РТЖ Спида — высокая экспрессия *Cg3*) представляют собой ценный генетический материал для российских селекционных программ. Они могут быть использованы для интрогрессии регуляторных аллелей, обеспечивающих направленное изменение состава запасных белков, что позволит создавать новые сорта сои с оптимизированным качеством белка и улучшенными технологическими свойствами, адаптированные к агроклиматическим условиям Российской Федерации.

Ключевые слова: *Glycine max*, кПЦР, запасные белки семян, гены *Gy* (1–5), *Gy7*, гены *Cg1*, *Cg3*, *Cg4*

Вклад авторов: А.А. Катрушенко — проведение ПЦР-анализа в реальном времени, выделение тотальной РНК, синтез кДНК, написание первоначального текста рукописи; А.А. Иваний — выделение тотальной РНК, синтез кДНК, подготовка реакционных смесей, участие в проведении ПЦР-анализа; А.А. Пензин — статистическая обработка данных, визуализация результатов, подготовка графических материалов; А.П. Галиченко — предоставление растительного материала, организация и проведение полевых экспериментов, выращивание исследуемых сортов сои; П.Д. Тимкин — разработка концепции исследования, научное руководство, планирование эксперимента, подбор и валидация праймеров, оптимизация протоколов ПЦР-РВ, анализ и интерпретация полученных данных, написание и критическое редактирование рукописи, формулирование выводов. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы научно-исследовательской работы № 082–2025–0001.

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

История статьи: поступила в редакцию 14 ноября 2025 г., принята к публикации 24 февраля 2026 г.

Для цитирования: Катрушенко А.А., Иваний А.А., Пензин А.А., Галиченко А.П., Тимкин П.Д. Анализ дифференциальной экспрессии генов глицининов и β -конглицининов сортов сои европейской и канадской селекции // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 234–248. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-234-248 EDN: JIHMQR

Analysis of differential expression of glycinin and β -conglycinin genes in European and Canadian soybean varieties

Anastasiya A. Katrushenko^{ID} ✉, Alena A. Ivaniy^{ID},
Andrei A. Penzin^{ID}, Anna P. Galichenko^{ID}, Pavel D. Timkin^{ID}

All-Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russian Federation
✉ lsi@vniisoi.ru

Abstract. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is a major source of high-quality protein for food and feed. The seed storage proteins, glycinin (11S) and β -conglycinin (7S), differ in amino acid composition and functional properties, and their ratio is a key determinant of soybean quality. This study aimed to analyze the differential

expression of glycinin and β -conglycinin genes in European and Canadian soybean varieties to assess their storage protein profiles. Six European and Canadian soybean varieties (ESG 1813, RTZh Spida, Me 5, Mu 5 — France; N.S. Katya — Serbia; Cassidy — Canada) were grown in 2023–2024 at All-Russian Research Institute of Soybean, Amur region. Total RNA was isolated from mature seeds, cDNA was synthesized, and expression levels of *Gy1*–*Gy5*, *Gy7*, *Cg1*, *Cg3*, and *Cg4* genes were analyzed by quantitative real-time PCR. The *Tubulin* gene was used as an internal reference. Relative expression was calculated using the $2^{-\Delta\Delta C_t}$ method. All primers showed high specificity confirmed by single melting peaks. *Gy7* gene expression was not detected in any variety, consistent with its loss or suppression during breeding. Most varieties displayed conserved expression profiles for *Gy1*, *Gy2*, and *Gy3*. Two varieties exhibited unique expression patterns: Cassidy (Canada) showed significantly increased *Gy4* expression, and Mu 5 (France) showed significantly increased *Gy5* expression ($p < 0.05$). RTZh Spida (France) demonstrated significantly elevated *Cg3* expression. Based on total glycinin/ β -conglycinin transcript ratios, varieties were clearly divided into high-glycinin (Mu 5 — 86%, Cassidy — 82%, Me 5 — 64%) and high- β -conglycinin (N.S. Katya — 67%, RTZh Spida — 63%, ESG 1813 — 53%) groups. The observed 11S/7S ratio range (0.5–6.1) substantially exceeded previously reported values for American and Brazilian cultivars. The identified donor varieties (Cassidy — high *Gy4* expression, Mu 5 — high *Gy5* expression, RTZh Spida — high *Cg3* expression) represent valuable genetic resources for Russian breeding programs. They can be used to introgress regulatory alleles for targeted manipulation of storage protein composition, enabling the development of new soybean cultivars with optimized protein quality and technological properties adapted to agroclimatic conditions of the Russian Federation.

Keywords: *Glycine max*, qPCR, seed storage proteins, PCR, *Gy* (1–5), *Gy7* genes, *Cg1*, *Cg3*, *Cg4* genes

Author' Contribution: Katrushenko A.A. — performing real-time PCR analysis, total RNA isolation, cDNA synthesis, writing the manuscript; Ivaniy A.A. — total RNA isolation, cDNA synthesis, preparation of reaction mixtures, participation in PCR analysis; Penzin A.A. — statistical data processing, data visualization, preparation of graphic materials; Galichenko A.P. — provision of plant material, organization and conduct of field experiments, cultivation of the studied soybean varieties; Timkin P.D. — conceptualization of the research, scientific supervision, experimental design, primer selection and validation, optimization of real-time PCR protocols, analysis and interpretation of obtained data, writing and critical revision of the manuscript, formulation of conclusions. All authors read and approved the final manuscript.

Funding. The study was conducted within the framework of research project no. 082–2025–0001.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Article history: received 14 November 2025; accepted 24 February 2026.

For citation: Katrushenko AA, Ivaniy AA, Penzin AA, Galichenko AP, Timkin PD. Analysis of differential expression of glycinin and β -conglycinin genes in European and Canadian soybean varieties. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):234–248. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-234-248 EDN: JIHMOW

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) — одна из ключевых зернобобовых культур в мировом масштабе — служит основным источником высококачественного белка для пищевых и кормовых продуктов [1, 2]. Питательная и технологическая ценность получаемых из сои производных напрямую определяется составом и соотношением ее запасных белков [3, 4].

Основную долю (до 70...80 %) семенного протеина составляют два глобулина — глицинин (11S) и β -конглицинин (7S) [5, 6]. Эти белки имеют принципиальные структурные и функциональные различия. Глицинин, обладая более сбалансированным аминокислотным составом с высоким содержанием серосодержащих аминокислот, определяет высокую питательную ценность. В то же время β -конглицинин, практически лишенный цистеина и метионина, оказывает значительное

влияние на функционально-технологические свойства, такие как эмульгирующая и гелеобразующая способность [7, 8]. Таким образом, соотношение глицинина и β -конглицинина — критически важный параметр качества семян, определяющий их дальнейшее целевое использование [9].

Данное соотношение носит генетически детерминированный характер и контролируется активностью мультигенных семейств. Субъединицы глицинина кодируются генами *Gy1–Gy5* и *Gy7*, а β -конглицинина — генами *Cg1*, *Cg3* и *Cg4* [10, 11]. Дифференциальная экспрессия этих генов лежит в основе межсортовой изменчивости белкового профиля. Для точного количественного анализа экспрессии в современной молекулярной биологии стандартом является метод количественной полимеразной цепной реакции в реальном времени (кПЦР) [12].

Несмотря на значительный объем исследований в области генетики и протеомики сои, систематические данные по сравнительному анализу экспрессии генов запасных белков у современных зарубежных сортов, представляющих интерес для селекционных программ в специфических агроклиматических условиях России, остаются фрагментарными. Международные сорта часто используются в мировой практике в качестве генетических доноров ценных признаков и референтных образцов для сравнительных исследований. Их детальная молекулярная характеристика необходима для эффективного использования в российской селекции, направленной на создание высокопродуктивных сортов с адаптивным потенциалом и заданным качеством белка.

Цель исследования — сравнительный анализ профилей экспрессии генов глицининов (*Gy1*, *Gy2*, *Gy3*, *Gy4*, *Gy5*, *Gy7*) и β -конглицининов (*Cg1*, *Cg3*, *Cg4*) у набора перспективных сортов сои из Франции, Сербии и Канады.

Материалы и методы исследования

Полевой опыт был заложен в 2023 и 2024 гг. на опытном поле ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (село Садовое, Тамбовский район, Амурская область) на участках полевого севооборота. В исследовании использовали семена шести сортов европейской и канадской селекции, отобранные в фазе полной спелости (стадия R8): ЕСГ 1813, РТЖ Спиды, Ме 5 и Мю 5 (Франция), Н.С. Катя (Сербия) и Кассиди (Канада). Выбирали исследуемые объекты в соответствии со стратегией привлечения сортов-доноров с целевыми хозяйственно ценными признаками. Такие сорта служат в мировой практике референтными образцами для сравнительного анализа генетического разнообразия и профилей экспрессии генов, контролирующих важные компоненты качества, такие как белковый состав [13]. Для повышения надежности результатов анализ проводили по материалу, собранному в течение двух последовательных вегетационных сезонов (2023 и 2024 гг.). Для каждого сорта и каждого года выращивания сформировали отдельный биологический повтор.

Для выделения тотальной РНК зрелые семена каждого сорта от каждого года исследований измельчали в порошок в жидком азоте. Из навески массой 0,05 г тотальную РНК выделяли с использованием набора HiPure Plant RNA Mini Kit

(Magen Biotechnology, Китай) в строгом соответствии с инструкцией производителя. Концентрацию и чистоту полученной РНК оценивали на спектрофотометре NanoDrop (Thermo Fisher Scientific, США); для всех образцов соотношение A260/A280 находилось в диапазоне 1,8...2,0. На основе выделенной РНК синтезировали первую цепь кДНК с использованием набора для обратной транскрипции М–MuLV–РН (Биолабмикс, Россия) и олиго(dT)16-праймера. Стандартная реакционная смесь объемом 30 мкл содержала: 4 мкл матричной РНК, 4 мкл олиго(dT)16-праймера, 8 мкл 5× реакционного буфера, 2 мкл 10 mM dNTP, 4 мкл 0,1 М ДТТ, 2 мкл ревертазы М–MuLV–РН (100 ед./мкл) и 6 мкл воды, обработанной ДЭПК. Перед добавлением фермента смесь РНК и праймера инкубировали 3 минуты при 70 °С для денатурации вторичных структур, затем быстро охлаждали на льду. Реакцию обратной транскрипции проводили при 42 °С в течение 30 минут. Полученную кДНК использовали в качестве матрицы для последующего ПЦР-анализа.

Анализ экспрессии генов глицининов (*Gy1*, *Gy2*, *Gy3*, *Gy4*, *Gy5*, *Gy7*) и β-конглицининов (*Cg1*, *Cg3*, *Cg4*) проводили методом количественной ПЦР в реальном времени на амплификаторе CFX96 (Bio-Rad Laboratories, США). Для каждого гена использовали специфичные пары праймеров (табл.).

Последовательности пар праймеров

Локус (номер пары праймеров)	ID транскрипта	Прямой праймер	Обратный праймер	Длина ампликона
Gy1	KRH67385	GAAGAGGATGAGAAGCCACA	TGTCAGGTGATGAAGTCTGG	151
Gy2	KRH67383	AGACCGTCACCAAAAGGTA	CAACAACAGGAGTGTCTTCA	104
Gy3	KRG95667	ACAACACAAACATTCTCTCCA	CTCTCTGAAACTGAAAGCGA	118
Gy4	KRH32185	ACAAGCATGATGGTGTGAGG	CGATTGAAAGGTACAACGCC	142
Gy5	KRH19559	TGGAAGAGGATGTCAGACTA	AGACTGTTGAGGGTGCTAAT	135
Gy7	KRG95666	TGAAGGTGGGGATAACAAAG	GGGTCTTGGGTTTTTCTTCT	138
Cg-1	KRH35498	CACCAACCTCATCAAAAGGA	TCTTTGTCTTGCTCCTCATC	122
Cg-3	KRG91330	TACTATGATGAGAGCACGGT	TGGAGACACTTGTGTGTTT	123
Cg-4	KRG91303	GAACAAATTCGGCAACTGAG	CAGGGGTGATCTCAAGAAC	139

Источник: выполнено А.А. Катрушенко, П.Д. Тимкиным.

Sequences of primer pairs

Locus (number of the primer pair)	Transcript ID	Forward primer	Reverse primer	Amplicon length
Gy1	KRH67385	GAAGAGGATGAGAAGCCACA	TGTCAGGTGATGAAGTCTGG	151
Gy2	KRH67383	AGACCGTCACCAAAAGGTA	CAACAACAGGAGTGTCTTCA	104
Gy3	KRG95667	ACAACACAAACATTCTCTCCA	CTCTCTGAAACTGAAAGCGA	118
Gy4	KRH32185	ACAAGCATGATGGTGTGAGG	CGATTGAAAGGTACAACGCC	142
Gy5	KRH19559	TGGAAGAGGATGTCAGACTA	AGACTGTTGAGGGTGCTAAT	135

Ending of table

Gy7	KRG95666	TGAAGGTGGGGATAACAAAG	GGGTCTTGGGTTTTCTTCT	138
Cg-1	KRH35498	CACCAACCTCATCAAAAGGA	TCTTTGTCTTGCTCCTCATC	122
Cg-3	KRG91330	TACTATGATGAGAGCACGGT	TGGAGACACTTGTGTGTTT	123
Cg-4	KRG91303	GAACAAATTCGGCAACTGAG	CAGGGGTGATCTCAAAGAAC	139

Source: compiled by A.A. Katrushenko, P.D. Timkin.

В качестве референтного гена для нормализации данных использовали ген *Tubulin* (*TUB*), характеризующийся стабильным уровнем экспрессии [15]. Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала: 12,5 мкл реакционной смеси БиоМастер HS-qPCR SYBR Blue (2×) (Биолабмикс, Россия), по 1,25 мкл прямого и обратного праймеров (конечная концентрация 0,5 мкМ), 1 мкл кДНК и 9 мкл стерильной воды. Протокол амплификации включал начальную денатурацию при 96 °С в течение 2 минут, затем 32 цикла: денатурация при 94 °С — 30 секунд, отжиг праймеров при 66 °С — 40 секунд, элонгация при 70 °С — 1 минута. Завершающая элонгация проводилась при 70 °С в течение 2 минут. После амплификации для каждого образца регистрировали кривую плавления для подтверждения специфичности реакции. Для каждого образца кДНК (сорт × год) анализ проводили в двух аналитических повторностях (технических репликах).

Относительный уровень экспрессии каждого целевого гена рассчитывали методом $2^{-\Delta\Delta Ct}$ с использованием гена *TUB* в качестве эндогенного контроля [14]. Статистическую обработку данных проводили с использованием библиотек pandas, scipy.stats и statsmodels в среде программирования Python 3.9. Для оценки достоверности различий в уровне экспрессии между сортами и между годами применяли двухфакторный дисперсионный анализ (Two-way ANOVA) с учетом факторов «сорт» и «год выращивания», а также их взаимодействия. Предварительно проверяли соответствие данных допущениям ANOVA: нормальность распределения с помощью критерия Шапиро — Уилка; гомогенность дисперсий — критерия Левена. В случае значимого основного эффекта для попарного сравнения средних использовали post-hoc тест Тьюки (Tukey's HSD). Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

На первом этапе исследования оценивали специфичность разработанных праймеров методом анализа кривых плавления (рис. 1).

Для всех исследуемых генов — *Gy1*, *Gy2*, *Gy3*, *Gy4*, *Gy5*, *Cg1*, *Cg3*, *Cg4* — зарегистрированы единичные пики (66 °С). Ген *Gy7* в анализ не включен в связи с низкой экспрессионной активностью.

Анализ относительной экспрессии генов глицининов выявил консервативность экспрессионных профилей у большинства исследованных сортов (рис. 2).

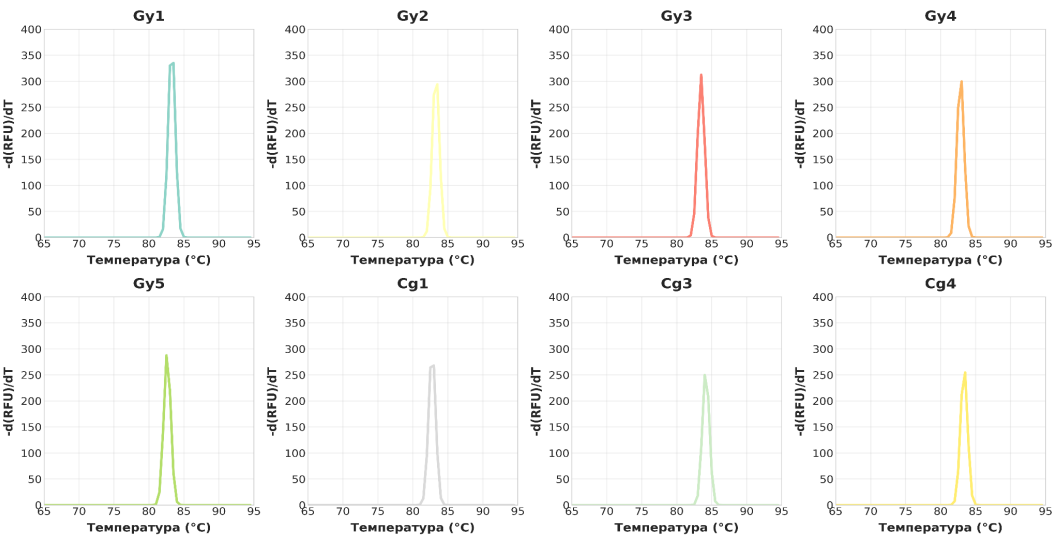


Рис. 1. Кривые плавления праймеров
Источник: выполнено П.Д. Тимкиным.

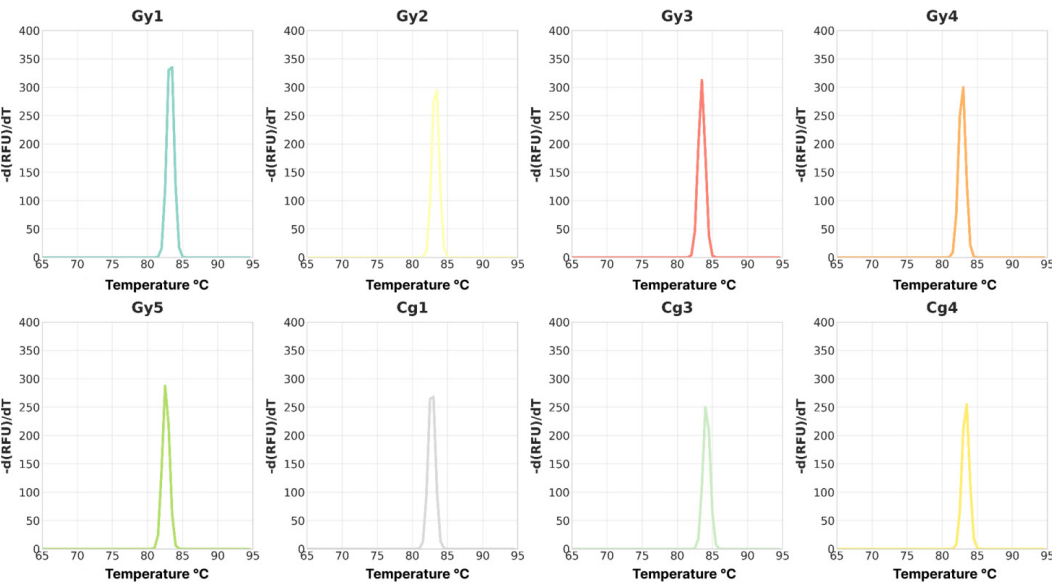


Fig. 1. Primer melting curves
Source: compiled by P.D. Timkin.

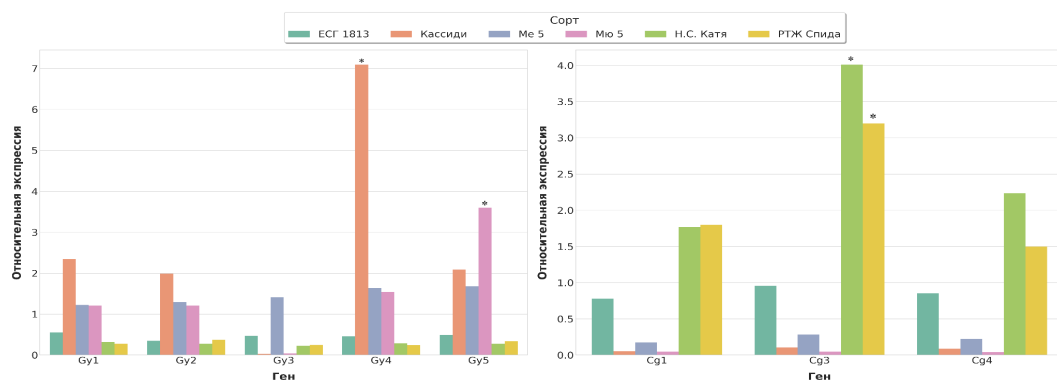


Рис. 2. Уровень экспрессии генов глицининов и β -конглицининов:

* – уровень достоверности при $p < 0,05$

Источник: выполнено П.Д. Тимкиным.

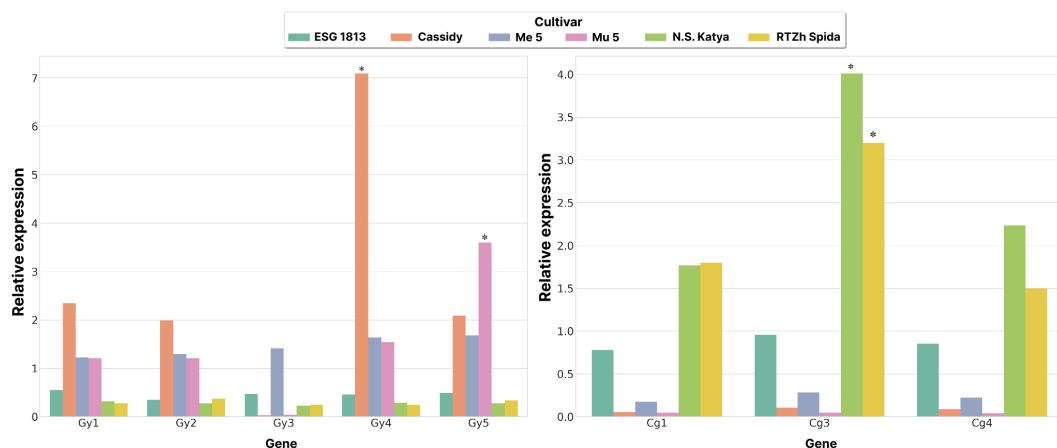


Fig. 2. Expression level of glycinin and β -conglycinin genes: * – confidence level at p -value < 0.05

Source: compiled by P.D. Timkin.

Сорта ЕСГ 1813, РТЖ Спида, Н.С. Катя и Ме 5 демонстрируют сходные уровни экспрессии всех пяти генов семейства *Gy*, что указывает на стабильность регуляторных механизмов, контролирующих биосинтез глицининов. Исключениями стали два сорта: Кассиди (Канада) демонстрирует достоверно повышенную экспрессию гена *Gy4* ($p = 0,023$), а Мю 5 (Франция) — достоверно повышенную экспрессию гена *Gy5* ($p = 0,017$).

Анализ экспрессии генов β -конглицининов (см. рис. 2) также показал высокую стабильность у большинства сортов. Уровни транскриптов генов *Cg1* и *Cg4* варьируют незначительно между образцами. Единственным статистиче-

ски значимым исключением являются сорта РТЖ Спида (Франция) и Н.С. Катя (Сербия). У РТЖ Спида зарегистрирована достоверно повышенная экспрессия гена *Cg3* ($p = 0,008$). В данном сорте уровень экспрессии *Cg3* в 1,8 раза превышает показатели других сортов. Для Н.С. Катя наблюдалось аналогичное повышение экспрессии *Cg3* в 2,2 раза ($p = 0,012$).

На основании суммарной экспрессии генов рассчитано процентное соотношение двух классов запасных белков для каждого сорта (рис. 3).

Сорта Мю 5 и Кассиди характеризуются максимальным содержанием глицининов, 86 и 82 % соответственно. Сорт Н.С. Катя демонстрирует наибольшее содержание β -конглицининов (67 %), тогда как сорт ЕСГ 1813 занимает промежуточное положение с незначительным преобладанием β -конглицининов (53 %).

Единичные пики плавления для всех исследуемых генов подтверждают высокую специфичность разработанных праймеров и корректность выбранного температурного режима. Отсутствие экспрессии гена *Gy7* у всех шести сортов согласуется с данными о его крайне низкой экспрессионной активности и предрасположенности к утрате в процессе селекции [16]. Это позволяет предположить, что в исследованных сортах данный ген либо полностью утрачен, либо находится в состоянии устойчивой супрессии, закрепленной в ходе длительных селекционных программ, ориентированных на иные хозяйственно ценные признаки.

Выявленная сходная экспрессия *Gy1*, *Gy2* и *Gy3* у большинства сортов имеет четкое молекулярно-генетическое обоснование. Тандемное расположение *Gy1* и *Gy2* на одном локусе и их общий регуляторный контроль объясняют синхронный характер экспрессии, наблюдаемый в нашем эксперименте. Крайне низкий уровень экспрессии *Gy3* относительно других генов группы I подтверждает его статус эволюционно консервативного признака, не зависящего от сортовой принадлежности и условий выращивания [17].

Исключение, представляющее наибольший интерес для селекции, составили два сорта. Канадский сорт Кассиди демонстрирует достоверно повышенную экспрессию гена *Gy4*, кодирующего субъединицу A5A4B3 глицинина. Ранее в [18] описывались аллельные варианты *Gy4*, приводящие к полному отсутствию субъединицы, однако в нашем случае мы наблюдаем противоположную ситуацию — значительное усиление экспрессии. Важно отметить, что локус *Gy4* ассоциирован не только с содержанием 11S фракции, но и с уровнем 7S глобулинов, что указывает на его вовлеченность в сложные регуляторные взаимодействия, контролирующие общий белковый пул семян. Высокая экспрессия *Gy4* у сорта Кассиди может быть обусловлена специфическими полиморфизмами в промоторной области, по аналогии с ранее описанными регуляторными вариантами гена *Gy1* [19]. Однако точная идентификация конкретных причин будет требовать дополнительных исследований с использованием технологии секвенирования.

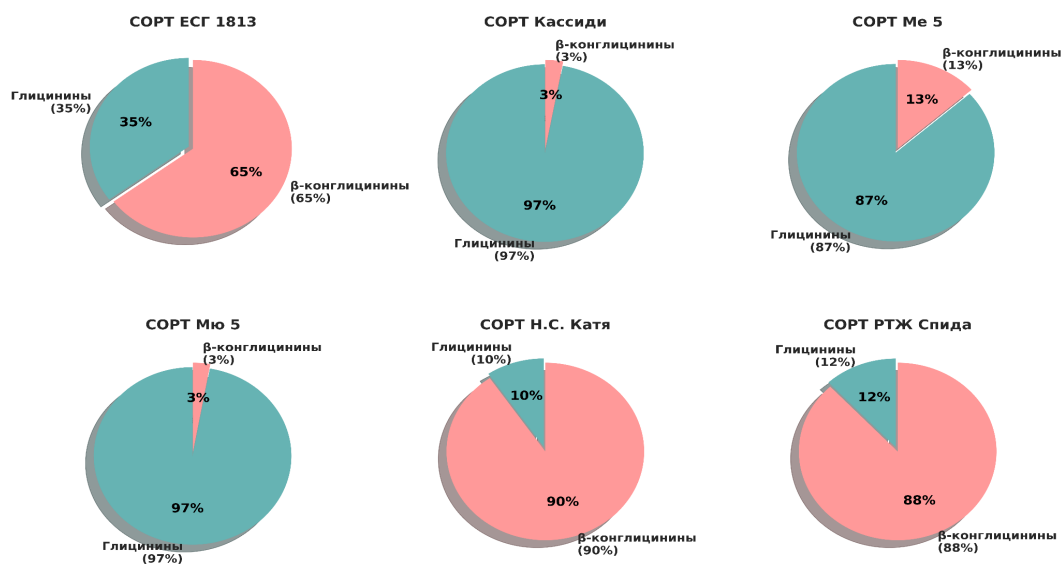


Рис. 3. Соотношение глицининов и β -конглицининов

Источник: выполнено П.Д. Тимкиным.

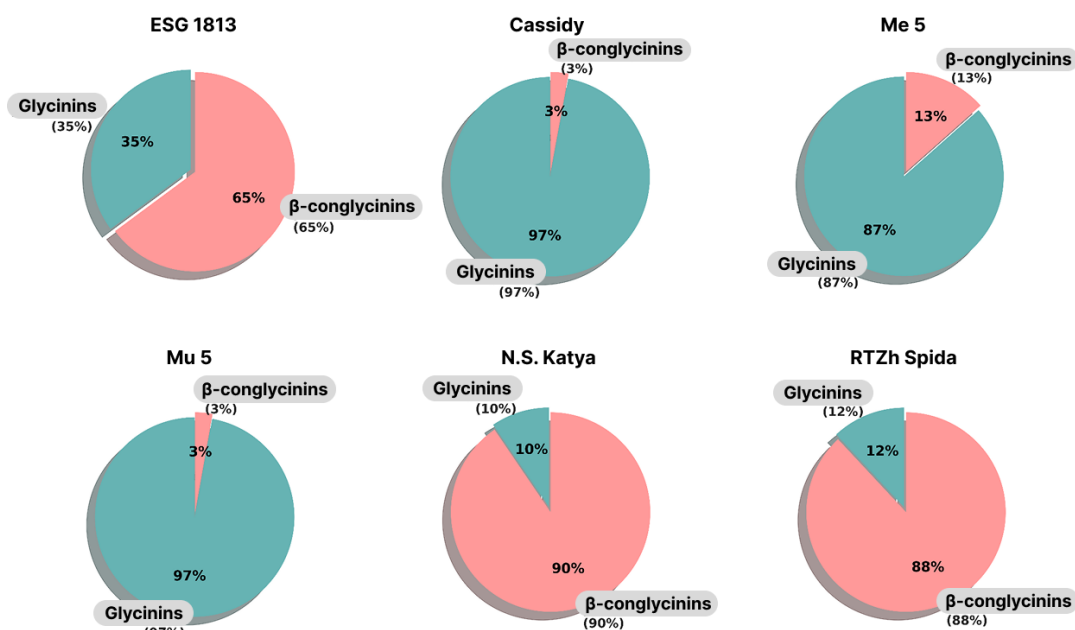


Fig. 3. Ratio of glycinins and β -conglycinins

Source: compiled by P.D. Timkin.

Французский сорт Мю 5 характеризуется достоверно повышенной экспрессией гена *Gy5*, кодирующего субъединицу АЗВ4. Несмотря на то, что субъединицы, кодируемые *Gy4* и *Gy5*, способны к образованию гибридных тримеров и функционально совместимы, наши данные свидетельствуют о независимых селекционных событиях, закрепивших различные регуляторные мутации в разных генетических фонах. Сорта французской селекции (Мю 5, Ме 5, РТЖ Спида) в целом характеризуются выраженной сортовой специфичностью экспрессионных профилей, что отражает направленность европейских селекционных программ на различные целевые признаки.

Сорт РТЖ Спида и Н.С. Катя представляют собой уникальный случай сортоспецифичной активации транскрипции гена *Cg3*, кодирующего α' -субъединицу β -конглицинина. Это позволяет предположить закрепление определенного регуляторного аллеля, возможно, связанного с цис-элементами промотора или транс-факторами, специфичными для данного гена. Консервативность экспрессии *Cg1* и *Cg4* объясняется их критической ролью в раннем морфогенезе семян, тогда как *Cg3* демонстрирует большую пластичность и, следовательно, подвержен селекционному давлению.

По суммарному соотношению транскриптов глицининов и β -конглицининов исследованные сорта четко разделяются на две контрастные группы. К глицининовым сортам относятся Мю 5 (86 %), Кассиди (82 %) и Ме 5 (64 %). Полученные для Мю 5 и Кассиди значения — одни из наиболее высоких среди когда-либо опубликованных для европейских и североамериканских сортов сои. β -конглицининовую группу представляют Н.С. Катя (67 %), РТЖ Спида (63 %) и ЕСГ 1813 (53 %), последний занимает промежуточное положение и может рассматриваться как референтный образец с типичным для умеренно-белковых сортов соотношением фракций.

Высокое содержание глицининов имеет принципиальное технологическое значение, поскольку этот белок благодаря повышенному содержанию серосодержащих аминокислот определяет питательную ценность соевого протеина и является критическим параметром для гелеобразующей способности при производстве тофу и других соевых продуктов. В свою очередь, β -конглицинины, уступая глиципинам по сбалансированности аминокислотного состава, обеспечивают превосходные эмульгирующие свойства, востребованные при производстве белковых изолятов и концентратов.

Выявленный нами диапазон соотношения 11S/7S (от 0,5 до 6,1 в пересчете на глицинин/ β -конглицинин) существенно превышает опубликованные ранее данные для бразильских и американских сортов (1,31...2,21) [20]. Столь широкая вариабельность может быть обусловлена тремя факторами: во-первых, уникальными генетическими особенностями исследованных европейских и канадских сортов, ранее не подвергавшихся столь детальному экспрессионному анализу; во-вторых, различными методическими подходами; в-третьих, специфическими условиями вегетации в Амурской области, которые могут модулировать экспрессионные профили интродуцированных сортов.

Проведение анализа в течение двух вегетационных сезонов позволило минимизировать влияние межгодовой климатической вариабельности на интерпретацию сортовых различий. Тем не менее многочисленные исследования убедительно

доказали, что содержание белка и его фракционный состав подвержены значительному влиянию абиотических стрессов, включая засуху, температурные аномалии и засоление. Один и тот же сорт, выращенный в разных географических локациях, может демонстрировать различные соотношения глицинина и β -конглицинина [21]. В этой связи полученные нами данные следует рассматривать как характеристику экспрессионных профилей именно в условиях Амурской области, которые могут не полностью совпадать с потенциальными профилями этих же сортов в странах их происхождения. Это обстоятельство не снижает ценности полученных результатов, а напротив, позволяет оценить стабильность экспрессионных фенотипов при интродукции в новые агроклиматические условия [22].

Идентифицированные сорта-доноры представляют собой исключительную ценность для российских селекционных программ. Сорт Кассиди (донор высокой экспрессии *Gy4*) и сорт Мю 5 (донор высокой экспрессии *Gy5*) могут быть непосредственно использованы в скрещиваниях с российскими сортами для интрогрессии соответствующих регуляторных аллелей. Учитывая, что в современной литературе описано более 60 QTL, ассоциированных с содержанием глицинина, β -конглицинина и их соотношением, а также локализованы гены-кандидаты, становится возможным переход от традиционной селекции к маркер-опосредованной (MAS) [23].

Сорта РТЖ Спида и Н.С. Катя с уникально высокой экспрессией *Cg3* представляют интерес для селекции на технологические свойства, поскольку β -конглицинин и особенно его α' -субъединица играют ключевую роль в формировании реологических характеристик соевых изолятов. Комбинация доноров высокой экспрессии различных субъединиц в одном генотипе открывает возможность создания сортов с заданным, прогнозируемым соотношением запасных белков и, следовательно, с целевыми показателями пищевой ценности и технологической пригодности.

Заключение

Исследование дифференциальной экспрессии генов глицининов и β -конглицининов у европейских и канадских сортов сои позволило установить, что разработанные праймеры обладают высокой специфичностью, подтвержденной единичными пиками плавления, а отсутствие экспрессии гена *Gy7* у всех изученных сортов согласуется с данными о его низкой экспрессионной активности и предрасположенности к утрате в процессе селекции. Выявлено, что большинство сортов (ЕСГ 1813, РТЖ Спида, Н.С. Катя, Ме 5) характеризуются сходными, эволюционно консервативными профилями экспрессии генов *Gy1*, *Gy2* и *Gy3*, при этом низкий уровень экспрессии *Gy3* является стабильным сортонезависимым признаком.

Идентифицированы сорта с уникальными селекционно-ценными экспрессионными фенотипами: сорт Кассиди (Канада) демонстрирует достоверно повышенную экспрессию гена *Gy4*, сорт Мю 5 (Франция) — гена *Gy5*, сорт РТЖ Спида (Франция) — гена *Cg3*. По соотношению суммарной экспрессии генов запасных белков сорта четко разделены на глицининовые (Мю 5 — 86, Кассиди — 82 и Ме 5 — 64 %) и β -конглицининовые (Н.С. Катя — 67, РТЖ Спида — 63, ЕСГ 1813 — 53 %).

Выявленный диапазон соотношения 11S/7S (0,5...6,1) существенно превышает опубликованные ранее данные для американских и бразильских сортов, что свидетельствует о значительном генетическом потенциале исследованных европейских и канадских генотипов.

Двухлетний период исследований подтвердил стабильность и воспроизводимость экспрессионных профилей в условиях Амурской области. Идентифицированные сорта-доноры (Кассиди — Gy4, Мю 5 — Gy5, РТЖ Спида — Cg3) рекомендованы для использования в российских селекционных программах в качестве источников ценных регуляторных аллелей. Применение маркер-опосредованной селекции с учетом эпистатических взаимодействий позволит создавать новые сорта сои с заданным соотношением запасных белков, повышенной пищевой ценностью и улучшенными технологическими свойствами, адаптированные к агроклиматическим условиям Российской Федерации.

Список литературы / References

1. Duan Z, Li Q, Wang H, He X, Zhang M. Genetic regulatory networks of soybean seed size, oil, and protein content. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1160418. doi: 10.3389/fpls.2023.1160418
2. Liu S, Liu Z, Hou X, Li X. Genetic mapping and functional genomics of soybean seed protein. *Molecular Breeding*. 2023;43(4):29. doi: 10.1007/s11032-023-01373-5 EDN: JNNPZF
3. Liu S, Zhang M, Feng F, Tian Z. Toward a “green revolution” for soybean. *Molecular Plant*. 2020;13(5):688–697. doi: 10.1016/j.molp.2020.03.002 EDN: QYFLTY
4. Cabanos C, Matsuoka Y, Maruyama N. Soybean proteins/peptides: a review on their importance, biosynthesis, vacuolar sorting, and accumulation in seeds. *Peptides*. 2021;143:170598. doi: 10.1016/j.peptides.2021.170598 EDN: LYDRAD
5. Kim W, Nott J, Kim S, Krishnan HB. Soybean seed proteomics: Methods for the isolation, detection, and identification of low abundance proteins. In: Jez J. (ed.) *Methods in Enzymology*. Volume 676. Academic Press; 2022. p.325–345. doi: 10.1016/bs.mie.2022.07.001
6. Wijewardana C, Reddy KR, Bellaloui N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. *Food Chemistry*. 2019;278:92–100. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.035
7. Hu Y, Liu Y, Wei JJ, Zhang WK, Chen SY, Zhang JS. Regulation of seed traits in soybean. *aBIOTECH*. 2023;4(4):372–385. doi: 10.1007/s42994-023-00122-8
8. Zhang S, Du H, Ma Y, Li H, Kan G, Yu D. Linkage and association study discovered loci and candidate genes for glycinin and β -conglycinin in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(4):1201–1215. doi: 10.1007/s00122-021-03766-6 EDN: XKUIJX
9. Guo B, Sun L, Jiang S, Ren H, Sun R, Wei Z, et al. Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(11):4095–4121. doi: 10.1007/s00122-022-04222-9 EDN: FZJUTT
10. Song B, An L, Han Y, Gao H, Ren H, Zhao X, et al. Transcriptome profile of near-isogenic soybean lines for β -conglycinin α -subunit deficiency during seed maturation. *PLoS One*. 2016;11(8): e0159723. doi: 10.1371/journal.pone.0159723
11. Lee S, Van K, Sung M, Nelson R, LaMantia J, McHale LK, et al. Genome-wide association study of seed protein, oil and amino acid contents in soybean from maturity groups I to IV. *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132(6):1639–1659. doi: 10.1007/s00122-019-03304-5 EDN: OTMCPE
12. Diamond JS. Explanatory chapter: quantitative PCR. In: *Methods in Enzymology*. Volume 529. Academic Press; 2013. p.279–289. doi: 10.1016/B978-0-12-418687-3.00023-9
13. Assfaw AT, Bunmi O, Paterne A, Chigeza G, Mushoriwa H. Genetic diversity and population structure analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes based on agro-morphological traits and SNP markers. *PLoS One*. 2025;20(10):e0332895. doi: 10.1371/journal.pone.0332895 EDN: OSNCCJ
14. Libault M, Thibivilliers S, Bilgin DD, Radwan O, Benitez M, Clough SJ, et al. Identification of four soybean reference genes for gene expression normalization. *Plant Genome*. 2008;1(1):44–54. doi: 10.3835/plantgenome2008.02.0091

15. Rao X, Huang X, Zhou Z, Lin X. An improvement of the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method for quantitative real-time polymerase chain reaction data analysis. *Biostatistics, Bioinformatics and Biomathematics*. 2013;3(3):71–85.
16. Li C, Zhang YM. Molecular evolution of glycinin and β -conglycinin gene families in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Heredity*. 2011;106(4):633–641. doi: 10.1038/hdy.2010.97
17. Beilinson V, Chen Z, Shoemaker R, Fischer R, Goldberg R, Nielsen N. Genomic organization of glycinin genes in soybean. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;104:1132–1140. doi: 10.1007/s00122-002-0884-6 EDN: BDTIRL
18. Kim WS, Gillman JD, Krishnan HB. Identification of a plant introduction soybean line with genetic lesions affecting two distinct glycinin subunits and evaluation of impacts on protein content and composition. *Molecular Breeding*. 2013;32(2):291–298. doi: 10.1007/s11032-013-9870-8
19. Hou Y, Huang L, Xing G, Yuan X, Zhang X, Dai D, et al. Structure and functional properties of proteins from different soybean varieties as affected by the 11S/7S globulin ratio. *Foods*. 2025;14(5):755. doi: 10.3390/foods14050755 EDN: IHRJWH
20. Galão OF, Teixeira AI, Moreira MA, Carrão-Panizzi MC, Visentainer JV. Variation in genetic and environmental effects of beta-conglycinin (7S) and glycinin (11S) protein fractions in conventional and GM soybean cultivars grown in Southern Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*. 2013;34(2):683–692.
21. Lakhssassi N, El Baze A, Knizia D, Salhi Y, Embaby MG, Anil E, et al. A sucrose-binding protein and β -conglycinins regulate soybean seed protein content and control multiple seed traits. *Plant Physiology*. 2024;196(2):1298–1321. doi: 10.1093/plphys/kiae307 EDN: FHSBTJ
22. Yang Z, Li D, Chen L, Zhang W, Jiang L, Huang Z, et al. Structural characteristics, techno-functionalities, innovation applications and future prospects of soybean β -conglycinin/glycinin: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2025;65(29):6410–6427. doi: 10.1080/10408398.2024.2440601
23. Yang Y, Zhang L, Zuo H, Yang Y, Hu D, Zhang S, et al. GmGASA12 coordinates hormonal dynamics to enhance soybean water-soluble protein accumulation and seed size. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2025;67(9):2401–2415. doi: 10.1111/jipb.13952 EDN: CKJKRX

Об авторах:

Катрушенко Анастасия Андреевна — младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: lsi@vniisoi.ru

ORCID: 0009-0008-3104-1696 SPIN-код: 8077-7588

Иванов Алена Андреевна — младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: iaa@vniisoi.ru

ORCID: 0009-0004-7304-7771 SPIN-код: 2512-8754

Пензин Андрей Андреевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологии, ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: paa@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0002-8578-9818 SPIN-код: 1467-9500

Галиченко Анна Петровна — старший научный сотрудник лаборатории селекции, ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: gap@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0002-4445-3779 SPIN-код: 5274-8503

Тимкин Павел Дмитриевич — младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, ФГБНУ ФНИЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Российская Федерация, 675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, д. 19; e-mail: tpd@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0001-6655-1049 SPIN-код: 2729-2815

About the authors:

Katrushenko Anastasia Andreevna — Junior Researcher, Biotechnology Laboratory, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatyevskoye highway, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russian Federation; e-mail: lsi@vniisoi.ru

ORCID: 0009-0008-3104-1696 SPIN-code: 8077-7588

Ivaniy Alena Andreevna — Junior Researcher, Biotechnology Laboratory, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatyevskoye highway, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russian Federation; e-mail: iaa@vniisoi.ru

ORCID: 0009-0004-7304-7771 SPIN-code: 2512-8754

Penzin Andrey Andreevich — PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Biotechnology Laboratory, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatyevskoye highway, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russian Federation; e-mail: paa@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0002-8578-9818 SPIN-code: 1467-9500

Galichenko Anna Petrovna — Senior Researcher, Breeding Laboratory, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatyevskoye highway, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russian Federation; e-mail: gap@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0002-4445-3779 SPIN-code: 5274-8503

Timkin Pavel Dmitrievich — Junior Researcher, Biotechnology Laboratory, All-Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatyevskoye highway, Blagoveshchensk, Amur Region, 675027, Russian Federation; e-mail: tpd@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0001-6655-1049 SPIN-code: 2729-2815



Защита растений Plant protection

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-249-255

EDN JMELOB

УДК 633.491:632.95

Научная статья / Research article

Деградация и распространение имидаклоприда в картофеле

Е.Ю. Алексеев¹  , В.И. Долженко² ¹ООО Инновационный центр защиты растений, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²Санкт-Петербургское отделение Российской академии наук, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация anscreation@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема транслокации системного пестицида — имидаклоприда — в картофеле. Цель — изучить пути движения, динамику накопления и деградации исследуемого действующего вещества в различных частях растения. Эксперимент проводился в полевых условиях Ленинградской области на сорте Удача с отбором проб ботвы из разных частей целого растения и клубней после обработки. Анализ выполнялся по авторской методике на основе методологии QuEChERS с использованием ВЭЖХ-УФ детектирования. Результаты подтвердили преобладающий ксилемный транспорт имидаклоприда с максимальными концентрациями в верхней ботве. Обнаружено ретроградное перераспределение действующего вещества вниз по ботве через 24 часа, что возможно объясняется обратными потоками в ксилеме, связанными с ночным корневым давлением и гуттацией. Установлено накопление остатков имидаклоприда в клубнях с пиковой концентрацией (0,074 мг/кг) на 7-е сутки, превысившей установленный максимально допустимый уровень (МДУ) 0,05 мг/кг. Это указывает на возможный нисходящий транспорт, не характерный для классической ксилемной мобильности. Уникальность исследования заключается в комплексном экспериментальном выявлении возможных путей движения имидаклоприда и оценке его перераспределения и деградации в растении. Практическая значимость заключается в доказанной необходимости строгого соблюдения сроков ожидания для данного препарата на картофеле, поскольку временное, но значимое превышение МДУ создает возможный токсикологический риск.

© Алексеев Е.Ю., Долженко В.И., 2026

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

Ключевые слова: пестициды, деградация пестицидов, QuEChERS, транслокация пестицидов

Вклад авторов: Алексеев Е.Ю. — методология, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование; Долженко В.И. — концептуализация, руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

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

История статьи: поступила в редакцию 12 марта 2026 г.; принята к публикации 14 апреля 2026 г.

Для цитирования: Алексеев Е.Ю., Долженко В.И. Деградация и распространение имидаклоприда в картофеле // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 249–255. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-249-255 EDN: JMELOB

Degradation and distribution of imidacloprid in potatoes

Elisey Y. Alekseev¹  , Viktor I. Dolzhenko² 

¹Innovative Center for Plant Protection, Saint Petersburg, Russian Federation

²St. Petersburg Branch of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

 anscreation@yandex.ru

Abstract. The problem of translocation of the systemic pesticide imidacloprid in potato plants is addressed. The aim of the study was to investigate the pathways of movement, the dynamics of accumulation, and the degradation of the active substance in different plant parts. The field experiment was conducted in the Leningrad Region on the potato variety *Udacha*, with sampling of aboveground biomass from different parts of whole plants and tubers after treatment. Chemical analysis was performed using an in-house method based on the QuEChERS methodology with HPLC-UV detection. The results confirmed the predominantly xylem-mediated transport of imidacloprid, with maximum concentrations found in the upper foliage. A retrograde redistribution of the active substance downward along the foliage was observed 24 hours after treatment, which may be attributed to reverse flow in the xylem associated with nocturnal root pressure and guttation. Accumulation of imidacloprid residues in tubers was detected, with a peak concentration of 0.074 mg/kg on day 7, exceeding the established maximum residue limit (MRL) of 0.05 mg/kg. This finding suggests a possible downward (basipetal) transport, which is atypical for classic xylem-mobile compounds. The novelty of this study lies in the comprehensive experimental identification of the possible translocation pathways of imidacloprid and the assessment of its redistribution and degradation within the plant. The practical significance is demonstrated by the proven need for strict adherence to the pre-harvest interval for this pesticide on potatoes, as a temporary but significant exceedance of the MRL poses a potential toxicological risk.

Keywords: pesticides, pesticide degradation, QuEChERS, pesticide translocation

Author contributions: Alekseev E.Y. — methodology, study implementation, manuscript drafting and editing; Dolzhenko V.I. — study conceptualization and supervision. All authors read and approved the final manuscript. All authors contributed equally to this manuscript.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

Article history: received 12 March 2026; accepted 14 April 2026.

For citation: Alekseev EY, Dolzhenko VI. Degradation and distribution of imidacloprid in potatoes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):249–255. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-249-255 EDN: JMELOB

Введение

Передвижение действующих веществ пестицидов — важное и малоизученное направление. Морфология и физиология растений, а также химические свойства отдельных действующих веществ пестицидов крайне изменчивы, а механизмы, лежащие в основе процессов транслокации, зачастую изучены недостаточно [1]. Полевые эксперименты показывают, что неоникотиноиды, как правило, обладают хорошими системными свойствами [2, 3]. Имидаклоприд, один из самых популярных неоникотиноидов, проявляет явную ксилемную транслокацию, что означает, что он обнаруживается в основном в побегах и листьях [3, 4]. Движение имидаклоприда по восходящему потоку обусловлено его химическими свойствами. Ожидается, что имидаклоприд будет обнаружен именно в ксилеме, а не во флоэме. Это объясняется тем, что он является слабой кислотой (находится в недиссоциированной форме) и имеет низкий коэффициент переноса (TSCF) — 0,6 (отношение концентрации в ксилемном соке к концентрации в исходном растворе). [3]. Однако, на практике, при изучении динамик деградации имидаклоприда, остаточные количества в клубнях обнаруживаются, что предполагает возможность ограниченного флоэмного транспорта или механизм, отличный от классической флоэмной мобильности [3, 5, 6]. Максимально допустимый уровень (МДУ) в России для картофеля составляет 0,05 мг/кг¹.

Цель исследования — оценка деградации и распространения системного инсектицида имидаклоприда на основе количественного определения его остаточных количеств в ботве и клубнях картофеля.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили в 2020 г. в Ленинградской области при обработке препаратом (концентратом суспензии (КС)), содержащим имидаклоприд, с нормой расхода 0,28 л/га, по действующему веществу — 8,4 г/га имидаклоприда. Расход рабочей жидкости — 300 л/га. Сорт картофеля — Удача. Отбор проб производится каждый день в течение двух недель (кроме выходных дней), далее каждый 3-й день до созревания урожая. Изучение проводили комплексно, отбирая ботву на разных уровнях и корнеплоды. Первая проба отбиралась через 2 часа после обработки. Отобранные образцы картофеля замораживали при температуре –18 °С и хранили при этой же температуре до анализа. Определение имидаклоприда проводили по авторскому методу, основанному на экстракционном извлечении определяемого компонента из проб органическим растворителем, очистке экстракта с помощью

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 (ред. от 24.12.2025) «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/ (дата обращения: 27.05.2026).

модифицированного метода QuEChERS Original и последующем анализе экстракта методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием ультрафиолетового детектора (УФ) [7]. Идентификацию имидаклоприда проводили по времени удерживания, количественное определение — методом абсолютной калибровки.

Результаты исследования и обсуждение

Накопление и деградация имидаклоприда в различных частях ботвы (рис. 1). Отмечено, что концентрация имидаклоприда на протяжении всего эксперимента всегда была выше в верхней части растения, несмотря на прирост новой ботвы. Это еще раз подтверждает ксилемный характер транспорта системного имидаклоприда. Однако, через 24 часа после обработки видно явное распределение имидаклоприда от верхней части к средней и нижней. Это может объясняться ретроградным транспортом.

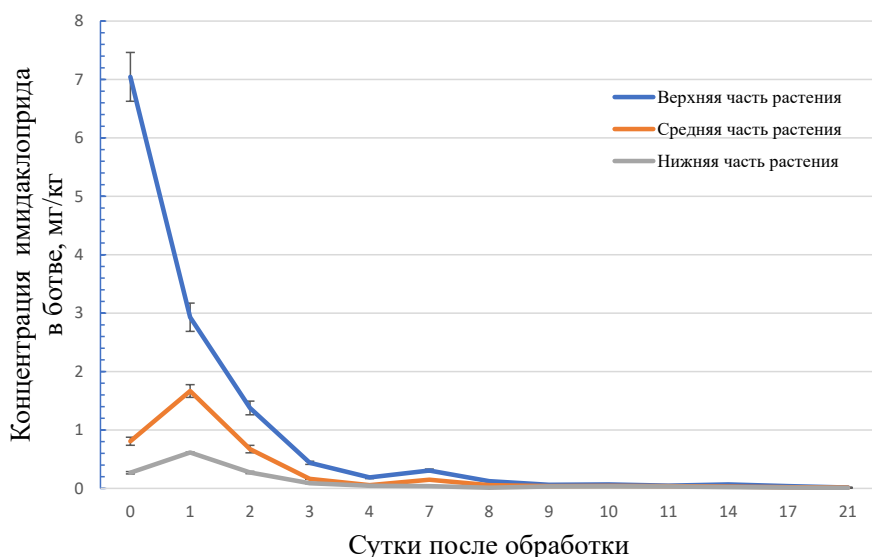


Рис. 1. Динамики накопления и деградации имидаклоприда в различных частях ботвы

Источник: выполнено Е.Ю. Алексеевым.

Днем растение активно теряет воду через устьица листьев (транспирация). Верхние, молодые листья обычно имеют самую высокую транспирационную активность. Концентрация имидаклоприда сразу после обработки и в первые часы днем будет выше в зонах активной транспирации (верхушка).

В ночное время устьица закрываются, транспирация резко падает или прекращается. Однако корни продолжают активное поглощение воды и минеральных солей из почвы. Это создает положительное осмотическое давление (корневое давление) в ксилеме [8].

Если почва достаточно влажная, а корневое давление сильное, избыток воды с растворенными веществами не может быть потерян через транспирацию [9, 10]. Давление выталкивает растворенные в ксилеме вещества вверх по сосудам. Но, поскольку путь вверх частично закрыт устьицами, давление находит выход через специальные структуры — гидатоды (водяные устьица), расположенные преимущественно на кончиках и краях листьев, и часто в более низких (старых) листьях [11, 12]. Жидкость выделяется наружу в виде капель (гуттация) [8, 12]. Процесс движения жидкости *под давлением* вверх и ее выделение через гидатоды может вызывать локальные обратные токи (ретроградные потоки) в ксилеме. Вещества (включая имидаклоприд), которые днем были транспортированы в верхние и средние части растения, могут быть захвачены этим восходящим, но затем «отражающимся» потоком и вынесены обратно вниз к гидатодам нижних листьев. Часть имидаклоприда может выделяться с каплей [13–15] Препарат, первоначально находившийся в верхних частях, под действием ночного корневого давления был «оттеснен» вниз ретроградными потоками.

Накопление и деградация имидаклоприда в клубнях (рис. 2). Несмотря на явное движение имидаклоприда по ксилеме, присутствовали остаточные количества в клубнях. Обнаружение имидаклоприда в клубнях может свидетельствовать о возможности движения имидаклоприда по флоэме или схожему механизму.

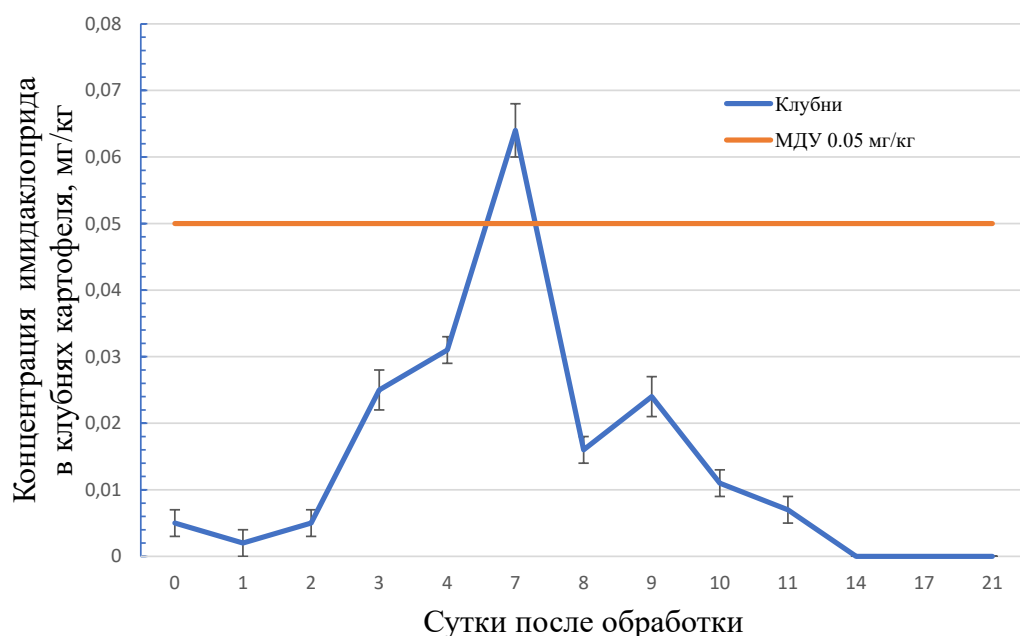


Рис. 2. Динамика накопления и деградации имидаклоприда в клубнях

Источник: выполнено Е.Ю. Алексеевым.

При этом на 7-е сутки достигнут пик накопления, превышающий допустимые МДУ. Хотя относительно концентрации имидаклоприда в ботве найденные остатки в клубнях достаточно малы, они могут быть токсикологически значимы. Это показывает, что соблюдение сроков ожидания является очень важным для данного инсектицида.

Заключение

Проанализированы различные части картофеля. Подтвержден ксилемный характер перемещения имидаклоприда. Кроме того, обнаружено нетипичное накопление имидаклоприда в средней и нижней части ботвы через 24 часа после обработки, что может быть объяснено ретроградным транспортом, корневым давлением и гуттацией в ночное время суток. Также было показано нехарактерное для системного неоникотиноида накопление остаточных количеств в клубнях картофеля, что свидетельствует о нисходящем механизме движения имидаклоприда. При этом максимальный пик накопления имидаклоприда в клубнях превышал его МДУ, что является токсикологически значимым. Однако в конце эксперимента (истечение сроков ожидания) остаточные количества не обнаруживались.

Список литературы

1. Trapp S. Plant uptake and transport models for neutral and ionic chemicals. *Environmental Science and Pollution Research*. 2004;11(1):33–39. doi: 10.1065/espr2003.08.169 EDN: NSBUYM
2. Maienfisch P, Angst M, Brandl F, Fischer W, Hofer D, Kayser H, et al. Chemistry and biology of thiamethoxam: A second generation neonicotinoid. *Pest Management Science*. 2001;57(10):906–913. doi: 10.1002/ps.365
3. Sur R, Stork A. Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. *Bulletin of Insectology*. 2003;56(1):35–40.
4. Elbert A, Haas M, Springer B, Thielert W, Nauen R. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*. 2008;64(11):1099–1105. doi: 10.1002/ps.1616
5. Bonmatin JM, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser DP, Krupke C, et al. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2015;22(1):35–67. doi: 10.1007/s11356-014-3332-7 EDN: FAEWXA
6. Yu Y, Wang S, Zhang Q, Yang Y, Chen Y, Liu X, et al. Dissipation, residues, and risk assessment of imidacloprid in *Zizania latifolia* and purple sweet potato under field conditions using LC–MS/MS. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2018;54(2):89–97. doi: 10.1080/03601234.2018.1531661
7. Алексеев Е.Ю., Черменская Т.Д. Динамика деградации имидаклоприда и абамектина на картофеле при обработке препаратом Обелиск, КС // Селекция, семеноводство и технологии возделывания сельскохозяйственных культур : доклады Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня основания ин-та. Тирасполь : Еко-TIRAS, 2020. Р. 196–198.
8. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. *Plant physiology and development*. Sinauer Associates; 2012.
9. Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Wagner HJ, Szimtenings M, Haase A, et al. What are the driving forces for water lifting in the xylem conduit? *Physiologia Plantarum*. 2002;114(3):327–335. doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1140301.x EDN: BATSPV
10. Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Haase A. Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytologist*. 2004;162(3):575–615. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01083.x EDN: EBPNGD
11. Meyer CF, Esau K. Anatomy of Seed Plants. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 1960;87(4):286–287. doi: 10.2307/2482879

12. Singh S. Guttation: New insights into agricultural implications. *Advances in Agronomy*. 2014;128:97–135. doi: 10.1016/B978-0-12-802139-2.00003-2 EDN: UNMJRI
13. Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Di Bernardo A, et al. Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees. *Journal of Economic Entomology*. 2009;102(5):1808–1815. doi: 10.1603/029.102.0511
14. Schmolke A, Kearns B, O'Neill B. Plant guttation water as a potential route for pesticide exposure in honey bees: a review of recent literature. *Apidologie*. 2018;49(5):637–646. doi: 10.1007/s13592-018-0591-1
15. Blacquièrre T, Smagghe G, Van Gestel CA, Mommaerts V. Neonicotinoids in bees: A review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*. 2012;21(4):973–992. doi: 10.1007/s10646-012-0863-x

Об авторах:

Алексеев Елисей Юрьевич — старший научный сотрудник, ООО Инновационный центр защиты растений, Российская Федерация, 196607, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ул. Пушкинская, д. 20, литера А, пом. 7-Н; e-mail: anscreation@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5566-3245 SPIN-код: 1055-6762

Долженко Виктор Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель председателя регионального отделения СПБО РАН, Санкт-Петербургское отделение Российской академии наук, Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 5; e-mail: dolzhenkotv@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4700-0377 SPIN-код: 9188-7507



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-256-268

EDN JNPFPI

УДК 632/631.5

Научная статья / Research article

Фитосанитарное состояние агроценозов и урожайность яровой пшеницы в условиях Рязанской области

А.А. Соколов¹ , Д.В. Виноградов^{1, 2} , Т.В. Зубкова³  , И.М. Лебедев³¹Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева,
г. Рязань, Российская Федерация²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская
Федерация³Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, г. Елец, Российская Федерация
 ZubkovaTanua@yandex.ru

Аннотация. Обработка зерновых культур пестицидами — фунгицидами, гербицидами и протравителями — играет ключевую роль в обеспечении высокого качества урожая. Цель исследования заключалась в оценке эффективности комплексного применения средств защиты растений для обеспечения фитосанитарной стабильности посевов яровой пшеницы в условиях Рязанской области. Представлены результаты, полученные в 2024–2025 гг. Схема защиты яровой пшеницы включала: протравление семян препаратами Стерлинг, ВСК в дозе 1,5 л/т и Гравиэт, СК в дозе 1,5 л/т; обработка в фазу кущения баковой смесью с системным фунгицидом Ракурс, СК — 0,2 л/га, инсектицидом Борея Нео, СК (125+100+50 г/л) — 1,0 л/га и гербицидами НордСтрим, ВДГ — 0,07 л/га, Стингрей, КЭ — 0,35 л/га; обработка в фазу флагового листа культуры фунгицидом Ланцет, КМЭ в дозе 0,8 л/га. Установлено, что развитие корневых гнилей на посевах яровой пшеницы не превышало 2...3,5 %, а распространенность болезни составляла 4...14,1 %. Применение фунгицида Ракурс, СК обеспечило снижение развития бурой ржавчины на 12,3...13,4 % и уменьшение распространенности на 35...45,6 %. Биологическая эффективность препарата достигала 48,3...58 %. Использование гербицидов НордСтрим, ВДГ и Стингрей, КЭ позволило снизить засоренность посевов, обеспечив высокий уровень эффективности против однолетних и многолетних двудольных сорняков (95...97,4 %) и злаковых видов (97,5...97,6 %). Результаты подтверждают целесообразность комплексного применения средств защиты растений для поддержания фитосанитарной стабильности и повышения урожайности яровой пшеницы.

Ключевые слова: зерновые, гербициды, фунгициды, протравители, биологическая эффективность, засоренность, продуктивность

© Виноградов Д.В., Зубкова Т.В., Соколов А.А., Лебедев И.М., 2026

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

Вклад авторов: Соколов А.А. — сбор материалов, анализ информации, написание текста; Виноградов Д.В. — концепция исследований, общее руководство научной работой; Зубкова Т.В. — подготовка заключения, корректура текста публикации; Лебедев И.М. — сбор материалов, анализ информации. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

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

История статьи: поступила в редакцию 29 марта 2026 г.; принята к публикации 21 апреля 2026 г.

Для цитирования: Виноградов Д.В., Зубкова Т.В., Соколов А.А., Лебедев И.М. Фитосанитарное состояние агроценозов и урожайность яровой пшеницы в условиях Рязанской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 256–268. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-256-268 EDN: JNPFPI

Phytosanitary state of agrocenoses and productivity of spring wheat in the Ryazan region

Andrey A. Sokolov¹ , Dmitry V. Vinogradov^{1, 2} ,
Tatyana V. Zubkova³  , Ivan M. Lebedev³

¹Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

³Bunin Yelets State University, Yelets, Russian Federation

 ZubkovaTanua@yandex.ru

Abstract. Pesticide treatment of grain crops with pesticides — fungicides, herbicides, and seed dressers — plays a key role in ensuring high harvest quality. The objective of the study was to evaluate the effectiveness of integrated plant protection applications to ensure the phytosanitary stability of spring wheat crops in the Ryazan region. The experiments were conducted in 2024–2025. The spring wheat protection scheme included: seed treatment with Sterling, WSC at 1.5 L/t and Graviet, SC at 1.5 L/t; treatment in the tillering stage with a tank mixture containing the systemic fungicide Rakurs, SC — 0.2 L/ha, the insecticide Borey Neo, SC (125+100+50 g/L) — 1.0 L/ha and the herbicides NordStream, WDG — 0.07 L/ha, Stingray, EC — 0.35 L/ha; treatment at the flag leaf stage with the fungicide Lantsea, CME at 0.8 L/ha. The research showed that the development of root rot in spring wheat crops did not exceed 2–3.5%, and the prevalence of the disease was 4–14.1%. The use of the fungicide Rakurs, SC reduced brown rust development by 12.3–13.4% and decreased its prevalence by 35–45.6%. The biological efficacy of the agent reached 48.3–58%. The use of the herbicides NordStream, WDG and Stingray, EC reduced weed infestation of the crops, providing a high level of efficacy against annual and perennial dicotyledonous weeds (95–97.4%) and grass weed species (97.5–97.6%). The results confirm the feasibility of the integrated use of plant protection products to maintain phytosanitary stability and increase the yield of spring wheat.

Key words: cereals, herbicides, fungicides, seed dressers, biological efficacy, weed infestation, productivity

Author contributions: Sokolov A.A. — material collection, information analysis, text writing; Vinogradov D.V. — research concept, general supervision of the scientific work; Zubkova T.V. — preparation of the conclusion, proofreading of the publication text; Lebedev I.M. — material collection, information analysis. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

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

Article history: received 29 March 2026; accepted 21 April 2026.

For citation: Sokolov AA, Vinogradov DV, Zubkova TV, Lebedev IM. Phytosanitary state of agrocenoses and productivity of spring wheat in the Ryazan region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):256–268. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-256-268 EDN: JNPFPI

Введение

Пшеница — одна из важнейших сельскохозяйственных культур в мире. На ее долю приходится около 20,5 % потребляемых человеком калорий [1]. Россия остается одним из мировых лидеров по производству пшеницы, несмотря на некоторое снижение объемов после рекордных лет. В 2023 г. было собрано 92,8 млн тонн пшеницы, а в 2024 г. — 82,6 млн тонн, что на 11 % меньше, но такой урожай все равно входит в число крупнейших в истории страны. Общий сбор зерновых в 2024 г. составил 125,9 млн тонн против 144,9 млн тонн годом ранее. Валовый сбор пшеницы в 2025 г., по итоговым данным Росстата, опубликованным в марте 2026 г., в России составил 91,1 млн тонн. Таким образом, реальный урожай превысил первоначальный прогноз (84,5 млн тонн) примерно на 6,6 млн тонн, или около 8 %.

География урожая в 2025 г. была неоднородной: южные регионы пострадали от засухи, а Центральный и Приволжский округа показали рост благодаря благоприятным погодным условиям¹.

Разнообразие химических средств, предназначенных для защиты зерновых культур от сорной растительности, вредителей и болезней, обуславливает необходимость их рационального и научно обоснованного выбора с учетом специфики конкретной фитосанитарной обстановки.

Сорные растения — одна из главных трудностей, с которыми сталкиваются аграрии при выращивании зерна, а их распространение приводит к снижению продуктивного потенциала агрокультур и увеличению затрат.

В то же время значимым фактором, способствующим повышению урожайности зерновых культур, в частности яровой пшеницы, выступает защита растений от болезней [2–5].

Эффективная защита посевов, включающая комплексные меры по контролю фитосанитарного состояния и рациональному использованию средств химизации, выступает важнейшим условием создания устойчивых агроэкосистем и реализации биологического потенциала растений [6–11]. Только системный подход к управлению сорняками, болезнями и вредителями позволит обеспечить фитосанитарную стабильность и повысить рентабельность зернового производства в долгосрочной перспективе [12–15].

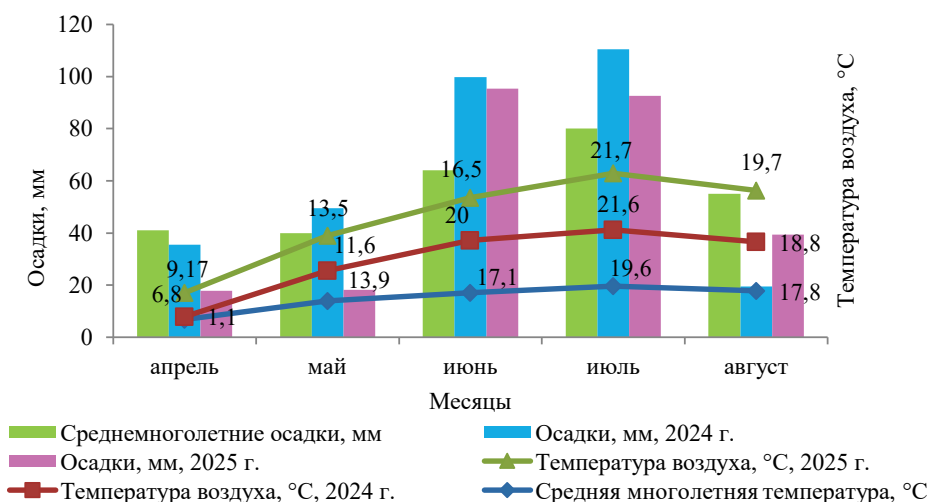
Цель исследования — оценка результативности комплексного применения средств защиты растений для обеспечения фитосанитарной стабильности посевов яровой пшеницы.

¹ Урожайность пшеницы в России 2026: прогнозы, цифры и ключевые факторы // СтройАгроПро. Режим доступа: <https://stroyagropro.ru/article/prognoz-ceny-na-pshenicy-2026/?ysclid=mn1io2vg9n100751881> (дата обращения: 29.03.2026).

Материалы и методы исследования

Опыт закладывали на посевах яровой пшеницы в 2024 и 2025 гг. в условиях Рязанской области на серой лесной тяжелосуглинистой почве с содержанием гумуса в пределах 3,2...3,5 %. Кислотность почвенного раствора pH в пределах 5,1...5,4. Содержание фосфора (10,9...15,3 мг/100 г почвы) и калия (12,8...14,8 мг/100 г почвы) характеризуется как повышенное.

Метеорологические условия периода исследований имели отклонения от среднелетних значений по температурному и влажностному режимам как в большую, так и меньшую сторону, но в целом были удовлетворительными для роста и онтогенеза возделываемой культуры (рис.).



Погодные условия 2024–2025 гг.

Источник: данные метеостанции г. Рязань.

Предшественником яровой пшеницы сорта Рима в опыте выступала озимая пшеница.

Система обработки почвы состояла из основной обработки (дискование агрегатом МТЗ 1221 + БДТ — 7 с последующей зяблевой вспашкой МТЗ 1221+ ПЛН 5–35) во II–III декаде августа, ранневесеннего боронования зубowymi боронами БЗТС-1,0 и предпосевной культивации агрегатом 1221+КПЭ-3,8 с внесением минерального удобрения азофоска ($N_{16} P_{16} K_{16}$) в норме 2,1 ц/га.

В соответствии со схемой опыта на опытных деланках высевали семена яровой пшеницы, обработанные протравителем Стерлинг, ВСК (40 + 30 г/л) в дозе 1,5 л/т и препаратом Гравизт, СК (250 г/л) в дозе 1,5 л/т. Расход рабочего раствора 8...10 л/т. В период вегетации культуры в фазу кущения на опытных вариантах посевов яровой пшеницы, кроме контроля, применяли против возбудителей болезней, вредителей и сорной растительности баковую смесь состоящую из системного фунгицида Ракурс, СК (160 + 240 г/л) — 0,2 л/га, инсектицида Борей Нео, СК (125 + 100 + 50 г/л) — 1,0 л/га и гербицидов НордСтрим, ВДГ (350 + 200 + 80 г/кг) —

0,07 л/га и Стингрей, КЭ (45 + 11,5 г/л) — 0,35 л/га. Повторную обработку посевов яровой пшеницы в фазу флагового листа культуры проводили фунгицидом Ланцея, КМЭ (125 + 100 г/л) в дозе 0,8 л/га. Для опрыскивания по вегетирующим растениям использовался опрыскиватель навесной JAR-MET-600–12. Расход рабочей жидкости 200 л/га.

Закладка опытов осуществлялась в соответствии с методикой полевых исследований Б.А. Доспехова². Расположение делянок — рендомизированное, повторность трехкратная. Площадь экспериментальных делянок — 100 м², а учетных — 50 м².

Учеты развития заболеваний проводили в соответствии с Методическими указаниями по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве, ВИЗР, 2009 г.³; оценку гербицидов — согласно Методическим указаниям по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве, ВИЗР, 2013 г.⁴

Результаты исследования и обсуждение

Предпосевная обработка семян препаратами Стерлинг, ВСК и Гравиэт, СК обеспечила эффективную защиту посевов яровой пшеницы от корневых гнилей на протяжении всего периода вегетации. Применение протравителей позволило снизить развитие болезни в 1,8...2 раза по сравнению с контролем. Наибольшую эффективность показал препарат Стерлинг, ВСК.

При первичном обследовании интенсивность проявления корневых гнилей пшеницы находилась в интервале от 1,0 до 2,0 %, тогда как частота распространения инфекции колебалась в пределах 4,0...7,9 %. Вторичное обследование показало возрастание интенсивности заболевания до диапазона 1,9...3,5 % при увеличении показателя встречаемости патогена до значений 7,6...14,1 %.

Анализ результатов позволил установить отсутствие статистически значимых различий в степени зараженности растений яровой пшеницы корневыми гнилями в зависимости от использованных протравливающих препаратов. Отмечено незначительное превышение уровня пораженности растений на вариантах с применением препарата Гравиэт, СК, составляющее соответственно 1,4 % при первой оценке и 2,8 % при повторной регистрации.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. 5-е изд., доп. и перераб. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

³ Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российская академия сельскохозяйственных наук; Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. СПб. : Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН (Пушкин), 2009. 379 с.

⁴ Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко. СПб. : МСХ, РАСХН, ВИЗР, 2013. 280 с.

Таблица 1

**Средняя пораженность растений яровой пшеницы корневыми гнилями
в зависимости от предпосевной обработки семян**

Вариант опыта	Дата учета (фаза исследуемой культуры)	Всего учтено N	Из них поражено, баллы						Распространенность болезни Р	Сумма произведений числа больных частей растения на соответствующий им балл поражения $\Sigma (a \times b)$	Развитие болезни
			0	1	2	3	4	Итого n			
Стерлинг, ВСК	Кущение культуры	227	218	9	0	0	0	9	4,0	9	1,0
	Формирование второго узла стебля	238	220	18	0	0	0	18	7,6	18	1,9
Гравиэт, СК	Кущение культуры	222	210	12	0	0	0	12	5,4	12	1,4
	Формирование второго узла стебля	218	194	24	0	0	0	24	11,0	24	2,8
Контроль (без обработки)	Кущение культуры	228	210	18	0	0	0	18	7,9	18	2,0
	Формирование второго узла стебля	220	189	31	0	0	0	31	14,1	31	3,5

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

Из листостебельных патогенов яровой пшеницы в условиях полевого эксперимента была зарегистрирована бурая листовая ржавчина. Первичные симптомы инфекционного процесса растений яровой пшеницы проявились в фазу выхода в трубку — колошение. Согласно данным первого учета, интенсивность проявления заболевания варьировала в пределах 5,7...6,3 % при распространенности заболевания 21,7...23,6 % (табл. 2).

Применение фунгицида Ракурс, СК при обработке яровой пшеницы способствовало значительному снижению развития болезни и остановило дальнейшее распространение инфекции на верхние листья растений. По сравнению с контролем интенсивность заболевания снизилась на 12,3...13,4 %, а распространенность — на 35,0...45,6 %. На ранних этапах исследований наименьшая пораженность растений отмечалась на участке, где семена обработали протравителем Стерлинг, ВСК. В дальнейшем, по мере проведения наблюдений, наилучшие результаты по снижению заболеваемости зафиксировали на варианте с предпосевной обработкой семян препаратом Гравиэт, СК.

По результатам оценки биологической эффективности применение фунгицида Ракурс, СК на посевах пшеницы установлено, что через 10 дней после обработки

развитие бурой ржавчины снизилось на 20,4 % при использовании протравителя Стерлинг, ВСК и на 25,8 % — Гравиэт, СК. На тридцатые сутки эффективность применения фунгицида Ракурс возросла до 48,3 % (Стерлинг, ВСК) и 58,0 % (Гравиэт, СК) (табл. 3).

Таблица 2

Средняя пораженность растений яровой пшеницы бурой листовой ржавчиной в зависимости от обработки фунгицидом Ракурс, СК

Вариант опыта	Дата учета	Всего учтено N	Из них поражено в баллах						Распространенность болезни Р	Сумма произведений числа больных частей растений на соответствующий им балл поражения $\Sigma (a \times b)$	Развитие болезни
			0	1	2	3	4	Итого n			
Стерлинг, ВСК	Перед обработкой	360	282	74	4	0	0	78	21,7	82	5,7
	Через 10 дней после обработки	360	269	85	6	0	0	91	25,3	97	6,7
	Через 20 дней после обработки	360	247	102	8	3	0	113	31,4	127	8,8
	Через 30 день после обработки	360	228	114	12	6	0	132	36,7	156	10,8
Гравиэт, СК	Перед обработкой	360	275	80	5	0	0	85	23,6	90	6,3
	Через 10 дней после обработки	360	269	83	7	1	0	91	25,3	100	6,9
	Через 20 дней после обработки	360	248	98	10	4	0	112	31,1	130	9,0
	Через 30 день после обработки	360	237	110	10	3	0	123	34,2	139	9,7
Контроль (без обработки)	Перед обработкой	360	275	79	6	0	0	85	23,6	91	6,3
	Через 10 дней после обработки	360	255	83	15	7	0	105	29,2	134	9,3
	Через 20 дней после обработки	360	204	120	24	12	0	156	43,3	204	14,2
	Через 30 день после обработки	360	111	186	42	21	0	249	69,2	333	23,1

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

Таблица 3

Биологическая эффективность фунгицида Ракурс, СК
в защите яровой пшеницы от бурой листовой ржавчины

Вариант опыта	Среднее развитие болезни на 1 растение, %				Снижение развития с поправкой на контроль после обработки по дням учетов, %		
	До обработки	После обработки по дням учета					
		10	20	30	10	20	30
Стерлинг, ВСК	5,7	6,7	8,8	10,8	20,4	31,5	48,3
Гравиэт, СК	6,3	6,9	9,0	9,7	25,8	36,6	58,0
Контроль (безобработки)	6,3	9,3	14,2	23,1	—	—	—

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

В ходе последующих наблюдений за развитием бурой листовой ржавчины на посевах пшеницы отмечено дальнейшее увеличение степени поражения растений на контрольном участке. К концу эксперимента индекс развития болезни достиг 30,5 % при распространенности 75,3 % (табл. 4). Применение фунгицида Ланцея, КМЭ позволило существенно замедлить дальнейшее распространение заболевания. Благодаря чему удалось сохранить флаговый лист здоровым и продлить срок функционирования листового аппарата растений.

Таблица 4

Средняя пораженность растений яровой пшеницы бурой листовой ржавчиной в зависимости от обработки фунгицидом Ланцея, КМЭ

Вариант опыта	Дата учета	Всего учтено N	Из них поражено в баллах						Распространенность болезни Р	Сумма произведений числа больных частей растения на соответствующий им балл поражения $\Sigma (a \times b)$	Развитие болезни
			0	1	2	3	4	Итого n			
Стерлинг, ВСК	Перед обработ- кой	360	247	102	8	3	0	113	31,4	127	8,8
	Через 10 дней после обработки	360	228	114	12	6	0	132	36,7	156	10,8
	Через 20 дней после обработки	360	234	113	9	4	0	126	35,0	143	9,9
	Через 30 день после обработки	360	244	110	4	2	0	116	32,2	124	8,6

Окончание табл. 4

Вариант опыта	Дата учета	Всего учтено N	Из них поражено в баллах						Распространенность болезни Р	Сумма произведений числа больных частей растения на соответствующий им балл поражения $\Sigma (a \times b)$	Развитие болезни
			0	1	2	3	4	Итого n			
Гравиэт СК	Перед обработкой	360	248	98	10	4	0	112	31,1	130	9,0
	Через 10 дней после обработки	360	237	110	10	3	0	123	34,2	139	9,7
	Через 20 дней после обработки	360	235	115	6	4	0	125	34,7	139	9,7
	Через 30 день после обработки	360	240	113	4	3	0	120	33,3	130	9,0
Контроль (без обработки)	Перед обработкой	360	204	120	24	12	0	156	43,3	204	14,2
	Через 10 дней после обработки	360	111	186	42	21	0	249	69,2	333	23,1
	Через 20 дней после обработки	360	42	218	61	39	0	318	88,3	457	31,7
	Через 30 день после обработки	360	89	145	84	42	0	271	75,3	439	30,5

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

Применение фунгицида Ланцея, КМЭ в период вегетации яровой пшеницы обеспечило биологическую эффективность 54,5 и 53,4 % по вариантам предпосевной обработки Стерлинг, ВСК и Гравиэт, СК соответственно (табл. 5).

Таблица 5

Биологическая эффективность фунгицида Ланцея, КМЭ в защите яровой пшеницы от бурой листовой ржавчины

Вариант опыта	Среднее развитие болезни на 1 растение, %				Снижение развития с поправкой на контроль после обработки по дням учетов, %		
	До обработки	После обработки по дням учета					
		10	20	30	10	20	30
Стерлинг, ВСК	8,8	10,8	9,9	8,6	24,6	49,6	54,5
Гравиэт, СК	9,0	9,7	9,7	9,0	33,8	51,7	53,4
Контроль (без обработки)	14,2	23,1	31,7	30,5	—	—	—

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

Фитосанитарное состояние посевов характеризовалось средней степенью засоренности. Видовой состав сорной растительности был представлен как однолетними, так и многолетними видами (табл. 6).

Таблица 6

Влияние гербицида НордСтрим, ВДГ на общую засоренность посевов яровой пшеницы однолетними и многолетними двудольными сорными растениями

Варианты опыта	Даты учетов	Количество сорных растений		Масса сорных растений	
		экз/м ²	Снижение, % к контролю	г/м ²	Снижение, % к контролю
Стерлинг, ВСК	Перед обработкой	$\frac{18,6}{1,9}$	–	–	–
	Через 10 дней после обработки	$\frac{10,9}{1,4}$	$\frac{71,9}{51,6}$	$\frac{68}{23}$	$\frac{44,7}{56,6}$
	Через 20 дней после обработки	$\frac{4,8}{1,2}$	$\frac{90,9}{58,6}$	$\frac{61}{32}$	$\frac{77,2}{75,0}$
	Через 30 дней после обработки	$\frac{3,6}{0,6}$	$\frac{94,6}{81,6}$	$\frac{36}{40}$	$\frac{88,7}{79,5}$
	Через 40 дней после обработки	$\frac{2,5}{0,2}$	$\frac{97,0}{95,1}$	$\frac{32}{42}$	$\frac{91,9}{87,1}$
Гравиэт, СК	Перед обработкой	$\frac{17,9}{2,1}$	–	–	–
	Через 10 дней после обработки	$\frac{10,8}{1,2}$	$\frac{71,0}{62,5}$	$\frac{70}{25}$	$\frac{43,1}{52,8}$
	Через 20 дней после обработки	$\frac{5,0}{1,1}$	$\frac{90,1}{65,6}$	$\frac{60}{33}$	$\frac{77,5}{74,2}$
	Через 30 дней после обработки	$\frac{2,9}{0,8}$	$\frac{95,5}{77,8}$	$\frac{38}{40}$	$\frac{88,1}{79,5}$
	Через 40 дней после обработки	$\frac{2,1}{0,2}$	$\frac{97,4}{95,6}$	$\frac{34}{43}$	$\frac{91,4}{86,8}$
Контроль (без обработки)	Перед обработкой	$\frac{19,3}{2,1}$	–	–	–
	Через 10 дней после обработки	$\frac{40,2}{3,2}$	–	$\frac{123}{53}$	–
	Через 20 дней после обработки	$\frac{54,7}{3,2}$	–	$\frac{267}{128}$	–
	Через 30 дней после обработки	$\frac{69,2}{3,6}$	–	$\frac{318}{195}$	–
	Через 40 дней после обработки	$\frac{86,4}{4,5}$	–	$\frac{395}{326}$	–

Примечание. Числитель — однолетние сорняки; знаменатель — многолетние сорняки.

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

В период вегетации яровой пшеницы численность сорных растений варьировала в зависимости от вида. Для однолетних двудольных сорняков этот показатель составлял от 19,3 до 86,4 шт/м², для многолетних двудольных — от 2,1 до 4,5 шт/м², а для злаковых видов находился в диапазоне 12,6...82,9 шт/м². Использование гербицидов НордСтрим, ВДГ и Стингрей позволило существенно уменьшить засоренность посевов и подтвердило их высокую биологическую эффективность (табл. 7).

Таблица 7

Влияние гербицида Стингрей, КЭ на общую засоренность посевов яровой пшеницы однолетними злаковыми сорными растениями

Варианты опыта	Даты учетов	Количество сорных растений		Масса сорных растений	
		экз/м ²	Снижение, % к контролю	г/м ²	Снижение, % к контролю
Стерлинг, ВСК	Перед обработкой	12,6	–	–	–
	Через 10 дней после обработки	9,8	75,1	56	55,6
	Через 20 дней после обработки	7,5	87,6	61	77,0
	Через 30 день после обработки	2,7	96,3	55	80,1
	Через 40 день после обработки	2,0	97,6	34	89,5
Гравиэт, СК	Перед обработкой	12,8	–	–	–
	Через 10 дней после обработки	10,1	74,7	58	54,0
	Через 20 дней после обработки	6,8	88,9	59	77,7
	Через 30 день после обработки	2,9	96,1	52	81,2
	Через 40 день после обработки	2,1	97,5	32	90,1
Контроль (без обработки)	Перед обработкой	12,4	–	–	–
	Через 10 дней после обработки	38,7	–	126	–
	Через 20 дней после обработки	59,6	–	265	–
	Через 30 день после обработки	72,3	–	276	–
	Через 40 день после обработки	82,9	–	324	–

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

Применение гербицидов обеспечило высокую биологическую эффективность: засоренность однолетними двудольными сорняками снизилась на 97,0...97,4 %, многолетними — на 95,1...95,6 %, злаковыми — до 97,6 %.

Изучаемая система защиты яровой пшеницы от вредных организмов (возбудителей болезней, вредителей, сорной растительности) с использованием пестицидов Стерлинг, ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40г/л протиоконазола); Гравиэт, СК (паклобутразол, 250 г/л); Ланцея, КМЭ (125 г/л протиоконазола + 100 г/л пикоксистробина); Ракурс, СК (160+240 г/л), Стингрей, КЭ (45 г/л пиноксадена + 11,5 г/л клоквинтосет-мексила) является эффективным агроприемом, обеспечивающим достоверную прибавку урожая яровой пшеницы по сравнению с контролем (табл. 8).

Таблица 8

Урожайность яровой пшеницы в опыте, ц/га			
Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая	
		ц/га	% к контролю
Стерлинг, ВСК	42,6	+7,5	+21,4
Гравиэт, СК	41,5	+6,4	+18,2
Контроль (без обработки)	35,1	—	—
НСР ₀₅ , ц/га — 3,10			

Источник: выполнено А.А. Соколовым, Д.В. Виноградовым, И.М. Лебедевым.

Максимальная урожайность в опыте — 42,6 ц/га — была получена на варианте с применением препарата Стерлинг, ВСК на фоне изучаемой системы защиты растений.

Заключение

Применение комплекса современных средств защиты растений позволило существенно повысить фитосанитарное состояние и урожайность яровой пшеницы. Урожайность увеличилась на 6,4...7,5 ц/га (18,2...21,4 % к контролю) за счет предпосевной обработки препаратами Стерлинг, ВСК и Гравиэт, СК. Последующие обработки фунгицидами Ланцея, КМЭ (53...55 %) и Ракурс, СК (48...58 %) эффективно сдерживали развитие бурой ржавчины, а гербициды НордСтрим, ВДГ и Стингрей, КЭ уничтожили до 97,6 % сорняков.

Список литературы

1. Singh J., Chhabra B., Raza A., Yang S.H., Sandhu K.S. Important wheat diseases in the US and their management in the 21st century // Frontiers in plant science. 2023. Vol. 13. 1010191. doi: 10.3389/fpls.2022.1010191

2. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н. Системы защиты яровой пшеницы от сорняков и болезней в условиях юга Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 4 (78). С. 9–13. EDN: NDXMHB

3. Лебедев И.М., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В. Эффективность применения органоминерального удобрения в технологии выращивания яровой пшеницы // Вестник КрасГАУ. 2025. № 3 (216). С. 23–33. doi: 10.36718/1819-4036-2025-3-23-33 EDN: JMJXBD
4. Виноградов Д.В., Соколов А.А., Лебедев И.М., Крылов В.А., Зубкова Т.В. Влияние жидких медьсодержащих микроудобрений на продуктивность яровой пшеницы // Земледелие. 2025. № 4. С. 13–16. doi: 10.24412/0044-3913-2025-4-13-16 EDN: WKKVYD
5. Виноградов Д.В., Соколов А.А., Лебедев И.М., Крылов В.А., Зубкова Т.В. Эффективность жидких комплексных микроудобрений в посевах яровой пшеницы на юге Нечерноземья // Защита и карантин растений. 2025. № 10. С. 17–18. doi: 10.47528/1026-8634_2025_10_17 EDN: IDQSGK
6. Красножон С.М. Эффективность мероприятий по контролю фитосанитарного состояния посевов яровой пшеницы // АПК России. 2019. Т. 26. № 2. С. 157–162. EDN: PMGGQG
7. Гулидова В.А. Оптимизация фитосанитарного состояния посевов озимой пшеницы: монография. Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. 277 с. EDN: PBCKXW
8. Гулидова В.А. Эффективность предпосевной обработки семян препаратом Полишанс и некорневой подкормки растений озимой пшеницы микроудобрением Макрошанс в условиях Лесостепи Центрального Черноземья // Агропромышленные технологии Центральной России. 2020. № 4 (18). С. 38–46. doi: 10.24888/2541-7835-2020-18-38-46 EDN: LZZCBW
9. Шкуркина А.С. Формирование урожая озимой ржи при применении некорневых подкормок удобрениями в Центральном Нечерноземье // Агропромышленные технологии Центральной России. 2024. № 4 (34). С. 99–107. doi: 10.24888/2541-7835-2024-34-4-99-107 EDN: QRCVCW
10. Чернопятлов С.С. Роль элементов технологии в повышении урожайности озимой тритикале в условиях Центрального Нечерноземья // Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 3 (23). С. 70–74. doi: 10.52671/26867591_2024_3_70 EDN: XEEGKJ
11. Дедова Е.М. Оценка совместного использования предшественников, гербицидов и обработки почвы на урожайность озимой пшеницы // Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 3 (23). С. 11–16. doi: 10.52671/26867591_2024_3_11 EDN: LYEWMM
12. Дедова Е.М., Федоскин В.В., Бакулина Г.Н. Организационно-экономическое обоснование мероприятий по повышению эффективности производства зерна // Молодежь и XXI век — 2022 : материалы 12-й Международ. молодежн. науч. конф. : в 4 томах. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2022. Т. 1. С. 110–115. EDN: IAWXPC
13. Федоскин В.В., Бакулина Г.Н., Поляков М.В., Мартынушкин А.Б., Дедова Е.М. Факторный анализ прибыли и рентабельности производства зерна // Инновации в сельском хозяйстве и экологии : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Рязань, 21 сентября 2023 г.). Рязань : ФГБОУ ВО РГАУ, 2023. С. 417–421. EDN: LGSSHD
14. Vinogradov D.V., Fedotova M. Yu., Kryuchkov M.M., Byshov N.V., Kostin Ya.V., Ushakov R.N. Influence of Co-Use of mineral, organo-mineral microbiological fertilizers and growth regulator on oats yield // Bioscience Biotechnology Research Communications. 2019. Vol. 12. № S5. Pp. 299–307. EDN: WJHDUP
15. Стеничкина М.Ю., Барановский А.В. Использование биопрепаратов в агроценозе овса // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Рязань, ФГБОУ ВО РГАУ, 9 апреля 2020). Рязань : ИП Жуков В.Ю., 2020. С. 460–465.

Об авторах:

Соколов Андрей Андреевич — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и защиты растений, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1; e-mail: falcon-agro@mail.ru
ORCID: 0009-0003-5317-4960 SPIN-код: 7143-0710

Виноградов Дмитрий Валериевич — доктор биологических наук, профессор кафедры общего земледелия и агроэкологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; заведующий кафедрой агрохимии и защиты растений, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1; e-mail: vdvznp@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2017-1491 SPIN-код: 3264-3460

Зубкова Татьяна Владимировна — доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Российская Федерация, 399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28; e-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3525-488X SPIN-код: 5140-1260

Лебедев Иван Михайлович — аспирант кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Российская Федерация, 399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28; e-mail: lebedeff.iv@yandex.ru
SPIN-код: 6673-5107



Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-269-279

EDN JPCDYM

УДК 633.11:630*114.445

Научная статья / Research article

Влияние 6-бензиламинопурина на продуктивность озимых зерновых в условиях почвенного засоления

И.В. Горепекин¹  , З.С. Султанова² , Т.Г. Калнин¹ , Г.Н. Федотов¹ ,
С.А. Шоба¹ , Ш.П. Сабирова² , Н.П. Пирназарова² 

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

²Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий, г. Нукус, Республика Узбекистан

 decembrist96@yandex.ru

Аннотация. 6-бензиламинопурин является синтетическим аналогом природного фитогормона группы цитокининов. В ряде исследований показано, что его использование положительно влияет на развитие растений в условиях почвенного засоления. Между тем полевых исследований по влиянию 6-бензиламинопурина на развитие озимых зерновых культур для территории Республики Узбекистан не обнаружено. Цель исследования — оценка влияния фоллиарной обработки на показатели продуктивности озимых зерновых культур 6-бензиламинопурином в условиях почвенного засоления. Исследование проводилось на орошаемых участках в Республике Узбекистан (Республика Каракалпакстан). По результатам опыта 2023–2024 г. установлено, что при использовании состава на изученных культурах увеличиваются масса зерна с квадратного метра и средняя масса зерна с колоса. Полевой опыт 2024–2025 г. показал, что обработка фитогормонами озимых пшеницы и ячменя улучшает общую и продуктивную кустистость и это сказалось на повышении урожайности изученных культур: 14 % для озимой пшеницы и 9 % для озимого ячменя.

Ключевые слова: фитогормоны, листовая обработка, пшеница, ячмень

© Горепекин И.В., Султанова З.С., Калнин Т.Г., Федотов Г.Н., Шоба С.А., Сабирова Ш.П., Пирназарова Н.П., 2026



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

Вклад авторов: Горепекин И.В. — дизайн исследования, обработка материалов, написание текста статьи; Султанова З.С. — сбор и обработка материалов, анализ результатов, написание текста; Калнин Т.Г. — сбор материалов, анализ результатов; Федотов Г.Н. — дизайн исследования, обработка материалов, редактирование статьи; Шоба С.А. — концепция статьи, редактирование статьи; Сабирова Ш.П. — сбор материалов, анализ результатов; Пирназарова Н.П. — сбор материалов, анализ результатов. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

Финансирование. Работа выполнена за счет финансирования, выделенного на цели функционирования Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ (распоряжение Правительства РФ № 1736-р от 26.06.2021).

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

История статьи: поступила в редакцию 30 октября 2025 г.; принята к публикации 12 марта 2026 г.

Для цитирования: Горепекин И.В., Султанова З.С., Калнин Т.Г., Федотов Г.Н., Шоба С.А., Сабирова Ш.П., Пирназарова Н.П. Влияние 6-бензиламинопурина на продуктивность озимых зерновых в условиях почвенного засоления // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 269–279. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-269-279 EDN: JPCDYM

The effect of 6-benzylaminopurine on productivity of winter cereals under soil salinization conditions

Ivan V. Gorepekin¹  , Zulfiya S. Sultanova² , Timofey G. Kalnin¹ ,
Gennady N. Fedotov¹ , Sergey A. Shoba¹ , Shakhnoza P. Sabirova² ,
Nigora P. Pirnazarova² 

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²Karakalpak Institute of Agriculture and Agrotechnologies, Nukus, Republic of Uzbekistan
 decembrist96@yandex.ru

Abstract. 6-benzylaminopurine is a synthetic analogue of the natural phytohormone of the cytokinin group. A number of studies have shown that its use has a positive effect on plant development in conditions of soil salinization. Meanwhile, the authors have not found any field studies on the effect of 6-benzylaminopurine on the development of winter grain crops in the territory of the Republic of Uzbekistan. The aim of the study was to evaluate the effect of foliar treatment on productivity of winter grain crops with 6-benzylaminopurine under soil salinization conditions. The study was conducted on irrigated areas in the Republic of Uzbekistan (Republic of Karakalpakstan). Based on the results of the 2023–2024 experiment, it was found that when using the agent on the studied crops, spike weight and average grain weight per spike improve. As a result of the field experiment of 2024–2025, it was shown that phytohormone treatment of winter wheat and barley improves overall and productive tillering, which is reflected in increase in yields of the studied crops: 14 % for winter wheat and 9 % for winter barley.

Key words: phytohormones, leaf treatment, wheat, barley

Authors' contribution: Gorepekin I.V. — study design, material processing, writing the manuscript; Sultanova Z.S. — material collection and processing, analysis of results, writing the manuscript; Kalnin T.G. — material collection, analysis of results; Fedotov G.N. — study design, material processing, editing of the manuscript;

Shoba S.A. — concept of the article, editing of the manuscript; Sabirova S.P. — material collection, analysis of results; Pimazarova N.P. — material collection, analysis of results. All authors approved the final version of the manuscript.

Funding. The research was carried out using funding allocated for the functioning of the Eurasian Center for Food Security of Moscow State University (Order of the Government of the Russian Federation No. 1736-r dated June 26, 2021).

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

Article history: received 30 October 2025; accepted 12 March 2026.

For citation: Gorepekin IV, Sultanova ZS, Kalnin TG, Fedotov GN, Shoba SA, Sabirova SP, Pimazarova NP. The effect of 6-benzylaminopurine on productivity of winter cereals under soil salinization conditions. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):269–279. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-269-279. EDN: JPCDYM

Введение

Орошаемые территории Центральной Азии подвержены риску вторичного засоления, а процесс восстановления засоленных земель практически не реализуется. Анализ содержания солей в Джизакской зоне орошения за период с 1995 по 2016 г. не выявил значимых улучшений исследованных участков [1]. Средняя минерализация грунтовых вод на 75,3 % орошаемых площадей находилась в диапазоне от 1,1 до 5,0 г/л. В таких условиях поддержание стабильных урожаев осуществляется преимущественно за счет интенсивного использования удобрений. Между тем удобрения также можно считать фактором, способствующим засолению почвы [2, 3].

Гидротехнические мероприятия, направленные на промывку почвенного профиля при хорошем дренаже, являются эффективным [4, 5], но дорогостоящим приемом борьбы с засолением почв. Поэтому следует рассмотреть иной подход увеличения урожайности: повысить устойчивость сельскохозяйственных растений к негативному действию солей.

Согласно данным физиологов растений [6–12], негативное влияние засоления на растения реализуется путем подавления фотосинтетической активности, транспирации, устьичной проводимости растений, а также изменением морфологии, активности ферментов и соотношения ионов K^+ и Na^+ в растениях. Посредниками всех перечисленных процессов выступают фитогормоны растений, которые регулируют адаптацию растений к стрессовым факторам [13]. Итоговым результатом действия солевого стресса на растения является ухудшение количества и качества получаемого урожая [8].

Устойчивость сельскохозяйственных растений к негативному действию солей можно повышать двумя путями: селекцией солеустойчивых сортов и экзогенным внесением добавок, повышающих защитные реакции растений.

Подбор солеустойчивых сортов среди существующих [14, 15] и выявление генетических маркеров, ответственных за солеустойчивость [16–18], — перспективные направления исследований. Так, одним из путей их реализации является

поиск сортов, способных избегать накопления ионов Na^+ в надземных частях растения [10]. Однако селекционная работа — длительный процесс, в котором сложно ожидать появления быстрых результатов.

Второе направление — внесение добавок, смягчающих реакцию растений на солевой стресс. К таким добавкам можно отнести фитогормоны [19–26], в частности 6-бензиламинопурин — гормон группы цитокининов [19–21, 27, 28]. При солевом стрессе 6-БАП ослабляет негативные эффекты, связанные с поглощением активных форм кислорода [29], а также способствует сохранению баланса гормонов в условиях солевого стресса [19].

Результаты полевых опытов говорят о неоднозначном влиянии 6-бензиламинопурина на развитие зерновых культур при засолении почв. Так, в исследовании [30] показано, что 6-бензиламинопурин при внекорневой подкормке пшеницы способствовал повышению урожайности только в сочетании с цинком. В других исследованиях, напротив, показано, что внекорневая обработка пшеницы 6-бензиламинопурином до начала цветения повышала урожайность за счет увеличения количества фертильных цветков в базальных и центральных колосках [31]. Исследования С.А. Кузнецовой продемонстрировали улучшение вегетативного развития пшеницы при листовой обработке 6-бензиламинопурином [20]: на 18...29 % в фазе кущения и на 13...15 % в фазе молочной спелости. Между тем, подобной информации для условий орошаемых земель Узбекистана, характеризующихся различной степенью засоления, мы не обнаружили.

Кроме того, для ячменя, несмотря на исследования физиологических механизмов роли фитогормонов в устойчивости к солевому стрессу, собранные, в частности, в монографии [32], результатов полевых исследований по влиянию 6-бензиламинопурина на развитие ячменя в условиях почвенного засоления также не найдено.

Цель исследования — оценить влияние фолиарной обработки на показатели продуктивности озимых зерновых культур 6-бензиламинопурином в условиях почвенного засоления.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на участках научно-производственного объединения «Зерно и рис» Нукусского района Республики Каракалпакстан в Республике Узбекистан в вегетационные периоды 2023–2024 и 2024–2025 гг.

Почва в районе проведения опытов орошаемая луговая аллювиальная. Содержание гумуса в почве на исследуемом поле — 0,8...1,0 %, подвижного азота — 0,28 мг/кг, подвижного P_2O_5 — 7,0 мг/кг, подвижного K_2O — 130 мг/кг. Текстуриный класс почвы по ареометрическому методу — средний суглинок. Почвы в районе исследования характеризуются хлоридно-сульфатным типом засоления с суммарным содержанием хлорид- и сульфат-ионов 0,14 %, что по методу почвенных вытяжек В.С. Муратовой и В.Ю. Маргулиса соответствует слабозасоленным почвам [33].

Сроки и нормы промывки почвы под озимые культуры в зависимости от поступления поливной воды и степени засоленности поля начинаются с августа

и заканчиваются в начале сентября. Расход воды на промывку слабозасоленной почвы участков составляет 2000...2500 м³/га. При созревании почвы вносили фосфорно-калийные удобрения РМУ-0,5 с трактором ТТЗ-80-11. Норма удобрений согласно региональной норме N₁₅₀ P₆₀ K₄₀, под вспашку вносили всю норму фосфорно-калийных удобрений, 1/3 часть азотных удобрений — под предпосевную культивацию. Вспашка участка проводилась трактором Магnum с использованием плуга ПД-4-35. Далее проводилось разравнивание краев поля установкой РВН-3/8,5 или ВП-8А, трактором Т-4А-01. Для уплотнения и разравнивания участка использовали трактор ТТЗ-60.10. Посев проводили бразильской сеялкой с шириной захвата 2 м, междурядья 12–13 см. Перед посевом семена обрабатывали препаратом «Скарлик» с расходом препарата 350 мл раствора в 150 литрах воды на 1 тонну семян. Вместе с посевом вносили суперфосфат из расчета 15 кг д.в. на гектар.

Ранневесенняя подкормка азотными удобрениями проводилась вручную равномерным разбрасыванием аммиачной селитры. В фазе кущения и начале формирования зерна проводили обработку водным раствором мочевины из расчета 30 кг/га д.в. в 400 л воды в утреннее или вечернее время моторными ручными опрыскивателями. Семена районированных сортов озимой пшеницы и озимого ячменя высевали 30 сентября на глубину 4–5 см, норма высева семян 5,0 млн всхожих семян на гектар.

В середине фазы кущения против сорных растений с учетом развития и состава сорняков после влагозарядкового полива проводили обработку против двудольных сорняков препаратами Гранстар супер, Голд Стар, Энтостар плюс с рекомендуемой нормой расхода.

В 2023–2024 г. закладывали пробный опыт по оценке влияния фолиарной обработки 6-бензиламинопурином на рост и развитие озимых культур: ячменя сорта Янтарный 3 и пшеницы Каракалпакстан 100.

При проведении опытов закладывали по 6 делянок площадью 1 м².

Опыты проводили на делянках 25 м² в 4-кратной повторности каждая. Делянки располагались в шахматном порядке. Это позволяло создать чередование контрольных и опытных вариантов.

В 2023–2024 гг. вегетационный период состав для обработки растений по листу включал в себя 6-бензиламинопурин в концентрации 0,01 г/л, полиэтиленгликоль с молекулярной массой 300 у.е. в концентрации 0,3 г/л. Для повышения растворимости 6-бензиламинопурина рабочий раствор готовили в 0,05 н гидроксиде калия. Для обработки растений использовали ранцевый распылитель, начиная с фазы кущения, и проводили три опрыскивания с интервалом в 14 дней.

Определяемые показатели включали в себя: массу колосьев с м², количество семян в колосе, массу 1000 семян, среднюю массу зерна с колоса, высоту растений и длину колосьев.

В полевом сезоне 2024–2025 гг. условия проведения экспериментов были идентичны описанным ранее в контексте норм орошения, внесения удобрений и подготовки семян к севу.

Фолиарную (по листу) обработку 6-бензиламинопурином озимых культур проводили дважды. Первую обработку проводили в фазе выхода в трубку, вторую —

в фазе колошения. Делянки обрабатывали из ранцевого распылителя: водой в контроле и раствором фитогормона в опыте. Расход состава 50 литров на 100 кв. м.

Уборку проводили в фазе полной спелости при появлении внешних признаков созревания растения, зерна приобретали твердость, свойственной полному созреванию зерна. Уборка пшеницы проводилась прямым комбайнированием. Зерно мягкой озимой пшеницы и озимого ячменя после уборки очищали от примесей вручную.

Результаты исследования и обсуждение

В ходе вегетационного периода 2023–2024 г. фолиарная (листовая) обработка озимого ячменя 6-бензиламинопурином увеличила: массу зерна с квадратного метра с 414,5 до 481,5 г, или на 16 %; число зерен в колосе с 28 до 36 шт., или на 29 %; среднюю массу зерна с колоса с 1,2 до 1,6 г, т.е. на 33 % (табл. 1).

Таблица 1

Показатели продуктивности озимых зерновых культур при фолиарной обработке составом на основе 6-бензиламинопурина

Культура, сорт	Обработка	Высота растений, см	Масса зерна, г/м²	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, штук	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 семян, г
Озимый ячмень, Янтарный 3	Нет	86,7	414,5	8,3	28,0	1,2	38,1
	Да	88	481,2	7,4	36,0	1,6	40,2
Озимая пшеница, Каракалпакстан 100	Нет	86,4	673	10,4	40,0	2,1	52,0
	Да	99,7	817,5	10,0	41,0	2,3	55,8

Источник: схема опыта разработана И.В. Горепекиным, З.С. Султановой, С.А. Шоба, Г.Н. Федотовым, проведение полевых опытов и обработка результатов – Т.Г. Калнин, Ш.П. Сабирова, Н.П. Пирназарова.

Фолиарная обработка 6-бензиламинопурином также улучшила параметры озимой пшеницы: масса зерна с квадратного метра выросла с 673 до 817,5 г, т.е. на 21 %, а средняя масса с колоса с 2,1 до 2,3 г, т.е. на 10 %.

Таким образом, положительные результаты первого этапа работы позволили продолжить проверку эффективности 6-бензиламинопурина в полевом сезоне 2024–2025 г. Для определения эффекта состава при уменьшении количества обработок растений решили сократить число опрыскиваний растений с 3 до 2.

Анализ данных вегетационных опытов 2024–2025 г. показал, что сокращение числа обработок не ухудшило показатели эффективности состава. Рассмотрим полученные результаты более подробно (табл. 2).

Таблица 2

Показатели продуктивности растений при обработке 6-бензиламинопурином в фазе полной спелости (2025 г.)

Культура, сорт	Число растений		Высота растений, см	Общая кустистость, в среднем, шт./м ²	Число продуктивных стеблей на одном растении, шт./м ²	Масса зерна с 1 м ² , г
	В начале вегетации весной, шт./ м ²	Перед уборкой, шт./ м ²				
Озимая пшеница, сорт Уткир, без обработки	327	306,0	99,7	4,0	4,0	550,8
Озимая пшеница сорт Уткир, с обработкой		318,0	92,0	4,5	4,3	628,8
Озимый ячмень сорт Янтарный 3, без обработки	342	320,0	87,8	3,0	2,9	477,2
Озимый ячмень сорт Янтарный 3, с обработкой		337,0	84,1	3,6	3,6	521,6

Источник: схема опыта разработана И.В. Горепекиным, З.С. Султановой, С.А. Шоба, Г.Н. Федотовым, проведение полевых опытов и обработка результатов – Т.Г. Калнин, Ш.П. Сабирова, Н.П. Пирназарова.

Количество растений перед уборкой на пшенице (сорт Уткир) увеличилось с 306,0 в контроле до 318,0 шт./м² при обработке. На ячмене (сорт Янтарный 3) также наблюдалась положительная динамика: число растений выросло с 320,0 до 337,0 шт./м². Это свидетельствует о том, что обработка препаратом способствовала лучшей сохранности растений к уборке.

У обеих культур обработка привела к незначительному снижению высоты растений (пшеницы с 99,7 до 92,0 см; ячменя с 87,8 до 84,1 см). Это может свидетельствовать о некотором сдерживающем эффекте на рост стебля в высоту, что иногда коррелирует с устойчивостью к полеганию.

Показатель общей кустистости пшеницы вырос с 4,0 до 4,5 шт./м², у ячменя — с 3,0 до 3,6 шт./м², т.е. обработка стимулировала процесс кущения. При этом количество стеблей, давших урожай, увеличилось пропорционально общей кустистости: на пшенице с 4,0 до 4,3 шт./м², на ячмене с 2,9 до 3,6 шт./м². Исходя из представленных данных можно заключить, что препарат не просто увеличивает кустистость, но и повышает продуктивность этих стеблей (т.е. они не остаются бесплодными).

Масса зерна с 1 м² — ключевой показатель продуктивности — у пшеницы Уткир выросла с 550,8 до 628,8 г/м², у ячменя Янтарный 3 — с 477,2 до 521. Фактически результаты опытов говорят о том, что обработка 6-бензиламинопурином (6-БАП) в фазе полной спелости привела к увеличению урожайности: на озимой пшенице прирост составил 78 г/м² (около 14,2 %), а на озимом ячмене — 44,4 г/м² (около 9,3 %).

При дополнении результатов табл. 2 показателями структуры урожая (табл. 3) можно сделать следующие выводы.

Для озимой пшеницы Уткир обработка 6-БАП оказала комплексное положительное влияние на все составляющие продуктивности колоса. Так, число зерен в колосе увеличилось с 41,0 до 43,0 шт. Средняя масса зерна с колоса продемонстрировала существенный рост с 2,4 до 3,2 г. Именно этим можно объяснить итоговую прибавку урожая (см. табл. 2). При этом масса 1000 семян выросла с 48,7 до 50,6 г, т.е. обработка способствовала наливу зерна, делая его более выполненным и тяжелым. Длина колоса также увеличилась с 7,6 до 8,8 см, что коррелирует с увеличением числа зерен в колосе.

Для озимого ячменя Янтарный 3 реакция на обработку была более специфичной. Число зерен в колосе выросло с 34,0 до 37,0 шт. (тенденция, схожая с пшеницей), так же, как и средняя масса зерна с 3,3 до 3,5 г, в то время как масса 1000 семян уменьшилась — с 41,8 до 40,3 г.

Сопоставление данных табл. 2 и 3 позволяет объяснить природу прибавки урожая.

Таблица 3

**Влияние обработки 6-бензиламинопурином
на показатели структуры урожая озимых растений (2025 г.)**

Культура, сорт	Обработка	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, средняя, г	Масса 1000 семян, г	Длина колоса, см
Озимая пшеница, Уткир	Да	43	3,2	50,6	8,8
	Нет	41,0	2,4	48,7	7,6
Озимый ячмень, Янтарный 3	Да	37,0	3,5	40,3	11,8
	Нет	34,0	3,3	41,8	11,0

Источник: схема опыта разработана И.В. Горепекиным, З.С. Султановой, С.А. Шоба, Г.Н. Федотовым, проведение полевых опытов и обработка результатов — Т.Г. Калнин, Ш.П. Сабирова, Н.П. Пирназарова.

Для пшеницы Уткир прирост урожая (+78 г/м²) обеспечили два фактора: увеличение продуктивного стеблестоя (с 4,0 до 4,3 стебля/м² (см. табл. 2)), а также повышение продуктивности каждого колоса (масса зерна с колоса выросла на 33 %: с 2,4 до 3,2 г (см. табл. 3)). Это самый значимый эффект. Увеличение массы 1000 зерен подтверждает, что зерно стало крупнее.

Для ячменя Янтарный 3 прирост урожая (+44,4 г/м²) обеспечил иной механизм: увеличение продуктивного стеблестоя сыграло решающую роль (с 2,9 до 3,6 стебля/м², т.е. прирост продуктивных стеблей составил около 24 % (см. табл. 2)). Продуктивность колоса выросла незначительно (с 3,3 до 3,5 г). Более того, масса 1000 зерен даже немного снизилась, что говорит о возможном «эффекте конкуренции»: растение сформировало больше колосьев (за счет кущения),

но зерно в них получилось чуть менее крупным, чем в контроле. Однако общая биологическая масса зерна все равно оказалась выше.

Таким образом, использование 6-бензиламинопурина может представлять собой значимый резерв для повышения урожайности в условиях орошаемых почв Республики Каракалпакстан, характеризующихся различной степенью засоления.

Заключение

Подтверждено положительное влияние листовой обработки озимой пшеницы 6-бензиламинопурином на показатели структуры урожая и его величину. В полевых опытах урожайность с учетных площадей увеличилась на 14 %.

Впервые показано положительное влияние листовой обработки озимого ячменя 6-бензиламинопурином на показатели структуры урожая и его величину. В полевых опытах урожайность с учетных площадей увеличилась на 9 %.

Обработка 6-бензиламинопурином оказалась эффективной для обеих культур, но механизм действия на изученные озимые различался. Для пшеницы Уткир препарат выступает мощным стимулятором продуктивности колоса (увеличил озерненность, массу 1000 зерен и длину колоса), что дает максимальную прибавку урожая. Для ячменя Янтарный 3 обработка сработала преимущественно как стимулятор продуктивного кущения (увеличила количество стеблей, несущих урожай), тогда как показатели самого колоса изменились менее значительно, а выполненность зерна (масса 1000) даже немного снизилась.

Список литературы

1. Kulmatov R, Mirzaev J, Abuduwalli J, Karimov B. Challenges for the sustainable use of water and land resources under a changing climate and increasing salinization in the Jizzakh irrigation zone of Uzbekistan. *Journal of Arid Land*. 2020;12(1):90–103. doi: 10.1007/s40333-020-0092-8 EDN: ARTTXR
2. Трапезников В.К., Иванов И.И., Тальвинская Н.Г., Анохина Н.Л. Реакция сортов яровой пшеницы на локальный солевой стресс // *Агрохимия*. 2002. № 11. С. 13–21. EDN: XWGNFZ
3. Khasanov S, Kulmatov R, Li F, van Amstel A, Bartholomeus H, Aslanov I, et al. Impact assessment of soil salinity on crop production in Uzbekistan and its global significance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2023;342:108262. doi: 10.1016/j.agee.2022.108262 EDN: RSKIWS
4. Панкова Е.И. Засоление орошаемых почв среднеазиатского региона: старые и новые проблемы // *Аридные экосистемы*. 2016. Т. 22. № 4 (69). С. 21–29. EDN: WYBNSB
5. Vargas R, Pankova E, Balyuk S, Krasilnikov P, Khasankhanova G, editors. *Handbook for saline soil management*. Rome: FAO; 2018. EDN: YLNVOX
6. Egamberdieva D, Wirth S, Abd_Allah EF. Plant hormones as key regulators in plant-microbe interactions under salt stress. In: *Plant microbiome: stress response*. Singapore: Springer Singapore; 2018. p. 165–182.
7. Abdelrady WA, Ma Z, Elshawy EE, Wang L, Askri SMH, Ibrahim Z, et al. Physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in barley under salinity stress. *Plant Stress*. 2024;11:100403. doi: 10.1016/j.stress.2024.100403 EDN: BIVIVL
8. El Sabagh A, Islam MS, Skalicky M, Ali Raza M, Singh K, Anwar Hossain M, et al. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*. 2021;3:661932. doi: 10.3389/fagro.2021.661932 EDN: PMCOOM
9. Farooq M, Zahra N, Ullah A, Nadeem F, Rehman A, Kapoor R, et al. Salt stress in wheat: effects, tolerance mechanisms, and management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2024;24(4):8151–8173. doi: 10.1007/s42729-024-02104-1 EDN: ZWPTCP

10. Mahlooji M, Seyed Sharifi R, Razmjoo J, Sabzalian MR, Sedghi M. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. *Photosynthetica*. 2018;56(2):549–556. doi: 10.1007/s11099-017-0699-y EDN: YMIUZV
11. Mandhania S, Madan S, Sawhney V. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*. 2006;50(2):227–231.
12. Nassar RMA, Kamel HA, Ghoniem AE, Alarcón JJ, Sekara A, Ulrichs C, Abdelhamid MT. Physiological and anatomical mechanisms in wheat to cope with salt stress induced by seawater. *Plants*. 2020;9(2):237. doi: 10.3390/plants9020237 EDN: TNHOIE
13. Yu Z, Duan X, Luo L, Dai S, Ding Z, Xia G. How plant hormones mediate salt stress responses. *Trends in Plant Science*. 2020;25(11):1117–1130. doi: 10.1016/j.tplants.2020.06.008 EDN: FJTJES
14. Кононенко Н.В., Диловарова Т.А., Канавский Р.В., Лебедев С.В., Баранова Е.Н., Федореева Л.И. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 1. С. 18–39. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39 EDN: BABIAD
15. Сандухадзе Б.И., Марченкова Л.А., Рыбакова М.И., Воейкова А.А., Чавдарь Р.Ф. Реакция сортов озимой пшеницы на искусственно создаваемые стрессы для оценки их адаптивности на ранних этапах онтогенеза // Агрохимический вестник. 2015. № 3. С. 27–30. EDN: TYJCZP
16. Dadshani S, Sharma RC, Baum M, Ogbonnaya FC, Leon J, Ballvora A. Multi-dimensional evaluation of response to salt stress in wheat. *PLoS One*. 2019;14(9):e0222659. doi: 10.1371/journal.pone.0222659 EDN: UICXQD
17. Saddiq MS, Iqbal S, Hafeez MB, Ibrahim AM, Raza A, Fatima EM, et al. Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*. 2021;11(6):1193. doi: 10.3390/agronomy11061193 EDN: HFVXPK
18. Thabet SG, Alomari DZ, Alqudah AM. Exploring natural diversity reveals alleles to enhance antioxidant system in barley under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021;166:789–798. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.06.030 EDN: LJHOL
19. Авальбаев А.М., Юлдашев Р.А., Сафутдинова Ю.В., Аллагулова Ч.Р., Фатхутдинова Р.А., Шакирова Ф.М. Влияние 6-бензиламинопурина на рост и гормональную систему проростков пшеницы в условиях солевого стресса // Агрохимия. 2010. № 9. С. 60–65. EDN: MUGUGP
20. Кузнецова С.А. Особенности гормональной адаптации и изменение физиологических процессов пшеницы в условиях засоления NaCl : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2006. 25 с. EDN: NOKJOT
21. Кузнецова С.А., Климачев Д.А., Якушкина Н.И. Изменение гормонального баланса пшеницы в зависимости от условий засоления NaCl и экзогенной обработки цитокининами // Агрохимия. 2005. № 8. С. 29–33. EDN: HSCPOX
22. Шевякова Н.И., Мусатенко Л.И., Стеценко Л.А., Ракитин В.Ю., Веденичева Н.П., Кузнецов В.В. Влияние АБК на содержание пролина, полиаминов и цитокининов в растениях хрустальной травки при солевом стрессе // Физиология растений. 2013. Т. 60. № 6. С. 784–784. doi: 10.7868/S0015330313060122 EDN: RCGLNP
23. Fahad S, Hussain S, Matloob A, Khan FA, Khaliq A, Saud S, et al. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant Growth Regulation*. 2015;75(2):391–404. doi: 10.1007/s10725-014-0013-y EDN: VGWMUR
24. Javid MG, Sorooshzadeh A, Moradi F, Modarres Sanavy SAM, Allahdadi I. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science*. 2011;5(6):726–734. EDN: OLUETL
25. Sá FVS, Brito ME, Silva LDA, Moreira RC, Paiva EPD, Souto LS. Exogenous application of phytohormones mitigates the effect of salt stress on *Carica papaya* plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2020;24:170–175. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p170-175 EDN: RWKHNU
26. Tabur S, Demir K. Role of some growth regulators on cytogenetic activity of barley under salt stress. *Plant Growth Regulation*. 2010;60(2):99–104. doi: 10.1007/s10725-009-9424-6 EDN: MZMMFD
27. Li Z, Pei X, Yin S, Lang X, Zhao X, Qu GZ. Plant hormone treatments to alleviate the effects of salt stress on germination of *Betula platyphylla* seeds. *Journal of Forestry Research*. 2019;30(3):779–787. doi: 10.1007/s11676-018-0661-2 EDN: VRHRMJ
28. Liu J, Meng F, Jiang A, Hou X, Liu Q, Fan H, Chen M. Exogenous 6-BA enhances salt tolerance of *Limonium bicolor* by increasing the number of salt glands. *Plant Cell Reports*. 2024;43(1):12. doi: 10.1007/s00299-023-03104-8 EDN: LSACMU

29. Ma X, Zhang J, Huang B. Cytokinin-mitigation of salt-induced leaf senescence in perennial ryegrass involving the activation of antioxidant systems and ionic balance. *Environmental and Experimental Botany*. 2016;125:1–11.
30. Zarea MJ, Karimi N. Grain yield and quality of wheat are improved through post-flowering foliar application of zinc and 6-benzylaminopurine under water deficit condition. *Frontiers in Plant Science*. 2023;13:1068649.
31. Zheng C, Zhu Y, Wang C, Guo T. Wheat grain yield increase in response to pre-anthesis foliar application of 6-benzylaminopurine is dependent on floret development. *PLoS One*. 2016;11(6):e0156627. doi: 10.1371/journal.pone.0156627
32. Akhtar MS. *Salt stress, microbes, and plant interactions: mechanisms and molecular approaches*. Singapore: Springer Singapore; 2019.
33. Засоленные почвы России : монография / под ред. Л.Л. Шишков, Е.И. Панкова. М. : Академкнига, 2006. 854 с.

Об авторах:

Горепекин Иван Владимирович — кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры географии почв факультета почвоведения, научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: decembrist96@yandex.ru

ORCID: 0009-0000-1016-1906 SPIN-код: 1761-6603

Султанова Зулфия Султановна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра технологии производства, хранения и переработки сельскохозяйственной и лекарственной продукции, Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий, Республика Узбекистан, 230100, г. Нукус, ул. Дарбент, д. 140/1; e-mail: z_sultanova@yahoo.com

ORCID: 0000-0001-9273-026X

Калнин Тимофей Геннадьевич — кандидат биологических наук, младший научный сотрудник кафедры физики почв факультета почвоведения, научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: kalnintg@my.msu.ru

ORCID: 0000-0001-5063-4624 SPIN-код: 6323-4325

Федотов Геннадий Николаевич — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры географии почв факультета почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8910-3433 SPIN-код: 1451-7807

Шоба Сергей Алексеевич — доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой географии почв факультета почвоведения, директор Евразийского центра по продовольственной безопасности, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: office@ecfs.msu.ru

ORCID: 0000-0001-9889-5831 SPIN-код: 8978-1851

Сабирова Шахноза Памировна — докторант кафедры растениеводства, лесоводства и ландшафтного дизайна, Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий, Республика Узбекистан, 230100, г. Нукус, ул. Дарбент, д. 140/1; e-mail: sahnozasabirova6@gmail.com

ORCID: 0009-0004-7163-7153

Пирназарова Нигора Пулатовна — докторант кафедры растениеводства, лесоводства и ландшафтного дизайна, Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий, Республика Узбекистан, 230100, Нукус, ул. Дарбент, д. 140/1; e-mail: pirnazarova@tdaunukus.uz

ORCID: 0009-0006-4686-9889



Animal breeding Животноводство

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-280-290

EDN JRBfMA

UDC 579.86:636.085.52:633.31/37

Research article / Научная статья

Effects of *Lacticaseibacillus paracasei* and *Enterococcus faecium* on the microbial community and metabolic potential of legume-cereal silage

Sophia J. Gallegos¹  , Ekaterina S. Ponomareva¹ , Larisa A. Ilina² 

¹ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation

²Saint Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Russian Federation

 gallegos_sophia@outlook.com

Abstract. Silage is used as a major part of fodder all over the world. Lactic acid bacteria (LAB) play a critical role in silage production from legumes, grains, and other plants, lowering the pH by producing different kinds of organic acids during ensiling, which inhibits undesirable bacteria that decrease the quality and shelf life of the inoculated product. The aim of this study was to determine the effects of *Lacticaseibacillus paracasei* and *Enterococcus faecium* inoculated together and separately on the bacterial community, fermentation quality and metabolic pathways of legume-cereal silage after 30 days. We conducted a model ensiling of legume-cereal crops of the first harvest cut in the Leningrad region at the booting stage. Three experimental groups with different bacterial strains were added during ensiling (LE: *L. paracasei* and *E. faecium*; LP: *L. paracasei*; and EF: *E. faecium*). The microorganisms in the silage were counted at 0 and 30 days of ensiling, using Illumina MiSeq high-throughput sequencing to determine their composition. The DNA of the silage microbial community was isolated, amplified, sequenced, and processed, then used to predict functional metabolic pathway abundances based on 16S rRNA marker gene sequences using the database MetaCyc. LAB genera were presented as minor taxa pre-ensiling, while *Weissella*, *Lactobacillus*, and *Pediococcus* were the dominant genera after 30 days of silage. Overall, LE had the most desirable bacteria and metabolic pathways for silage. LP also performed

© Gallegos S.J., Ponomareva E.S., Ilina L.A., 2026



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

favorably. EF had undesirable bacteria and metabolites, showing the worst fermentation quality. Our results found important differences in predicted carbohydrate and biogenic amine metabolism between the different groups as well. To our knowledge, little information is available regarding the dynamics of bacterial community succession and metabolic pathways of silage prepared with *L. paracasei* and *E. faecium*.

Key words: ensilage, lactic acid bacteria, bacterial community, metabolic pathways

Authors' contribution: Gallegos S.J. — statistical analysis and interpretation of results, preparation of the manuscript, editing; Ponomareva E.S. — carrying out molecular genetic analysis and general scientific supervision; Ilina L.A. — planning and organizing the experiments, selecting research materials, approval of the final manuscript version. All authors approved the final version of the manuscript.

Acknowledgments. This research was supported by the Russian National Science Foundation Grant No. 23-16-20007 and the St. Petersburg Science Foundation Grant No. 23-16-20007 “Development of an integrated biotechnological approach for biological protection of cattle and livestock products from pathogenic bacteria and their toxins”.

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

Article history: received 31 October 2025; accepted 26 January 2026.

For citation: Gallegos SJ, Ponomareva ES, Ilina LA. Effects of *Lacticaseibacillus paracasei* and *Enterococcus faecium* on the microbial community and metabolic potential of legume-cereal silage. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):280–290. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-280-290 EDN: JRBfMA

Introduction

In many parts of the world preserved forages, such as silages, are used as a major part of the diet of livestock. Since ensiling is a consistent and reliable method for producing feed, it is becoming increasingly popular. Lactic acid bacteria (LAB) play a critical role in silage production from legumes, grains, and other plants. In anaerobic conditions, LAB lower the pH during ensiling, which inhibits undesirable bacteria and increases the shelf life of the inoculated product [1].

Legume crops are associated with more diverse microbial populations and higher protein than cereal crops. Higher protein results in the growth of undesirable microbes and deterioration of fermentation quality. Ensiling legume crops with cereal crops improves silage quality by decreasing the pH and increasing the content of lactic and acetic acid [2, 3].

The fermentation quality of silage is highly dependent on the succession of the microbial community during ensiling. The predomination or survival of undesirable microorganisms results in poor fermentation quality; silage loses energy and nutrients [4].

Since different LAB species have different fermentation characteristics, single LAB species often cannot achieve optimal fermentation results. Some inoculant preparations contain synergistic mixtures of bacteria that target different phases of the fermentation. For example, many combination inoculants contain *E. faecium*, which grows rapidly at high pH (>5), dominating early stages of the fermentation phase, before other LAB strains take over once the pH drops below 5 [5]. Composite inoculants work by combining multiple LAB species that enhance each other's growth and function, leading to better silage fermentation [6].

Since silage fermentation involves intricate microbial communities and metabolic pathways during ensiling, different inoculants produce distinct variations in both microbial composition and metabolic profiles. Multiple microbial and metabolic dynamics are correlated and affect the fermentation process [7, 8].

To our knowledge, little information is available regarding the dynamics of microbial community succession and predicted functional metabolic pathways of silage prepared with facultative heterofermenters *L. paracasei* and *E. faecium* [5, 9]. A better understanding of microbial metabolic pathways underlying silage fermentation could provide us with important information to regulate silage fermentation [10].

The objective of this study was to analyze the change in the diversity of silage microbial community during the ensiling process, evaluate the efficacy of two microbial strains for use as inoculants and further understand the dynamics of metabolic pathways of the microbial community that occur during ensiling.

Methods and materials

We conducted a model ensiling of legume-cereal crops of the first harvest cut in the Leningrad region at the booting stage at a moisture content of $84.7\% \pm 1.3$. The experiment lasted 30 days and was conducted in the BIOTROF LLC laboratory. All inoculations were applied using a manual sprayer after green forage was weighed and uniformly distributed on polyethylene film. After, the forage was compacted and sealed in 2 kg vacuum bags, then subsequently stored under temperature conditions approximating real-world conditions. Three experimental groups with different bacterial strains were added during ensiling. The first group had *L. paracasei* mixed with *E. faecium* (LE), the second had just *L. paracasei* (LP), and the third had *E. faecium* (EF).

The microorganisms in the silage were counted at 0 and 30 days of ensiling. PCR analysis was performed in the same laboratory. Illumina MiSeq high-throughput sequencing was used to determine the composition of microorganisms. DNA isolation of the silage microbial community was performed using the Genomic DNA Purification Kit (Fermentas, Inc., Lithuania) according to the attached instructions. A Verity DNA Amplifier (Life Technologies, Inc., USA) was used for amplification for subsequent NGS sequencing using eubacterial primers (IDT), 343F (5'-CTCCTACTACGGRRSGCAGCAG-3') and 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT3'), flanking the V1V3 region of the 16S rRNA gene. Metagenomic sequencing was performed on a MiSeq genomic sequencer (Illumina, Inc., USA) with the MiSeq Reagent Kit v3 (Illumina, Inc., USA). The maximum length of the sequences obtained was 2×300 nt. Chimeric sequences were excluded from analysis using the program "USEARCH 7.0" (<http://drive5.com/usearch/>). The obtained 2×300 nt reads were processed using the software "CLC Bio GW 7.0" (Qiagen, The Netherlands) and included overlapping, quality filtering (QV > 15), and primer trimming. Taxonomic affiliation of microorganisms to the genus was determined using the RDP Classifier program. Statistical processing of data and construction of

diagrams were carried out using Microsoft Excel, Phantasus (<https://artyomovlab.wustl.edu/phantasus/>), and Datawrapper (<https://www.datawrapper.de/>). PICRUSt2 (v.2.3.0) (<https://github.com/picrust/picrust2>) was used for a comparative analysis of the presence of specific bacterial gene families, predicting functional abundances based on 16S rRNA marker gene sequences using the database MetaCyc [11].

Results and discussion

On day 0, *Proteobacteria*, *Bacteroidota* and *Firmicutes* were the dominant phyla, with a total of 94.08% bacteria classified into these phyla. As the ensiling progressed, microbial diversity significantly decreased: on day 0 taxonomic analysis indicated that the bacterial community was classified into 12 phyla and 134 distinct genera, while by the end of fermentation LE had 6 phyla and 36 distinct genera; LP had 6 phyla and 45 distinct genera; and EF had 8 phyla and 124 distinct genera, indicating that great changes had taken place after 30 days of fermentation.

After 30 days, the dominant phyla shifted from *Proteobacteria* to *Firmicutes* for all 3 experimental groups (Fig. 1). *Firmicutes* increased from 23.23% on day 0 to 96.79% for LE, 96.57% for LP, and 94.95% for EF, while *Proteobacteria* and *Bacteroidota* both greatly decreased for LE, LP and EF (from 58.52 to 2.03%, 1.65 and 1.51% and 12.33 to 0.05%, 0.22 and 2.08% respectively).

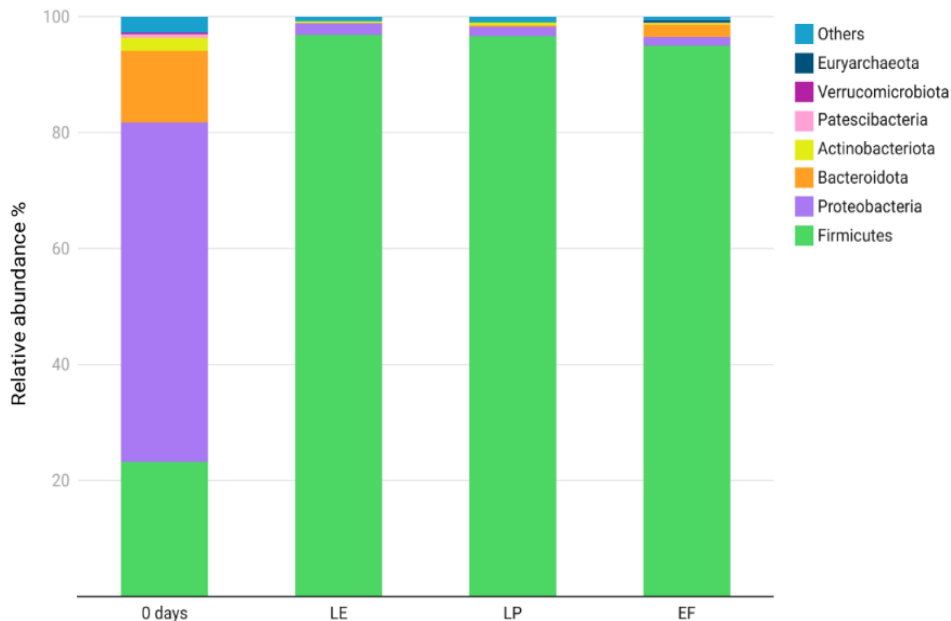


Fig. 1. Bacterial communities and relative abundance by phylum level for legume-cereal silage after 30 days ensiling: LE – silage inoculated with *L. paracasei* and *E. faecium*; LP – silage inoculated with *L. paracasei*; EF – silage inoculated with *E. faecium*

Source: compiled by S.J. Gallegos with Datawrapper.

By the end of 30 days, variants LE and LP had similar microbial communities, with only slight differences in number, while EF differed. Overall, LAB dominated; with families *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae* flourishing. Generally, the main LAB genera that play a major role in silages fermentation include *Weissella*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* and *Pediococcus* [12, 13]. Our study supported those findings, as the dominant bacteria found after ensiling were *Weissella*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, and *Leuconostoc*, in that order, as shown in Fig., 2a.

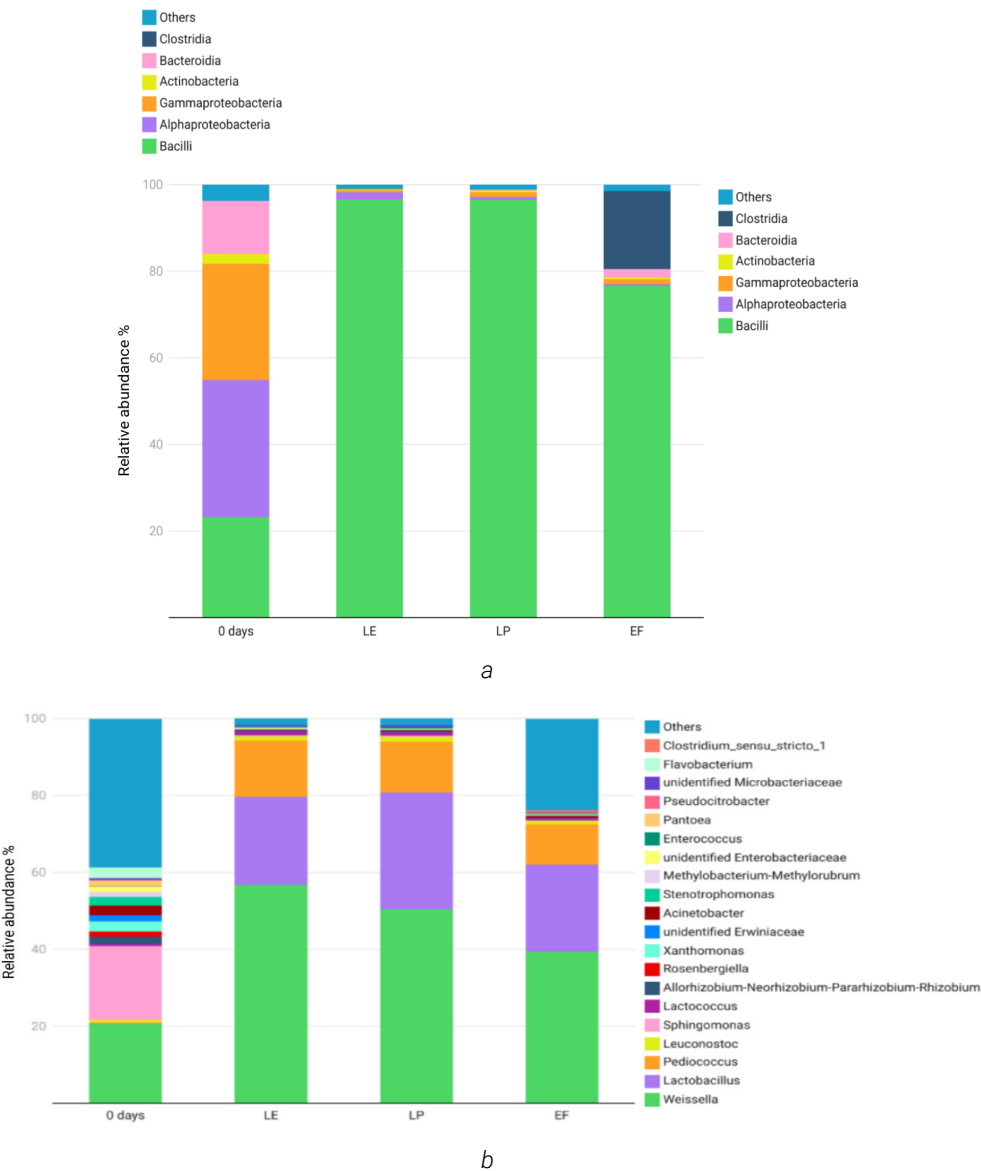


Fig. 2. Bacterial communities and relative abundance by class level (a) and genus level (b) for legume-cereal silage after 30 days ensiling: LE – silage inoculated with *L. paracasei* and *E. faecium*; LP – silage inoculated with *L. paracasei*; EF – silage inoculated with *E. faecium*

Source: compiled by S.J. Gallegos with Datawrapper.

Weissella dominated and more than doubled in LE and LP: increasing from 20.74% to 56.81 and 50.44% respectively, while EF overall only had a slight increase to 39.38%. *Lactobacillus* rose from 0.10% to 22.88, 30.31 and 22.71% and *Pediococcus* rose from 0.16% to 14.61, 13.26 and 10.46%.

For the non-LAB — the genus *Sphingomonas* rapidly decreased in number in all variants: from 19.27% on day 0 to 0.17, 0.26 and 0.11% on day 30 respectively, as shown in Fig., 2b. *Sphingomonas* is found on fresh forages and acts as a harmful component in silage, increasing pH level and degrading protein. *Sphingomonas* is negatively correlated with the fermentation acids of the silages, such as lactic and acetic acids, and consequently the whole fermentation process [14].

The number of *Clostridia* rapidly rose in the EF variant. EF had 18.02% *Clostridia* by day 30, compared to 0.08% in LE and 0.01% in LP. Silage quality is degraded by the presence of *Clostridium spp.* and when consumed, such silage jeopardizes animal health and productivity. *Clostridium* in silage converts sugars and proteins to butyric acid [15]. Butyric acid is associated with poorly fermented silage, being accompanied by a range of undesirable by-products, including amines, ammonia, and acetic acid [16]. High amounts of *Clostridia* in the EF group indicate that the silage underwent clostridial fermentation, has high amounts of butyric acid and is low in nutritional value.

In total 400 metabolic pathways were predicted. Out of those only 263 were statistically significant ($p < 0.05$). Differences in various metabolic pathways with specific biofunctions were found among the inoculant groups. By day 30, LE had the least variation among statistically significant metabolic pathways, while EF had the most variation, as shown in Fig., 3a.

Multiple metabolic pathways were predicted that are associated with butanoate: CENTFERM-PWY, PWY-5022, PWY-7003, and P163-PWY. EF had the highest levels for both PWY-7003 (glycerol degradation to butanol) and P163-PWY (L-lysine fermentation to acetate and butanoate); both of which are associated with the production of undesirable butanoate and ammonia.

The metabolic pathway of enterobactin biosynthesis (ENTBACSYN-PWY) was also predicted to have highest levels in EF (Fig., 3b). Enterobactin is produced almost exclusively by *Enterobacteria*, which are detrimental to have in silage as they compete with lactic acid bacteria for the available sugars, reduce the nutritional value of silage and break down nitrates in the ensiled material, forming ammonia and making it more difficult to quickly lower the pH of the silage [17].

Several metabolic pathways involved with biosynthesizing polyamines were predicted (ARG+POLYAMINE-SYN, POLYAMINSYN3-PWY and POLYAMSYN-PWY). All three were found the least in LE and the most in EF. Biogenic amines, like putrescine and tyramine, are a group of positively charged nitrogenous compounds which are considered detrimental to silage. Biogenic amines are found to jeopardize the health of those who consume them and may exert detrimental impacts on feed intake and preference of ruminants [18, 19]. The activities of some undesirable bacterial genera (*Clostridia*, *Pseudomonas*, *Enterobacteria*) and slow acidification result in the accumulation of biogenic amines during ensiling [20].

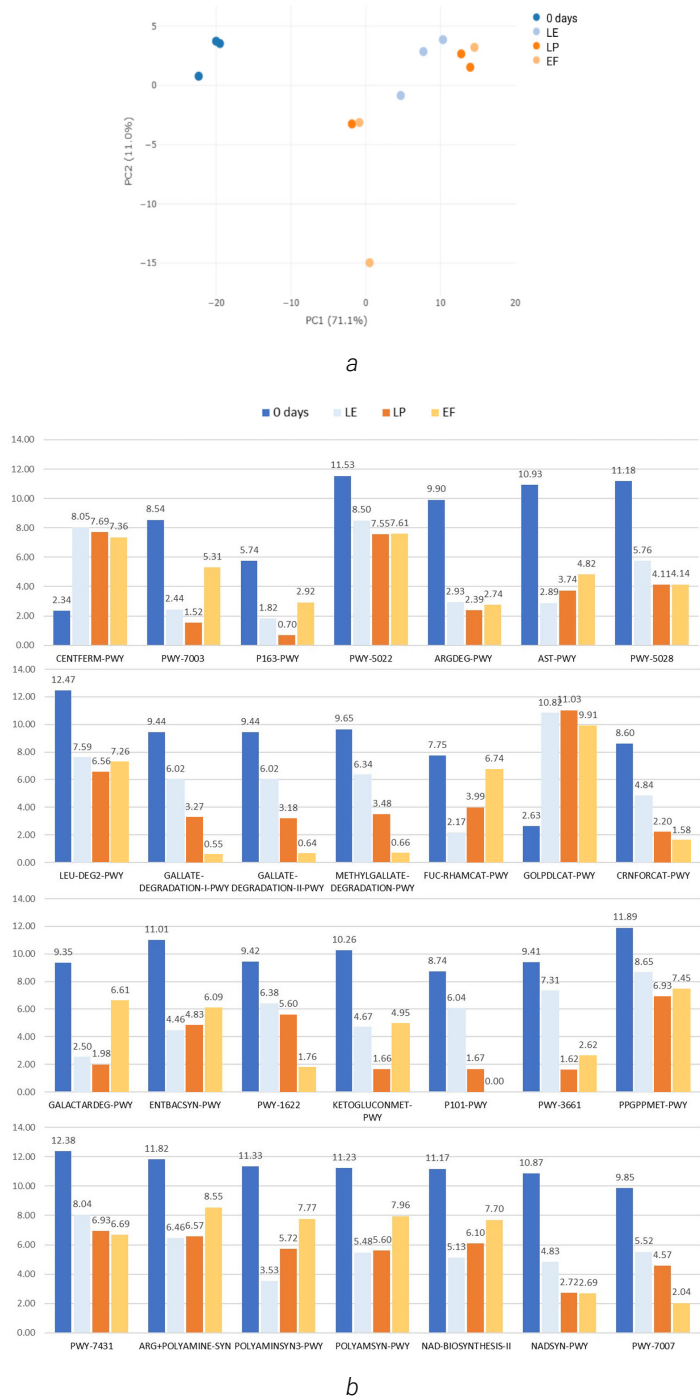


Fig. 3. Statistically significant ($p < 0.05$) 16S rRNA gene-predicted metabolic pathways: **a** – principal coordinates analysis (PCoA) for statistically significant metabolic pathways of legume-cereal silage after 30 days of ensiling; **b** – bar graphs showing 28 chosen statistically significant metabolic pathways on day 0 and day 30 for LE, LP, and EF; LE – silage inoculated with *L. paracasei* and *E. faecium*; LP – silage inoculated with *L. paracasei*; EF – silage inoculated with *E. faecium*

Source: compiled by S.J. Gallegos with Phantasus (a) and Microsoft Excel (b).

Correspondingly, the desirable aromatic biogenic amine degradation metabolic pathway used by bacteria (PWY-7431) was predicted to be highest for LE and lowest for EF. However, the predicted superpathway of L-arginine, putrescine, and 4-aminobutanoate degradation (ARGDEG-PWY) had similar levels for all three groups.

Two metabolic pathways associated with osmotic stress corresponded with each other. The glycine betaine degradation pathway (PWY-3661) and ectoine biosynthesis metabolic pathway (P101-PWY) were predicted by far the most in LE, with comparatively very low amounts on LP and EF. Glycine betaine acts as an osmoprotectant, accumulating in high cytoplasmic concentrations in response to osmotic stress, as does ectoine, which helps maintain membrane stability during fermentation [21]. This supports the idea that ectoine was used by the bacteria in LE to protect themselves from osmotic stress during fermentation, while the other two groups used glycine betain.

The metabolic superpathway of fucose and rhamnose degradation (FUC-RHAMCAT-PWY) yields glycerone phosphate, which directly enters central metabolism, and lactaldehyde, which is reduced to 1,2-propanediol under anaerobic conditions and then secreted into the environment. EF was predicted to have similarly high levels of this pathway as day 0, while LE and LP had much lower levels. 1,2-propanediol is secreted by lactic acid bacteria and has antimicrobial activity. In addition, 1,2-propanediol is good for silage aerobic stability, is often fed to ruminants to prevent ketosis, and plays an important role in livestock health [2, 22].

For all three predicted gallate degradation metabolic pathways (GALLATE-DEGRADATION-I-PWY, GALLATE-DEGRADATION-II-PWY and METHYLGALLATE-DEGRADATION-PWY) LE had the highest levels while EF had practically none. All three pathways directly contribute to generating energy and creating pyruvate, which bacteria use to metabolize into lactate, acetate, formate, and other metabolites. In addition, other studies found that a higher abundance of pyruvate metabolism, among a few other pathways, was suggested as a possible reason for enhancing silage stability [23, 24].

Conclusion

The quality of silage depends heavily on achieving rapid acidification through LAB while preventing the growth of undesirable microorganisms like *Clostridia* and *Enterobacteria*. Used together as a combination inoculant, *L. paracasei* and *E. faecium* created more favorable conditions for the development of LAB and, consequently, produced high-quality silage. Comparatively, *E. faecium* by itself created the least favorable conditions: with 88 more distinct genera, 225-fold more *Clostridia*, and 50% more predicted polyamine biosynthesizing metabolic pathways. As a result of this study, we learned about the metabolic pathways involved during ensilage with *L. paracasei* and *E. faecium*, which can provide insight into microbial, metabolic, and silage parameters; as well as be used as potential biomarkers for further research.

References / Список литературы

1. Soundharrajan I, Jung JS, Muthusamy K, Lee BH, Park HS, Sivanesan R, et al. Effects of different lactic acid bacteria in single or mixed form on the fermentative parameters and nutrient contents of early heading triticale silage for livestock. *Foods*. 2023;12(23):4296. doi: org/10.3390/foods12234296 EDN: YFNUKN
2. Guo X, Xu D, Li F, Bai J, Su R. Current approaches on the roles of lactic acid bacteria in crop silage. *Microbial Biotechnology*. 2022;16(1):67–87. doi: 10.1111/1751–7915.14184 EDN: TALGWZ
3. Shen Y, Wang K, Xiong B, Xue F, Kang Y, Liu S, et al. Assessing the fermentation quality, bacterial composition and ruminal degradability of *Caragana korshinskii* ensiled with oat grass. *Fermentation*. 2025;11(7):420. doi: 10.3390/fermentation11070420 EDN: ZZWWQS
4. Yuan X, Dong Z, Li J, Shao T. Microbial community dynamics and their contributions to organic acid production during the early stage of the ensiling of Napier grass (*Pennisetum purpureum*). *Grass and Forage Science*. 2019;75(1):37–44. doi: 10.1111/gfs.12455
5. Oliveira AS, Weinberg ZG, Ogunade IM, Cervantes AAP, Arriola KG, Jiang Y, et al. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(6):4587–603. doi: 10.3168/jds.2016-11815
6. Zhao X, Sun Y, Chang Z, Yao B, Han Z, Wang T, et al. Innovative lactic acid production techniques driving advances in silage fermentation. *Fermentation*. 2024;10(10):533. doi: 10.3390/fermentation10100533 EDN: OPXAOJ
7. Jin S, Tahir M, Huang F, Wang T, Li H, Shi W, et al. Fermentation quality, amino acids profile, and microbial communities of whole-plant soybean silage in response to *Lactiplantibacillus plantarum* B90 alone or in combination with functional microbes. *Frontiers in Microbiology*. 2024;15:1458287. doi: 10.3389/fmicb.2024.1458287 EDN: EWWQYI
8. Xu D, Wang N, Rinne M, Ke W, Weinberg ZG, Da M, et al. The bacterial community and metabolome dynamics and their interactions modulate fermentation process of whole crop corn silage prepared with or without inoculants. *Microbial Biotechnology*. 2020;14(2):561–576. doi: 10.1111/1751–7915.13623 EDN: VKQMMO
9. Muck RE, Nadeau EMG, McAllister TA, Contreras-Govea FE, Santos MC, Kung L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(5):3980–4000. doi: 10.3168/jds.2017-13839
10. Bai J, Ding Z, Ke W, Xu D, Wang M, Huang W, et al. Different lactic acid bacteria and their combinations regulated the fermentation process of ensiled alfalfa: ensiling characteristics, dynamics of bacterial community and their functional shifts. *Microbial Biotechnology*. 2021;14(3):1171–1182. doi: 10.1111/1751-7915.13785 EDN: NKLMRN
11. Caspi R, Billington R, Keseler IM, Kothari A, Krummenacker M, Midford PE, et al. The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes — a 2019 update. *Nucleic Acids Research*. 2020;48(D1):D445–D453. doi: 10.1093/nar/gkz862 EDN: ZBJXCV
12. Sun L, Bai C, Xu H, Na N, Jiang Y, Yin G, et al. Succession of bacterial community during the initial aerobic, intense fermentation, and stable phases of whole-plant corn silages treated with lactic acid bacteria suspensions prepared from other silages. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:655095. doi: 10.3389/fmicb.2021.655095 EDN: MOIQBW
13. Na N, Qili M, Wu N, Sun L, Xu H, Zhao Y, et al. Bacterial community and fermentation quality of ensiling alfalfa with commercial lactic acid bacterial additives. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:836899. doi: 10.3389/fmicb.2022.836899 EDN: SVAUDC
14. Franco M, Tapio I, Pirttiniemi J, Stefański T, Jalava T, Huuskonen A, et al. Fermentation quality and bacterial ecology of grass silage modulated by additive treatments, extent of compaction and soil contamination. *Fermentation*. 2022;8(4):156. doi: 10.3390/fermentation8040156 EDN: CSAKWD
15. Li P, Zhang Y, Gou W, Cheng Q, Bai S, Cai Y. Silage fermentation and bacterial community of bur clover, annual ryegrass and their mixtures prepared with microbial inoculant and chemical additive. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;247:285–293. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.11.009
16. Yuan X, Sun L. Silage safety. In: *Cultural history and modern production technology of silage*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2025. p.145–165. doi: 10.1007/978-981-96-5787-2_10
17. Wróbel B, Nowak J, Fabiszewska A, Paszkiewicz-Jasińska A, Przystupa W. Dry matter losses in silages resulting from epiphytic microbiota activity — a comprehensive study. *Agronomy*. 2023;13(2):450. doi: 10.3390/agronomy13020450 EDN: YDCVEH

18. Huang Y, Jia T. Effects of lactic acid bacterial and chemical additives on the quality and biogenic amine production of oat silage at low temperature. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025;9:1499741. doi: 10.3389/fsufs.2025.1499741 EDN: ZSDGLJ
19. Krížek M. Biogenic amines in silage. 1. The occurrence of biogenic amines in silage. *Archiv für Tierernährung*. 1993;43(2):169–177. doi: 10.1080/17450399309386032
20. Wang C, Sun L, Xu H, Na N, Yin G, Liu S, et al. Microbial communities, metabolites, fermentation quality and aerobic stability of whole-plant corn silage collected from family farms in desert steppe of North China. *Processes*. 2021;9(5):784. doi: 10.3390/pr9050784 EDN: FWHEGT
21. Ma Z, Wu C, Zhu L, Chang R, Ma W, Deng Y, et al. Bioactivity profiling of the extremolyte ectoine as a promising protectant and its heterologous production. *3 Biotech*. 2022;12(12):331. doi: 10.1007/s13205-022-03370-5 EDN: DJSEEL
22. Huang Z, Wang M, Ke W, Guo X. Screening of high 1,2-propanediol production by *Lactobacillus buchneri* strains and their effects on fermentation characteristics and aerobic stability of whole-plant corn silage. *Agriculture*. 2021;11(7):590. doi: 10.3390/agriculture11070590 EDN: QBKHDI
23. Okoye CO, Wang Y, Gao L, Wu Y, Li X, Sun J, et al. The performance of lactic acid bacteria in silage production: A review of modern biotechnology for silage improvement. *Microbiological Research*. 2023;266:127212. doi: 10.1016/j.micres.2022.127212 EDN: YSRJLV
24. Keshri J, Chen Y, Pinto R, Kroupitski Y, Weinberg ZG, Sela Saldinger S. Bacterial dynamics of wheat silage. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10:1532. doi: 10.3389/fmicb.2019.01532

Влияние *Lactobacillus paracasei* и *Enterococcus faecium* на микробное сообщество и метаболический потенциал силоса бобово-злаковых культур

С.Д. Галлегос¹  , Е.С. Пономарева¹ , Л.А. Ильина² 

¹Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, Российская Федерация

 gallegos_sophia@outlook.com

Аннотация. Силос используется в качестве основного кормового компонента во всем мире. Молочнокислые бактерии (МЛБ) играют ключевую роль в производстве силоса из бобовых, зерновых и других растений, снижая pH за счет продукции различных органических кислот во время силосования. Это подавляет рост нежелательных бактерий, которые ухудшают качество и срок хранения инокулированного продукта. Целью исследования являлось определение влияния раздельного и совместного добавления *Lactobacillus paracasei* и *Enterococcus faecium* на состав бактериального сообщества и метаболические пути силоса бобово-злаковых культур после 30 дней ферментации. Было проведено модельное силосование бобово-злаковых культур первого укоса в Ленинградской области на фазе выхода в трубку. В процессе силосования были сформированы три экспериментальные группы с разными бактериальными штаммами: LE (*L. paracasei* + *E. faecium*), LP (*L. paracasei*) и EF (*E. faecium*). Микроорганизмы в силосе анализировали на 0 и 30 день силосования с помощью высокопроизводительного секвенирования на платформе Illumina MiSeq. ДНК микробного сообщества выделяли, амплифицировали, секвенировали и обрабатывали с последующим прогнозированием обилия функциональных метаболических путей на основе последовательностей маркерного гена 16S рРНК с использованием базы данных MetaCyc. До силосования роды МЛБ были представлены в меньшинстве, однако после 30 дней ферментации доминирующее положение заняли *Weissella*, *Lactobacillus* и *Pediococcus*. Группа LE продемонстрировала наиболее желательный состав бактерий и метаболических путей. Группа LP также показала хорошие результаты. Группа EF

характеризовалась наличием нежелательных бактерий и метаболитов, что указывает на наихудшее качество брожения. Полученные результаты выявили значимые различия в прогнозируемом метаболизме углеводов и биогенных аминов между экспериментальными группами. Насколько нам известно, данные о динамике сукцессии бактериального сообщества и метаболических путей силоса, приготовленного с использованием *L. paracasei* и *E. faecium*, представлены в литературе крайне ограниченно.

Ключевые слова: силосование, молочнокислые бактерии, бактериальное сообщество, метаболические пути

Вклад авторов: Галлегос С.Д. — статистический анализ данных и интерпретация результатов, подготовка рукописи, редактирование текста; Пономарева Е.С. — проведение молекулярно-генетического анализа и общее научное руководство; Ильина Л.А. — планирование и организация проведения эксперимента и отбора материалов для исследования, утверждение окончательной версии статьи. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

Финансирование. Данное исследование было поддержано грантом Российского национального научного фонда № 23-16-20007 и грантом Санкт-Петербургского научного фонда № 23-16-20007 «Разработка комплексного биотехнологического подхода к биологической защите крупного рогатого скота и продуктов животноводства от патогенных бактерий и их токсинов».

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

История статьи: поступила в редакцию 31 октября 2025 г., принята к публикации 26 января 2026 г.

Для цитирования: Gallegos S.J., Ponomareva E.S., Ilina L.A. Effects of Lacticaseibacillus paracasei and Enterococcus faecium on the microbial community and metabolic potential of legume-cereal silage // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 280–290. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-280-290 EDN: JRBFA

About the authors:

Gallegos Sophia Julia — Bachelor's student, Faculty of Biotechnology, ITMO University, 49A Kronverksky ave., Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; e-mail: gallegos_sophia@outlook.com

ORCID: 0009-0004-9981-3016

Ponomareva Ekaterina Sergeevna — Engineer, Advanced Engineering School of Interdisciplinary Engineering, ITMO University, 49A Kronverksky ave., Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; e-mail: ololoven@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4336-8273 SPIN-code: 4260-6755

Ilyina Larisa Aleksandrovna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Large Livestock Farming, Saint Petersburg State Agrarian University; 2A Peterburgskoe highway, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russian Federation; e-mail: ilina@biotrof.ru

ORCID: 0000-0003-2789-4844 SPIN-code: 5826-7525

Об авторах:

Галлегос София Джулия — студент бакалавриата факультета биотехнологии, Национальный исследовательский университет ИТМО, Российская Федерация, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49, лит. А; e-mail: gallegos_sophia@outlook.com

ORCID: 0009-0004-9981-3016

Пономарева Екатерина Сергеевна — инженер Передовой инженерной школы интердисциплинарного инжиниринга, Национальный исследовательский университет ИТМО, Российская Федерация, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49, лит. А; e-mail: ololoven@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4336-8273 SPIN-код: 4260-6755

Ильина Лариса Александровна — доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, лит. А; e-mail: ilina@biotrof.ru

ORCID: 0000-0003-2789-4844 SPIN-код: 5826-7525



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-291-298
EDN JSITNZ
УДК 636.32/.38.082.2

Научная статья / Research article

Влияние генотипа валушков на выход питательных веществ и энергетическую ценность мышечной ткани

Ю.А. Юлдашбаев¹  , В.И. Косилов² , Е.А. Никонова² ,
И.А. Рахимжанова² , Р.Г. Калякина² , Т.А. Седых³ 

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация

²Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

³Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
г. Уфа, Российская Федерация
 yuldashbaev@rgau-msha.ru

Аннотация. Раскрыто влияние скрещивания овец романовской и эдильбаевской пород на энергетическую ценность и качественные показатели мяса. Подопытными объектами являлись чистопородные валушки романовской породы (I группа), ее помеси первого и второго поколений с эдильбаевской породой ($\frac{1}{2}$ романовская $\times$ $\frac{1}{2}$ эдильбаевская — II группа, $\frac{1}{4}$ романовская $\times$ $\frac{3}{4}$ эдильбаевская — III группа). Исследование выявило достоверное влияние скрещивания в отношении качественных показателей и энергетической ценности мяса. В частности, помесные баранчики существенно превосходили чистопородных по содержанию сухого вещества в мышечной ткани — на 41,56 и 54,48 %; по выходу белка — на 39,42 и 50,45 %; по уровню экстрагируемого жира — на 52,80 и 76,06 % соответственно. Кроме того, у чистопородных валушков I группы, по сравнению с помесями первого и второго поколений (II и III группы), зафиксированы более низкие значения концентрации энергии в 1 кг мышечной ткани (на 172 и 328 кДж), ее выходу в ткани туши (на 23,93 и 32,03 МДж), спелости (зрелости) (на 0,55 и 1,02 %).

© Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Калякина Р.Г., Седых Т.А., 2026



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

При этом соотношении белка и жира было практически одинаково. Максимальные значения по комплексу анализируемых показателей продемонстрировали помеси второго поколения (III группа).

Ключевые слова: овцеводство, чистопородные овцы, романовская порода, помеси с эдильбаевской, кастрированные баранчики, охлажденная туша, съедобная часть туши без жира, калорийность, белок, жир, спелость, зрелость

Вклад авторов: Ю.А. Юлдашбаев — руководство научным аспектом работы; В.И. Косилов — разработка программы исследования и его организационное сопровождение; Е.А. Никонова и И.А. Рахимжанова — экспериментальная часть; Р.Г. Калякина — статистический анализ данных; О.А. Быкова — интерпретация полученных результатов, написание текста статьи. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

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

История статьи: поступила в редакцию 16 декабря 2025 г.; принята к публикации 22 апреля 2026 г.

Для цитирования: Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Никонова Е.А., Рахимжанова И.А., Калякина Р.Г., Седых Т.А. Влияние генотипа валушков на выход питательных веществ и энергетическую ценность мышечной ткани // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 291–298. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-291-298 EDN: JSITNZ

Influence of wether genotype on nutrient yield and the energy value of muscle tissue

Yusupzhan A. Yuldashbaev¹  , Vladimir I. Kosilov² , Elena A. Nikonova² ,
Ilmira A. Rakhimzhanova² , Railya G. Kalyakina² , Tatyana A. Sedykh³ 

¹Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

²Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russian Federation

³Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture — Separate structural Division of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation
 yuldashbaev@rgau-msha.ru

Abstract. Within the framework of the study, the effect of crossbreeding Romanov and Edilbaev sheep breeds on the quality characteristics and energy value of meat was investigated. The research subjects were purebred wethers of the Romanov breed (group I), their first- and second-generation crossbreeds with the Edilbaev breed ($\frac{1}{2}$ Romanov $\times$ $\frac{1}{2}$ Edilbaev — group II; $\frac{1}{4}$ Romanov $\times$ $\frac{3}{4}$ Edilbaev — group III). Analysis of the obtained data revealed a significant crossbreeding effect on the studied parameters. In particular, crossbred individuals from groups II and III substantially outperformed purebred animals from group I in terms of dry matter content in muscle tissue — by 41.56 and 54.48%, respectively; protein yield — by 39.42 and 50.45%; extractable fat level — by 52.80 and 76.06%. Furthermore, purebred wethers from group I showed lower values compared to the first- and second-generation crossbreeds (groups II and III) in energy concentration per 1 kg of muscle tissue (by 172 and 328 kJ); energy yield in carcass tissue (by 23.93 and 32.03 MJ); maturity level (by 0.55 and 1.02%). At the same time, the protein-to-fat ratio remained nearly identical across all groups. The second-generation crossbreeds (Group III) demonstrated the highest values across the entire set of analysed parameters.

Keywords: sheep breeding, purebred sheep, Romanov breed, Edilbay crossbreeds, wether, chilled carcass, muscle tissue, energy value, protein, fat, ratio, meat maturity, meat ripeness

Authors contribution: Yu.A. Yuldashbaev supervised the scientific aspects of the study; V.I. Kosilov developed the research program and coordinated the study; E.A. Nikonova and I.A. Rakhimzhanova conducted the experimental

work; R.G. Kalyakina performed the statistical analysis; O.A. Bykova interpreted the results and prepared the manuscript. All authors approved the final version of the manuscript.

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

Article history: received 15 December 2025; accepted 22 April 2026.

For citation: Yuldashbaev YA, Kosilov VI, Nikonova EA, Rakhimzhanova IA, Kalyakina RG, Sedykh TA. Influence of wether genotype on nutrient yield and the energy value of muscle tissue. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):291–298. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-291-298 EDN: JSITNZ

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности страны предполагает интенсификацию всех отраслей животноводства [1–5]. Приоритетным направлением развития отрасли следует считать наращивание объемов производства мясной продукции и полуфабрикатов [6–8]. Ключевой причиной такого акцента выступает высокая биологическая ценность мяса, обусловленная наличием в его составе полноценных белков, содержащих все незаменимые аминокислоты, использование которых с пищей является неременным условием нормального функционирования человеческого организма [9–12].

В России получает развитие такая малозатратная отрасль животноводства, как овцеводство. Это обусловлено тем, что овцы отличаются адаптационной пластичностью, неприхотливостью к условиям содержания и кормления [13–16]. При этом баранина не имеет каких-либо национальных, религиозных ограничений и характеризуется высокой пищевой и энергетической ценностью. Это позволяет разводить овец практически во всех регионах страны. В мясном овцеводстве максимальная эффективность достигается при разведении помесного молодняка. Благодаря гетерозисному эффекту такие животные демонстрируют выраженное превосходство по продуктивным показателям. В качестве улучшающей отцовской линии все чаще применяют эдильбаевскую породу, чьи генетические особенности стабильно передаются потомству. Помеси наследуют выдающиеся мясные характеристики и высокую питательную ценность продукции, характерные этой породе.

Цель исследования — оценка эффекта скрещивания овцематок романовской породы с баранами эдильбаевской породы на энергетическую ценность и качественные показатели мышечной ткани помесных валушков.

Материалы и методы исследования

В процессе экспериментального исследования сформировано три опытные группы баранчиков, каждая численностью 15 голов. Группировка животных осуществлялась на основании их генотипических характеристик: группа I — чистопородный молодняк романовской породы, группа II — помеси первого поколения с равным соотношением генетического вклада ($\frac{1}{2}$ романовская $\times$ $\frac{1}{2}$ эдильбаевская), группа III — помеси второго поколения с преобладанием эдильбаевской породы ($\frac{1}{4}$ ро-

мановская $\times \frac{3}{4}$ эдильбаевская). В возрасте трех месяцев всем животным из групп I–III выполнили кастрацию открытым методом с полным удалением семенников.

При обслуживании животных и экспериментальных исследованиях придерживались инструкций и рекомендаций Модельного закона Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ «Об обращении с животными», ст. 20 (Постановление МА государств-участников СНГ от 31 октября 2007 г. № 29–17), Директивы Европейского парламента и Совета ЕС по охране животных, используемых в научных целях https://ruslasa.ru/wp-content/unloads2017/06/Directive_201063-rus.pdf, Федерального закона от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. От 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

По достижении молодняком десятимесячного возраста осуществлен контрольный убой — по три особи каждого генотипа (валушка).

После убоя и первичной обработки (обвалка и жиловка) туши для определения химического анализа получили образцы длиннейшей мышцы спины. На основании лабораторных данных о химическом составе отобранных образцов установлены концентрация и валовый выход сухого вещества, экстрагируемого жира и белка в 1 кг мышечной ткани, их энергетическая ценность, спелость (зрелость) и соотношение питательных веществ. После завершения убоя и первичной обработки туш отобраны образцы длиннейшей мышцы спины для проведения химического анализа. Далее, в процессе обвалки, осуществлялось выделение съедобной фракции туши с последующей сепарацией мышечной ткани. Лабораторные исследования химического состава длиннейшей мышцы позволили определить концентрацию сухого вещества, белка и экстрагируемого жира в расчете на 1 кг мышечной ткани, рассчитать валовый выход указанных компонентов в мышечной ткани всей туши, оценить энергетическую ценность продукта, установить показатель спелости (зрелости) мяса, проанализировать соотношение основных питательных веществ.

При выполнении экспериментальной части работы приняли все меры для минимизации страданий подопытных животных и снижения количества исследуемых опытных образцов.

Результаты исследования и обсуждение

Повышение спроса и востребованности потребителем мясной продукции обусловлены в первую очередь ее качественными характеристиками. При этом особое место занимает пищевая и энергетическая ценность, определяемая химическим составом и содержанием пищевых веществ в мышцах.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что рассматриваемые признаки генетически детерминированы (рис. 1).

Пищевая ценность мышечной ткани во многом обусловлена концентрацией сухого вещества. По этому ингредиенту чистопородные валушки I группы уступали помесным сверстникам соответственно на 5,3 г (2,16 %) и 10,4 г (4,24 %).

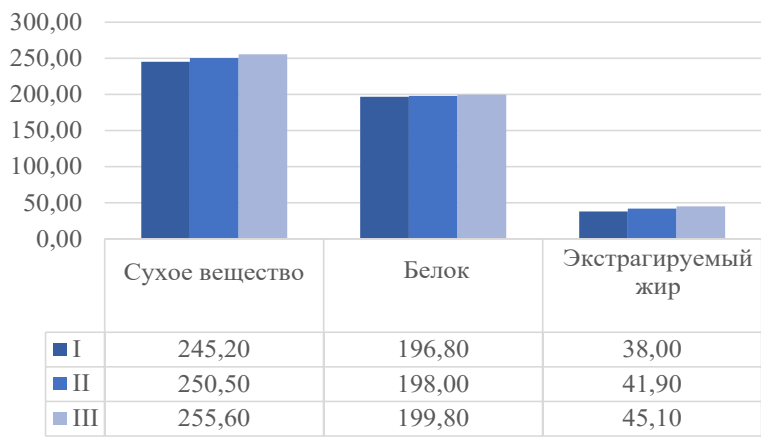


Рис. 1. Содержание в 1 кг мышечной ткани питательных веществ, г
Источник: сделано Ю.А. Юлдашбаевым, В.И. Косиловым, Е.А. Никоновой, Р.Г. Калякиной.

Межгрупповая вариабельность показателей сухого вещества детерминирована различиями в содержании белка и экстрагируемого жира. При этом минимальное содержание этих компонентов отмечено в мышечной ткани валушков I группы. Помесные валушки (II и III группы) превосходили чистопородных по белку на 1,2 г (0,61 %) и 3,0 г (1,52 %), экстрагируемому жиру — на 3,9 г (10,26 %) и 7,1 г (16,68 %).

Таким образом, помесные валушки II и III групп выделялись более интенсивным синтезом жира, чем чистопородные сверстники I группы при незначительных межгрупповых различиях по белку.

Для объективной оценки пищевой ценности мышечной ткани не достаточен традиционный расчет выхода питательных веществ на 1 килограмм. Валовый выход питательных веществ в мышечной массе всей туши является наиболее информативным показателем.

Оценка итогов убоя валушков и лабораторные исследования показывают генетическую детерминированность валового выхода питательных веществ (табл. 1).

Таблица 1

**Выход питательных веществ в мышечной ткани туши
чистопородных и помесных валушков, г**

Группа	Содержание в мышечной ткани туши		
	сухого вещества	белка	экстрагируемого жира
I	2778,1	2229,7	430,5
II	3932,8	3108,6	657,8
III	4291,5	3354,6	757,8

Источник: сделано Ю.А. Юлдашбаевым, В.И. Косиловым, И.А. Рахимжановой, Т.А. Седых.

Порядок распределения валушков по валовому выходу и концентрации питательных веществ в мышечной ткани туши одинаков. При этом заметны межгрупповые различия в концентрации сухого вещества. Чистопородные баранчики отложили в мышечной ткани меньшее количество по сравнению с помесями из II и III групп, на 1154,7 г (41,55 %) и 1513,4 г (54,48 %), по белку разница в пользу помесей составляла 878,9 г (39,42 %) и 1124,9 г (50,45 %), по количеству жира — 227,3 г (52,80 %) и 327,3 г (76,05 %).

Мясная продукция характеризуется не только наличием биологически полноценного белка, но и является источником энергии. Межгрупповые различия в синтезе питательных веществ валушками разного генотипа обусловили неодинаковую энергетическую ценность 1 кг мышечной ткани (рис. 2).

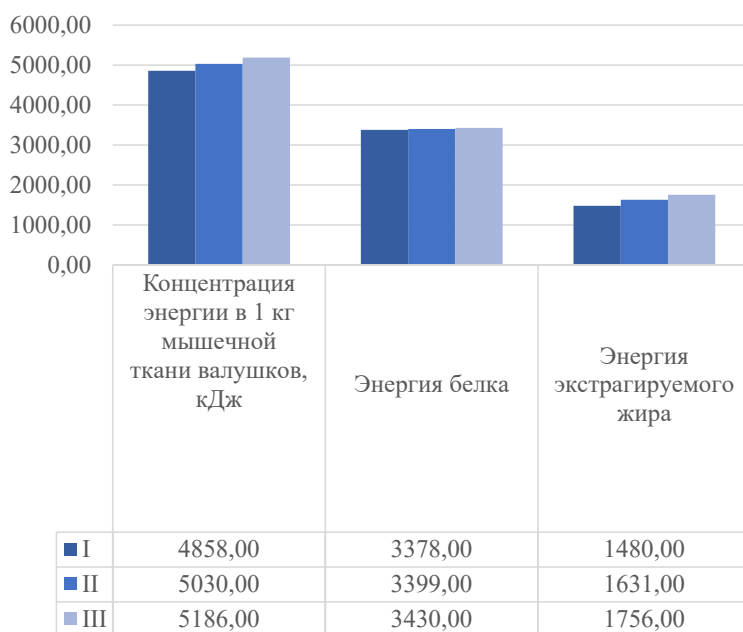


Рис. 2. Концентрация энергии в 1 кг мышечной ткани валушков, кДж

Источник: сделано Ю.А. Юлдашбаевым, В.И. Косиловым, И.А. Рахимжановой, Т.А. Седых.

Примечательно, что минимальные значения показателя зафиксированы у чистопородных валушков I группы. По сравнению с помесями II группы их показатель оказался ниже на 172 кДж (3,55 %), а относительно III группы — на 328 кДж (6,75 %). Это является влиянием меньшей концентрацией энергии питательных веществ в 1 кг мышечной ткани чистопородных валушков I группы.

Исследование баланса белка и жира в мышечной ткани туши показало, что у валушков всех генотипов наблюдается оптимальное соотношение этих компонентов. При этом помеси из II и III групп характеризовались повышенной спелостью (зрелостью) мышечной ткани, причем между данными группами не выявлено значимых различий (табл. 2).

Таблица 2

Энергетическая ценность и спелость (зрелость) мышечной ткани валушков

Группа	Всего энергии в мышечной ткани туши, МДж	Соотношение белка и жира в мышечной ткани	Спелость (зрелость) мышечной ткани, %
I	55,04	1:0,19	5,04
II	78,97	1:0,21	5,59
III	87,07	1:0,23	6,06

Источник: сделано Ю.А. Юлдашбаевым, В.И. Косиловым, И.А. Рахимжановой, Т.А. Седых.

Оценка валового выхода энергии мышечной ткани продемонстрировала идентичную систему ранжирования групп. В числовом выражении преимущество помесей II и III групп над чистопородными валушками составило 23,93 МДж (43,48 %) и 32,03 МДж (58,19 %) соответственно.

Помеси второго поколения (III групп) во всех рассмотренных случаях показали наивысшие показатели пищевой и энергетической ценности мышечной ткани.

Заключение

Данные, полученные в ходе мониторинга содержания пищевых веществ и энергетической ценности мышечной ткани у чистопородного и помесного молодняка, однозначно указывают на превосходство помесных особей. Это определяет перспективность апробированного варианта скрещивания овец романовской и эдильбаевской пород.

По всем анализируемым критериям помеси второго поколения продемонстрировали наивысшие значения, что объясняется высокой степенью проявления эффекта скрещивания.

Список литературы

1. Погодаев В.А., Сергеева Н.В. Результативность скрещивания овцематок ставропольской породы с помесными баранами (½ калмыцкая курдючная + ½ дорпер) // Овцы, козы, шерстяное дело. 2022. № 2. С. 28–32. doi: 10.26897/2074-0840-2022-2-28-32 EDN: QVRXGH

2. Басонов О.А., Илиади Ю.Х., Судакова А.В. Химический состав и питательная ценность мяса баранчиков различных генотипов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 5 (115). С. 273–278. doi: 10.37670/2073-0853-2025-115-5-273-278 EDN: JGLJYM

3. Магомадов Т.А., Никитченко Д.В., Никитченко В.Е. Рост мышц и костей у баранчиков куйбышевской породы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2007. № 1. С. 61–63. EDN: OKERJP

4. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Интенсификация производства и повышение качества мяса овец: монография. М. : МЭСХ, 2015. 304 с. EDN: TKFJCS

5. Косилов В.И., Шкилев П.Н., Никонова Е.А. Убойные качества, пищевая ценность, физико-химические и технологические свойства мяса молодняка овец южноуральской породы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 2 (30). С. 132–135. EDN: NUULDH

6. Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Никонова Е.А., Седых Т.А., Быкова О.А. Убойные качества молодняка овец в зависимости от генотипа // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 3. С. 490–496. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-490-496 EDN: CIAUPL

7. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Панов В.П. Формирование скелетной мускулатуры у овец куйбышевской породы в постнатальном онтогенезе // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 136–146. EDN: PGADAP
8. Куликова А.Я., Шевцова В.С. Продуктивные качества овец южной мясной породы разных генотипов по локусу кальпастатина // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 4. С. 8–11. doi: 10.26897/2074-0840-2024-4-8-11 EDN: KFOSSO
9. Кармаев С.В., Кармаева А.С., Кармаев В.С. Влияние типа кормления на обмен веществ и продуктивные качества коров голштинской породы // Нива Поволжья. 2015. № 4 (37). С. 61–67. EDN: VCPRXL
10. Шевхужев А., Хапсирокова И. Адаптационные способности и молочная продуктивность симменталов в условиях Карачаево-Черкесии // Молочное и мясное скотоводство. 2009. № 6. С. 16–17. EDN: KUXNBR
11. Батанов С.Д., Князева О.Ю. Влияние пробиотической добавки на молочную продуктивность и качество молока коров холмогорской породы // Аграрная наука. 2012. № 5. С. 29–30. EDN: OYRNKV
12. Батанов С.Д., Ушкова О.Ю. Пробиотик Бацелл и пребиотик Лактацид в рационах молочных коров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2013. № 11. С. 26–34. EDN: RDXNZX
13. Селионова М.И., Сеитов М.С., Лайпанов Т.А. Результаты скрещивания овец отечественных пород с баранами мясных пород зарубежной селекции // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 2 (112). С. 285–291. doi: 10.37670/2073-0853-2025-112-2-285-291 EDN: MKJTKL
14. Силантьева А.О., Иолчиев Б.С., Багиров В.А., Косицина О.В. Мясная продуктивность и качество мяса баранчиков разного генотипа // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 2. С. 9–12. doi: 10.26897/2074-0840-2024-2-9-12 EDN: TZMTAL
15. Двалишвили В.Г. Некоторые резервы увеличения производства баранины // Овцы, козы, шерстяное дело. 2015. № 4. С. 21–22. EDN: VQEGWZ
16. Косилов В.И., Салаев Б.К., Юлдашбаев Ю.А., Иргашев Т.А., Арилов А.Н., Кубатбеков Т.С., Миронova И.В. Эффективность использования генетических ресурсов овец в разных природно-климатических условиях : монография. Элиста, 2019. 206 с. EDN: UAJFEA

Об авторах:

Юлдашбаев Юсупжан Артыкович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, профессор института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49; e-mail: yuldashbaev@rgamsha.ru

ORCID: 0000-0002-7150-1131 SPIN-код: 5687-1473

Косилов Владимир Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Оренбургский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18; e-mail: kosilov_vi@bk.ru
ORCID: 0000-0003-4754-1771 SPIN-код: 1802-6176

Никонова Елена Анатольевна — доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Оренбургский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18; e-mail: nikonovaEA84@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0906-8362 SPIN-код: 2666-2600

Рахимжанова Ильмира Агзамовна — доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой электротехнологии и электрооборудования, Оренбургский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18; e-mail: kaf36@orensau.ru
ORCID: 0000-0002-7771-7291 SPIN-код: 9566-9106

Калякина Раиля Губайдуловна — кандидат биологических наук, доцент, Оренбургский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18; e-mail: kalyakina_railya@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8892-0669 SPIN-код: 3946-5970

Седых Татьяна Александровна — доктор биологических наук, доцент, заведующая лабораторией молекулярной генетики и селекции животных, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Российская Федерация, 450001, г. Уфа, ул. Ленина, д. 20; e-mail: nio_bsau@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5401-3179 SPIN-код: 4481-5351



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-299-307

EDN JSNKWG

УДК 619:618.96:569.822.2-086

Научная статья / Research article

Общие закономерности динамики развития биопленок грибов *Aspergillus spp.*

Е.М. Ленченко¹  , Н.П. Сачивкина² ,
Д.А. Банникова¹ , М.И. Шопинская² 

¹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, г. Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Аннотация. При развитии локальной и системной инфекции человека и животных, фитопатологии, деградации природных и синтетических полимеров, жилых и производственных конструкций адаптивный потенциал патогенов ингибируется QS молекулами, блокирующими синтез индукторов межклеточной коммуникации. Цель исследования — анализ динамики изменений морфофункциональных показателей при инициации, развитии и дисперсии грибов *Aspergillus spp.* Для исследования фенотипических признаков и учета морфометрических показателей биопленок микроорганизмы культивировали при $35 \pm 2,0$ °C в течение 168 ± 1 ч. Культуры микроорганизмов *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger* — быстрорастущие, в зависимости от состава питательных сред и времени культивирования различались как по объему воздушного мицелия, так и окрашиванию обратной стороны. При реализации процессов межклеточной коммуникации на ранних этапах развития иницировалась адгезия конидий к поверхности субстрата. За счет апикального роста герментативных трубочек впоследствии дифференцировались нитевидные структуры — гифы. По мере увеличения времени культивирования выявлялись участки значительной консолидации гифов, дифференцировались конидиогенные структуры. Общие закономерности развития гетерогенных биопленок при репрезентации сигнальных молекул QS опосредованы особенностями цикличности роста и адаптацией популяции к действию факторов среды обитания. Раскрытие механиз-

© Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Банникова Д.А., Шопинская М.И., 2026



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

мов инициации, персистенции, дисперсии при адвентивной споруляции и филаментации микромицет будет способствовать оптимизации схемы длительных ретроспективных микологических исследований, разработке эффективных способов эррадикации биопленок, а также рационализации применения биосинтетической активности грибов в биотехнологии и биоремедиации.

Ключевые слова: микроскопические грибы, межклеточная коммуникация, адгезивные свойства микроорганизмов, адвентивная споруляция, филаментация, дисперсия, конидиогенез, эррадикация биопленок

Вклад авторов: концепция — Е.М. Ленченко; методология, валидация — Н.П. Сачивкина; работа с данными — Е.М. Ленченко, Д.А. Банникова; ревизия и редактирование текста — Е.М. Ленченко, Н.П. Сачивкина, М.И. Шопинская. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и одобрили ее.

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

История статьи: поступила в редакцию 7 мая 2026 г., принята к публикации 10 июня 2026 г.

Для цитирования: Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Банникова Д.А., Шопинская М.И. Общие закономерности динамики развития биопленок грибов *Aspergillus spp.* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 299–307. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-299-307 EDN: JSNKWG

General patterns of *Aspergillus spp.* biofilm development dynamics

Ekaterina M. Lenchenko¹  , Nadezhda P. Sachivkina² ,
Daria A. Bannikova¹ , Marina I. Shopinskaya² 

¹All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene, and Ecology — Branch of the Federal Scientific Center VIEV RAS, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Abstract. During the development of local and systemic infections of humans and animals, phytopathology, degradation of natural and synthetic polymers, residential and industrial structures, the adaptive potential of pathogens is inhibited by QS molecules that block the synthesis of intercellular communication inducers. The aim of the study was to analyze the dynamics of changes in morphofunctional parameters during the initiation, development, and dispersion of *Aspergillus spp.* fungi. To study the phenotypic characteristics and take into account the morphometric parameters of biofilms, microorganisms were cultivated at $35 \pm 2.0^\circ\text{C}$ for $168 \pm 1\text{h}$. Cultures of *A. flavus*, *A. fumigatus*, and *A. niger* microorganisms are fast-growing; depending on the composition of the nutrient media and the cultivation time, they differed both in the volume of aerial mycelium and in the staining of the reverse side. During the implementation of intercellular communication processes at the early stages of development, adhesion of conidia to the substrate surface was initiated. Due to the apical growth of germinal tubules, filiform structures — hyphae — subsequently differentiated. As cultivation time increased, areas of significant hyphal consolidation emerged, and conidiogenic structures differentiated. General patterns of heterogeneous biofilm development during the representation of QS signaling molecules are mediated by growth cyclicity and population adaptation to environmental factors. Understanding the mechanisms of initiation, persistence, and dispersion during adventitious sporulation and filamentation of micromycetes will facilitate the optimization of long-term retrospective mycological studies, the development of effective methods for biofilm eradication, and the rationalization of the use of fungal biosynthetic activity in biotechnology and bioremediation.

Keywords: microscopic fungi, intercellular communication, adhesive properties of microorganisms, adventitious sporulation, filamentation, dispersion, conidiogenesis, eradication of biofilms

Authors contribution: Conceptualization — E.M. Lenchenko; methodology, validation — N.P. Sachivkina; data processing — E.M. Lenchenko, D.A. Bannikova; writing — revision and editing — E.M. Lenchenko, M.I. Shopinskaya. All authors have read the final version of the manuscript and approved it.

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

Article history: received 7 May 2026; accepted 10 June 2026.

For citation: Lenchenko EM, Sachivkina NP, Bannikova DA, Shopinskaya MI. General patterns of *Aspergillus* spp. biofilm development dynamics. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):299–307. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-299-307 EDN: JSNKWG

Введение

При статистически достоверной тенденции возрастания инцидентности социально значимых микозов, опосредованных избыточным ростом адвентивной споруляцией в тканях, установлено доминирование этиологической значимости грибов *Aspergillus* spp. [1–3]. Длительность микологических исследований при дифференциации хронических фтизиатрических процессов достигает от 46 до 110 суток, что сопряжено с применением антимикотической терапии [4–6]. Азолрезистентные штаммы причислены к первой категории критического уровня приоритетности для исследований в соответствии с перечнем патогенов «WHO Fungal Priority Pathogens List»¹ [7, 8]. Территориальные ранжирования репрезентативной выборки позволяют прогнозировать дальнейшее увеличение резистентности к лекарственным и дезинфицирующим препаратам изолятов, идентифицированных из патматериала млекопитающих, птиц, рептилий, земноводных, рыб и пчел [9–15]. Контаминация пищевой продукции и кормов метаболитами грибов в концентрациях, опасных для здоровья человека и животных, может достигать от 40,0 до 100,0 % [16–19]. При развитии локальной и системной инфекции человека и животных, фитопатологии, а также деградации природных и синтетических полимеров, жилых и производственных конструкций морфогенез микромицет инициируется репрезентацией сигнальных молекул Quorum Sensing (QS) [20–23]. Для оптимизации длительной и ретроспективной схемы микологических исследований, разработке эффективных препаратов, снижающих адгезивные свойства микроорганизмов, блокирующих синтез или разрушающих полимерный матрикс, актуальность и научную новизну представляют исследования механизмов инициации, развития, формирования и дисперсии биопленок.

Цель исследования — анализ динамики изменений морфофункциональных показателей при инициации, развитии и дисперсии грибов *Aspergillus* spp.

¹ WHO fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action. Geneva : World Health Organization; 2022. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240060241> (дата обращения: 20.01.2026).

Материалы и методы исследования

Штаммы. В опытах исследовали референтные штаммы (ATCC): *Aspergillus flavus* 16883, *Aspergillus fumigatus* 1028, *Aspergillus niger* 16404².

Питательные среды. Для культивирования микроорганизмов использовали среды: МПБ, МПА, кукурузный агар; агар Чапека с дрожжевым экстрактом (Оболensk, ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Россия); шоколадный агар (BioMedia, Россия); Sabouraud Fluid Medium и Sabouraud Dextrose Agar w/Chloramphenicol & Cycloheximide (Condalab, Испания).

Микроорганизмы культивировали при $35 \pm 2,0$ °С в течение 168 ± 1 ч, исследование фенотипических признаков проводили общепринятыми микологическими методами. Для морфометрических исследований образцы фиксировали 30,0%-м раствором NaOH в течение 30 мин; окрашивали водным раствором генцианвиолета 1 : 2000 и по Граму (BioVitrum, Россия). Препараты «раздавленная капля» готовили из мицелия грибов слегка прикоснувшись к поверхности колонии микроорганизмов. Тщательное разделение гиф мицелия проводили препаровальными иглами, затем наносили каплю глицерина и покрывали покровным стеклом³. Для сохранения естественной архитектоники биопленок препараты фиксировали: в парах 25,0%-го раствора глutarового альдегида в течение 8 ч; 1,0%-м водным раствором осмиевой кислоты в течение 4 ч. Уплотнение исследуемых образцов проводили этанолом возрастающей концентрации 30, 50, 96, 100° [24]. Оптическую плотность образцов оценивали с применением фотометрического анализатора Immunochem-2100 (HTI, USA), (OD_{580}). Морфометрические показатели учитывали с применением оптического микроскопа Trinocular Unico (Unico, США).

Результаты исследований обрабатывали методом статистического анализа с использованием критерия Стьюдента, результаты считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

При $35 \pm 2,0$ °С культивирования в жидких и плотных средах в течение 168 ± 1 ч изученные микроорганизмы *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger* имели характерный рост, вполне информативный. Культуры микроорганизмов — быстрорастущие: наличие роста микромицет наблюдали на поверхности жидких сред в пробирках и периферической части чашек Петри. Это связано с аэробными свойствами грибов. В зависимости от состава питательных сред и времени культивирования, микромицеты различались как по объему воздушного мицелия — от крайне слабого до обильного, так и окрашиванию обратной стороны колоний (реверс): от почти полного видимого наличия до розовато-коричневых интенсивно окрашенных тонов. Центральная часть колонии очень плотная, интенсивнее окрашена, периферическая часть истонченная, выявлялся бледного цвета пигмент, диффундирующий в толщу среды (рис. 1).

² ATCC. The Global Bioresource Center. Режим доступа: <https://www.lgcstandards-atcc.org> (дата обращения: 05.05.2023).

³ Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001.

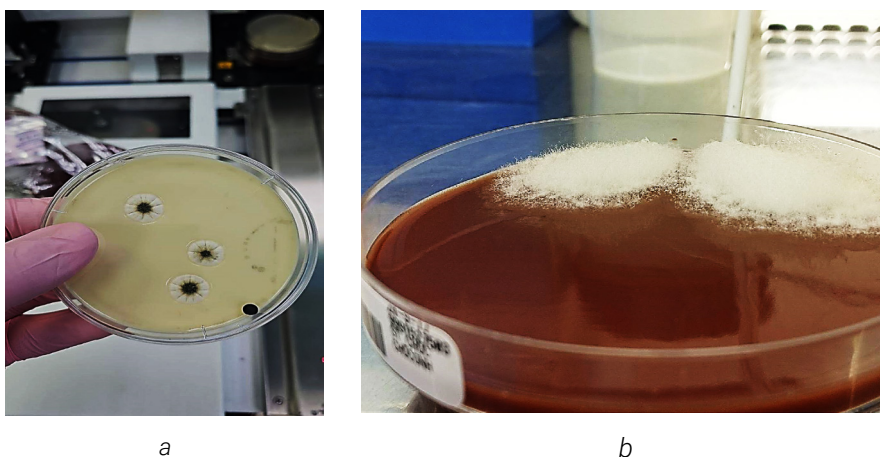


Рис. 1. Культуры микроорганизмов *A. flavus* ($35 \pm 2,0$) °C, 48 ± 1 ч:
 а — среда Сабуро; б — шоколадный агар

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, Н.П. Сачивкина, Д.А. Банникова.

Культуры микроорганизмов *A. fumigatus* были дымчатые, серовато-зеленые, реверс светло-желтого цвета. Фактура колоний от шерстистых до ватообразных с некоторой зернистостью. На апикальных полюсах тончайших нитевидных структур выявлялись округлые образования зерновидной формы, светло-серого или интенсивно коричневого цвета. Культуры микроорганизмов *A. flavus* формировали шерстистые зеленые или белые пушистые ватообразные колонии, диффундирующие вглубь среды (2,0...3,0 мм). Изначально светло-зеленый, желто-зеленый или лимонный, по мере спороношения становится темно-зеленым, темно-желто-зеленым или буро-зеленым в центре. Реверс колоний бело-кремового цвета. Склероции из плотно переплетенных гифов мицелия — белые, по мере увеличения времени культивирования кремового цвета, а через 168 ч — коричневые. Как правило, выявлялся экссудат, капли которого, вначале бесцветные, постепенно приобретали светло-коричневый цвет. Дифференциальные признаки колоний: темно-зеленый центр и радиальные борозды; периферия — истонченные ажурной формы. Культуры микроорганизмов *A. niger* формировали вначале пушистые колонии, затем зернистые, реверс колоний бесцветный или желтоватого цвета. По мере спороношения цвет мицелия варьировал от темно-коричневого до черного цвета.

При 35 ± 2 °C в течение 168 ± 1 ч в статических условиях культивирования в зависимости от стадии клеточного цикла выявляли общие закономерности развития биопленок изученных грибов. Динамика развития гетерогенной популяции была опосредована адгезией, синтезом экоцеллюлярных молекул, пролиферацией, коагрегацией, дифференциацией структур мицелия в зависимости от стадии клеточного цикла. Реализация процессов межклеточной коммуникации инициировалась адгезией конидий к поверхности субстрата, в наших исследованиях — стекла. За счет апикального роста герментативных трубочек дифференцировались нитевидные структуры — гифы. По мере увеличения времени культивирования выявлялись

участки значительной консолидации гифов, дифференцировались конидиогенные структуры. Гифы изученных видов грибов были септированные, бесцветные.

Конидиеносцы *A. flavus* — грубошероховатые, бесцветные, длина 400,0–800,0 ± 0,8 мкм; везикулы округлой формы, 20,0–45,0 ± 0,7 мкм, поверхность которых почти полностью покрывали фиалиды, 8,0–12,0 ± 0,6, расположенные на метулах. Конидии — гладкие, округлой формы, $d = 3,0\text{--}6,0 \pm 0,5$ мкм.

Конидиеносцы *A. fumigatus* — гладкие, бесцветные, длина 100,0–300,0 ± 0,4 мкм; везикулы куполовидные, 20,0–30,0 ± 0,3 мкм с плотно расположенными фиалидами, 5,0–10,0 ± 0,6. Конидии — гладкие или мелкошероховатые, округлые, $d = 2,0\text{--}3,5 \pm 0,8$ мкм.

Конидиеносцы *A. niger* — гладкие, бесцветные, около везикулы темные, длина 300,0–400,0 ± 0,2 мкм. Везикулы сферической формы, 30,0–75,0 ± 0,5 мкм, поверхность покрывали фиалиды, 8,0–12,0 ± 0,6, расположенные на метулах. Конидии — шероховатые, округлой формы, $d = 4,0\text{--}5,0 \pm 0,5$ мкм (рис. 2).

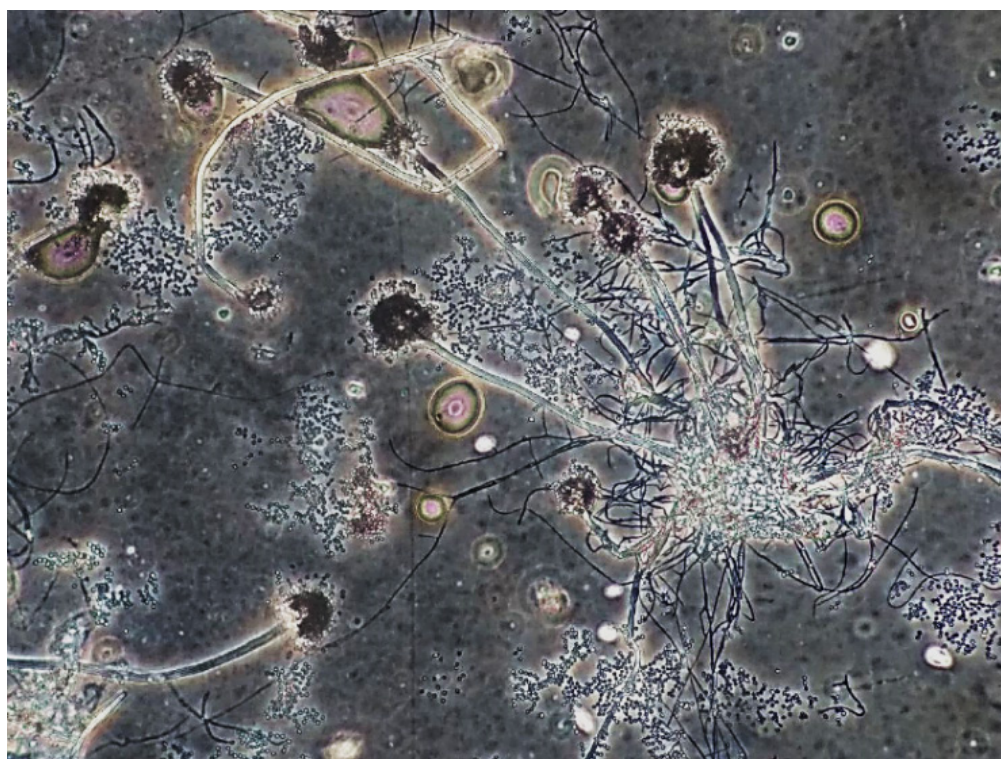


Рис. 2. Морфология микроорганизмов *A. niger*, культивирование на МПА при 35 ± 2 °С, в течение 168 ± 1 ч. Фиксация 30,0 % раствор NaOH, в течение 30 мин: ок. $\times 10$, об. $\times 40$, H604 Trinocular Unico, США

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, Н.П. Сачивкина, Д.А. Банникова.

Популяционная иммобилизация биопленок — генетически и фенотипически детерминированная форма межклеточной коммуникации, *Quorum sensing*, опосредованные особенностями цикличности роста и адаптацией популяции

к действию экологических и антропогенных факторов [5, 25, 26]. При разработке новых и ротации лекарственных и дезинфицирующих средств перспективными признаны антиадгезивные композиционные препараты широкого спектра действия [11, 24, 27, 28]. Адаптивный потенциал гетерогенной многоклеточной популяции ингибируется QS молекулами, блокирующими синтез индукторов межклеточной коммуникации, что позволяет снизить адгезию, соответственно, степень контаминации микроорганизмов [24, 29, 30].

Заключение

Проведенное исследование раскрыло фундаментальные аспекты формирования и развития биопленок у представителей рода *Aspergillus* при оптимальных температурных условиях 35 ± 2 °C в течение 168 ± 1 часа. В ходе эксперимента была выявлена способность грибов к самоорганизации, проявляющаяся в формировании пространственно упорядоченных многоклеточных структур. Каждый этап развития биопленки — от первичной адгезии до финальной дисперсии — демонстрирует поразительную согласованность и адаптивность популяции. Особого внимания заслуживает сложная динамика популяционной иммобилизации, включающая последовательную смену фаз: пролиферацию, коагрегацию, филаментацию и другие ключевые процессы, тесно взаимосвязанные между собой.

Полученные результаты открывают новые горизонты в понимании механизмов жизнедеятельности микромицет и могут быть использованы в нескольких перспективных направлениях: совершенствование методологии длительных микологических исследований; разработка инновационных стратегий борьбы с устойчивыми биопленками; оптимизация биотехнологических процессов с использованием грибов; развитие методов биоремедиации.

Исследование механизмов формирования и функционирования грибковых биопленок представляет собой значительный вклад в современную микологию. Понимание этих процессов не только расширяет фундаментальные знания о жизнедеятельности грибов, но и открывает практические перспективы для решения актуальных проблем медицины, ветеринарии и биотехнологии.

Список литературы

1. Valdes ID, van den Berg J, Haagsman A, et al. Comparative genotyping and phenotyping of *Aspergillus fumigatus* isolates from humans, dogs and the environment. *BMC Microbiology*. 2018;18:118. doi: 10.1186/s12866-018-1244-2 EDN: SEGKMI
2. Araújo D, Silva AR, Fernandes R, et al. Emerging approaches for mitigating biofilm-formation-associated infections in farm, wild, and companion animals. *Pathogens*. 2024;13(4):320. doi: 10.3390/pathogens13040320 EDN: XTWDNC
3. Bamber S, Haiduven D, Denning DW. Survey of current national and international guidance to reduce risk of aspergillosis in hospitals. *The Journal of Hospital Infection*. 2025;159:124–139. doi: 10.1016/j.jhin.2025.02.015 EDN: LIJLOM
4. Rayón-López G, Carapia-Minero N, Medina-Canales MG, et al. Lipid-like biofilm from a clinical brain isolate of *Aspergillus terreus*: quantification, structural characterization and stages of the formation cycle. *Mycopathologia*. 2023;188:35–49. doi: 10.1007/s11046-022-00692-z EDN: AYZCOE

5. Lenchenko E, Sachivkina N, Mannapova R, et al. Quorum sensing microorganisms and reduction compensatory mechanisms: natural resistance of bacteria of Psittaciformes. *International Journal of Veterinary Science*. 2025;14(6):1112–1120. doi: 10.47278/journal.ijvs/2025.064 EDN: ZFDSEL
6. Otoo B, Calise DG, Park SC, Bok JW, Keller NP, Rawa MSA. ZfpA-dependent quorum sensing shifts in morphology and secondary metabolism in *Aspergillus flavus*. *Environmental Microbiology*. 2025;27: e70100. doi: 10.1111/1462–2920.70100 EDN: SEOKJY
7. Fisher MC, Denning DW. The WHO fungal priority pathogens list as a game-changer. *Nature Reviews. Microbiology*. 2023;21:211–212. doi: 10.1038/s41579-023-00861-x EDN: SCUUNA
8. Chen S, Chakrabarti A, Cornely O, Meis J, Perfect J. Informing the World Health Organization Fungal Priority Pathogens List (WHO-FPPL): a collection of systematic reviews. *Medical Mycology*. 2024;62(6): myae046. doi: 10.1093/mmy/myae046 EDN: HTTVNK
9. Zhang HW, Ying C, Tang YF. Four ardeemin analogs from endophytic *Aspergillus fumigatus* SPS-02 and their reversal effects on multidrug-resistance tumor cells. *Chemistry and Biodiversity*. 2014;11(1):85–91. doi: 10.1002/cbdv.201300154
10. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Зотова Е.В., Буркин А.А. Хемо- и фенотипы потенциально токсигенного гриба *Aspergillus flavus* // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 4. С. 276–283. doi: 10.31857/S0026364822040055. EDN: RKREJE
11. Маноян М.Г., Соколов В.В., Гуршева А.С., Габузян Н.А., Панин А.Н. Оценка рисков возникновения резистентности к антимикотическим средствам // Успехи медицинской микологии. 2019. Т. 20. С. 706–711. EDN: ZVYGEL
12. Ленченко Е.М., Павлова И.Б., Абдуллаева А.М., Саввина Л.В., Покровский А.А. Сравнительная оценка способов подготовки препаратов для исследований биопленок микроскопических грибов // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2024. № 4 (52). С. 552–560. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202404010 EDN: JUHAUP
13. Овчинников Р.С., Капустин А.В., Лаишевцев А.И., Савинов В.А. Микотоксины и микотоксикозы животных — актуальная проблема сельского хозяйства // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2018. № 1 (25). С. 114–123. doi: 10.25725/vet.san.hyг.ecol.201801020 EDN: EKRKUJ
14. Негматов А.А., Наврузшоева Г.Ш., Капустин А.В., Аноятбеков М., Девришов Д.А. Влияние контаминированного корма на возникновение и распространение инфекционных болезней расплода пчел в Таджикистане // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 12 (52). С. 11. doi: 10.60797/JAE.2024.52.4 EDN: KDZTJH
15. Hernandez-Benitez JA, Santos-Ocampo BN, Rosas-Ramirez DG, et al. The effect of temperature over the growth and biofilm formation of the thermotolerant *Aspergillus flavus*. *Journal of Fungi*. 2025;11(1):53. doi: 10.3390/jof11010053
16. Wongsuk T, Sukphopetch P. Effect of quorum sensing molecules on *Aspergillus fumigatus*. *Walailak Journal of Science and Technology*. 2020;17(4):348–358. doi: 10.48048/wjst.2020.6172
17. Ибрагимова С.С., Прунтова О.В., Шадрова Н.Б., Жбанова Т.Б. Анализ выявлений микотоксинов по данным информационной системы RASFF за период с 2020 по 2022 г. // Ветеринария сегодня. 2025. Т. 14. № 2. С. 201–209. doi: 10.29326/2304-196X-2025-14-2-201-209 EDN: UMYMYZ
18. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Буркин А.А., Зотова Е.В. Продуцирование охратоксина А, фумонизинов и эмодина у вида *Aspergillus niger* из кормовой продукции // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 3. С. 550–560. doi: 10.15389/agrobiology.2024.3.550rus EDN: LYIQDD
19. Маноян М.Г., Гуршева А.С., Габузян Н.А., Панин А.Н. Дерматофитозы животных в регионах России: этиологическая структура и чувствительность возбудителей к антимикотическим препаратам // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 2. С. 342–354. doi: 10.15389/agrobiology.2024.2.342rus EDN: VVOZSS
20. Mehmood A, Liu G, Wang X, Meng G, Wang C, Liu Y. Fungal quorum-sensing molecules and inhibitors with potential antifungal activity: a review. *Molecules*. 2019;24(10):1950. doi: 10.3390/molecules24101950 EDN: GQHZBV
21. Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Луищев А.В. Динамика развития биопленок грибов *Nakaseomyces glabratus* // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13. № 3. С. 269–274. doi: 10.29326/2304-196X-2024-13-3-269-274 EDN: YAKOXT
22. Cheng X, Zhang L, Luo J, et al. Two pathogenic fungi isolated from chalkbrood samples and honey bee viruses they carried. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:843842. doi: 10.3389/fmicb.2022.843842 EDN: ACZHGU

23. Engelbert K, Deffur C, Cairns TC, et al. Adjusting *Aspergillus niger* pellet diameter, population heterogeneity, and core architecture during shake flask cultivation. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2025;18(1):62. doi: 10.1186/s13068-025-02661-2 EDN: WOZIBC
24. Cano-Pérez M, Caballero Pérez JD, Gómez García de la Pedrosa E, Gómez-López A. Biofilm formation in *Aspergillus fumigatus*: a comparative study of strains from different origins. *Microorganisms*. 2026;14(2):272. doi: 10.3390/microorganisms14020272 EDN: LMCGTM
25. Sachivkina N, Vasilieva E, Lenchenko E, et al. Reduction in pathogenicity in yeast-like fungi by farnesol in quail model. *Animals*. 2022;12(4):489. doi: 10.3390/ani12040489 EDN: NRTUEB
26. Liu S, Le Mauff F, Sheppard DC, Zhang S. Filamentous fungal biofilms: conserved and unique aspects of extracellular matrix composition, mechanisms of drug resistance and regulatory networks in *Aspergillus fumigatus*. *NPJ Biofilms and Microbiomes*. 2022;8(1):83. doi: 10.1038/s41522-022-00347-3 EDN: MERNSS
27. González-Ramírez AI, Ramírez-Granillo A, Medina-Canales MG, Rodríguez-Tovar AV, Martínez-Rivera MA. Analysis and description of the stages of *Aspergillus fumigatus* biofilm formation using scanning electron microscopy. *BMC Microbiology*. 2016;16(1):243. doi: 10.1186/s12866-016-0859-4 EDN: QIKBAW
28. Сачивкина Н.П., Нечет О.В., Гашимова И.С., Кондратьева Д.В., Сахно Н.В. Действие фарнезола на чувствительность микроорганизмов из бактериально-грибковой биопленки к антимикробным средствам in vitro // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 370–382. doi: 10.22363/2312-797X 2024-19-2-370-382 EDN: HBBYLN
29. Vatnikov Y, Shabunin S, Kulikov E, et al. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(suppl 2):3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373 EDN: GIENHY
30. Navale V, Vamkudoth KR, Ajmera S, Dhuri V. *Aspergillus* derived mycotoxins in food and the environment: prevalence, detection, and toxicity. *Toxicology Reports*. 2021;8:1008–1030. doi: 10.1016/j.toxrep.2021.04.013 EDN: JVCPCB
31. Gao J, Liu H, Jin Y, et al. Glucose and HODEs regulate *Aspergillus ochraceus* quorum sensing through the GprC-AcyA pathway. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2024;81(1):241. doi: 10.1007/s00018-024-05160-z EDN: EHKLIIQ

Об авторах:

Ленченко Екатерина Михайловна — доктор ветеринарных наук, профессор, научный консультант лаборатории санитарной микробиологии и сектора приготовления питательных сред, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, Российская Федерация, 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5; e-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2576-2020 SPIN-код: 9417-0889

Сачивкина Надежда Павловна — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: sachivkina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1100-929X SPIN-код: 1172-3163

Банникова Дарья Андреевна — кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории санитарной микробиологии и сектора приготовления питательных сред, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, Российская Федерация, 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5; e-mail: andreevna.07@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4766-0183 SPIN-код: 1618-0317

Шопинская Марина Ивановна — кандидат ветеринарных наук, доцент департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: shopinskaya-mi@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-3823-3737 SPIN-код: 2550-4781



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-308-344

EDN JTNZNS

УДК 616-092

Научная статья / Research article

Плоскоклеточный рак у кошек: морфологические предикторы выживаемости и экспериментальная прогностическая модель

Н.А. Акопян¹  , В.Н. Байматов² 

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского,
г. Москва, Российская Федерация

²Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА
имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 parlenare@gmail.com

Аннотация. Определение причин и механизмов развития плоскоклеточного рака (ПКР) у животных — важная задача, актуальная для ветеринарии и фундаментальной науки. Проведен детальный анализ взаимодействия онкогенных процессов и разработаны пилотный алгоритм и математическая модель для прогнозирования выживаемости на основе морфологических характеристик опухолей, с акцентом на пациентов с атипизмом клеточных структур. Четкого консенсуса в вопросе этиологии злокачественной трансформации клеток у кошек нет. Четких критериев для дифференциации причин и факторов, способствующих развитию ПКР, также не существует. Прогнозирование выживаемости и метастазирования ПКР у кошек остается сложной задачей, несмотря на достижения в исследованиях, включая стандартизированные системы. Исследование выявило связь морфологических характеристик ПКР у кошек с выживаемостью: степень дифференцировки, атипизм клеток, костная инвазия, митоз и некроз. Создана экспериментальная модель для прогнозирования рисков, но она требует проверки на других данных из-за небольшой выборки. Разработаны рекомендации по внедрению модели в ветеринарную практику. Поэтому углубленное изучение факторов, влияющих на развитие онкологических заболеваний у кошек, крайне важно. Это поможет не только прогнозировать выживаемость пациентов, но и эффективно предотвращать и лечить рак, что является ключевой задачей современной онкологии.

Ключевые слова: карцинома кератиноцитов, felis, кожные новообразования, медиана выживаемости, этиология, патогенез

© Акопян Н.А., Байматов В.Н., 2026



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

Вклад авторов: Акопян Н.А. — подготовка опыта, выполнение лабораторного анализа и сбор данных, написание статьи; Байматов В.Н. — анализ данных и их интерпретация, написание статьи. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и одобрили ее.

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

История статьи: поступила в редакцию 6 декабря 2025 г., принята к публикации 17 марта 2026 г.

Для цитирования: Акопян Н.А., Байматов В.Н. Плоскоклеточный рак у кошек: морфологические предикторы выживаемости и экспериментальная прогностическая модель // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 308–344. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-308-344 EDN: JTNZNS

Feline squamous cell carcinoma: morphologic predictors of survival and an experimental prognostic model

Nare A. Akopyan¹  , Valery N. Baimatov² 

¹MSUTU named after K.G. Razumovsky (PKU), Moscow, Russian Federation

²Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin
MBA, Moscow, Russian Federation
 parlenare@gmail.com

Abstract. Understanding the causes and mechanisms of squamous cell carcinoma in animals is an important issue in veterinary medicine and basic science. This study provides a detailed analysis of the interaction between oncogenic processes and develops a preliminary algorithm and mathematical model for predicting survival based on tumor morphology, with an emphasis on cases showing atypical cellular structures. There is no clear consensus on the etiology of malignant cell transformation in cats, nor are there well-defined criteria for differentiating contributing factors in squamous cell carcinoma (SCC). Predicting survival and metastasis of SCC in cats remains challenging despite advances such as standardized systems. The study revealed a relationship between morphological characteristics of SCC in cats and survival: degree of differentiation, cellular atypism, bone invasion, mitotic index, and necrosis. An experimental model has been developed to predict risks but requires validation on independent datasets due to the small sample size. Recommendations for implementing the model in veterinary practice have been developed. Thus, further investigation of factors influencing feline cancer development is essential. This will aid not only in predicting survival but also in the effective prevention and treatment of cancer — a key goal of modern oncology.

Key words: keratinocyte carcinoma, felis, skin neoplasms, median survival, etiology and pathogenesis

Author contributions: Akopyan N.A. — experimental design, laboratory and statistical analysis, data collection, manuscript drafting; Baimatov V.N. — data analysis and interpretation and manuscript drafting. All authors have read the final version of the manuscript and approved it.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Article history: received 6 December 2025; accepted 17 March 2026.

For citation: Akopyan NA, Baimatov VN. Squamous cell carcinoma in cats: morphological predictors of survival and an experimental prognostic model. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):308–344. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-308-344 EDN: JTNZNS

Введение

Известно, что при диагностике новообразований у мелких домашних животных специалисты выделяют шесть типов опухолей для более точного анализа: гемангиосаркома, лимфома, мастоцитомы, меланома, саркома мягких тканей и плоскоклеточная карцинома. Каждая из этих опухолей имеет свои, связанные с возрастом и породой животного, особенности, которые важны для клинической практики [1–3]. Плоскоклеточный рак (ПКР), являясь одной из наиболее распространенных форм злокачественных новообразований кожи и ротовой полости у кошек, представляет собой значимую клиническую проблему в ветеринарной онкологии [4]. Плоскоклеточная карцинома — наиболее распространенная опухоль полости рта у кошек, на ее долю приходится от 70 до 80 % новообразований полости рта [5–7].

Этиопатогенез данного заболевания, а также его клинические проявления и исходы существенно варьируются в зависимости от анатомической локализации опухоли. В то время как кожные формы ПКР часто демонстрируют относительно благоприятный прогноз, оральный ПКР характеризуется агрессивным инвазивным ростом, высокой вероятностью локальных рецидивов и неблагоприятным прогнозом. Это связано с поздней диагностикой, что обусловлено скрытым характером начальных проявлений заболевания, а также сложностями, возникающими при радикальном хирургическом лечении, обусловленными анатомическими особенностями и функциональными требованиями к органам ротовой полости [4, 5]. В исследовании Manuali E. и соавторов 2020 г. проанализирована выборка из 680 случаев опухолей, диагностированных у кошек породы европейская короткошерстная. Анализ показал, что новообразования кожи и мягких тканей составляли 55,9 % от всех зарегистрированных опухолей. За ними следовали опухоли молочной железы (11 %), пищеварительного тракта (7,9 %), полости рта и языка (7,3 %), полости носа и среднего уха (6 %), лимфатических узлов (3,1 %), костей (1,8 %) и печени/внутрипеченочных желчных протоков (1,3 %). Наиболее часто диагностируемыми опухолями были ПКР, саркома, лимфома и базальноклеточные опухоли. Злокачественные новообразования составили 82,9 % от общего числа случаев. Распространенными топографическими локализациями опухолей являлись кожа, соединительная/подкожная ткань и другие мягкие ткани, молочная железа, тонкий кишечник, полость носа, среднее ухо и десны. В структуре злокачественных опухолей доминировали ПКР с частотой 28,8 %, опухоль тучных клеток — 18,8 % и аденокарцинома апокриновой железы — 10,8 %. Эти данные подчеркивают важность дальнейших исследований в области патоморфологии кожных новообразований

для разработки эффективных методов диагностики и лечения. Таким образом, подтверждена высокая частота злокачественных новообразований кожи и мягких тканей у кошек породы европейская короткошерстная, что требует дальнейшего изучения этиологических факторов и разработки эффективных стратегий профилактики и лечения [5]. Плоскоклеточный рак полости рта кошек (ПРПКК) представляет собой одну из наиболее агрессивных форм злокачественных новообразований, поражающих домашних кошек. На поздних стадиях заболевания терапевтические подходы демонстрируют низкую эффективность, что существенно ограничивает возможности радикального лечения и ухудшает прогноз для пациентов. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных этиологии плоскоклеточного рака у кошек, данный вопрос остается сложным и многофакторным [6–11]. Современные обзоры литературы подчеркивают многогранность патогенетического механизма, включающего комплексные взаимодействия экологических и поведенческих факторов риска, воздействие химических агентов, инфекционных патогенов и генетических аномалий (рис. 1). Этот конгломерат факторов формирует сложную сеть причинно-следственных связей, способствующих развитию ПКР у кошек. Солнечный свет играет ключевую роль в патогенезе данного заболевания. Поражения, как правило, локализуются на участках с разреженной шерстью, таких как периорбитальная область, нос и ушные раковины, а также на непигментированных кожных покровах.

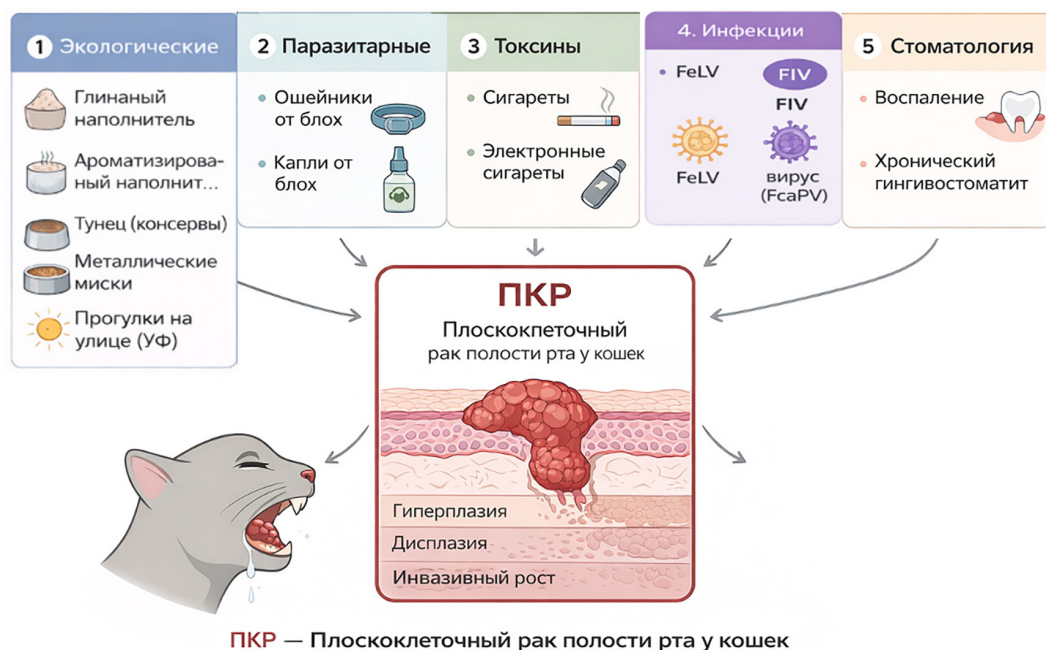


Рис. 1. Этиологические факторы плоскоклеточной карциномы полости рта у кошек

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым в программе biorender (<https://app.biorender.com>).

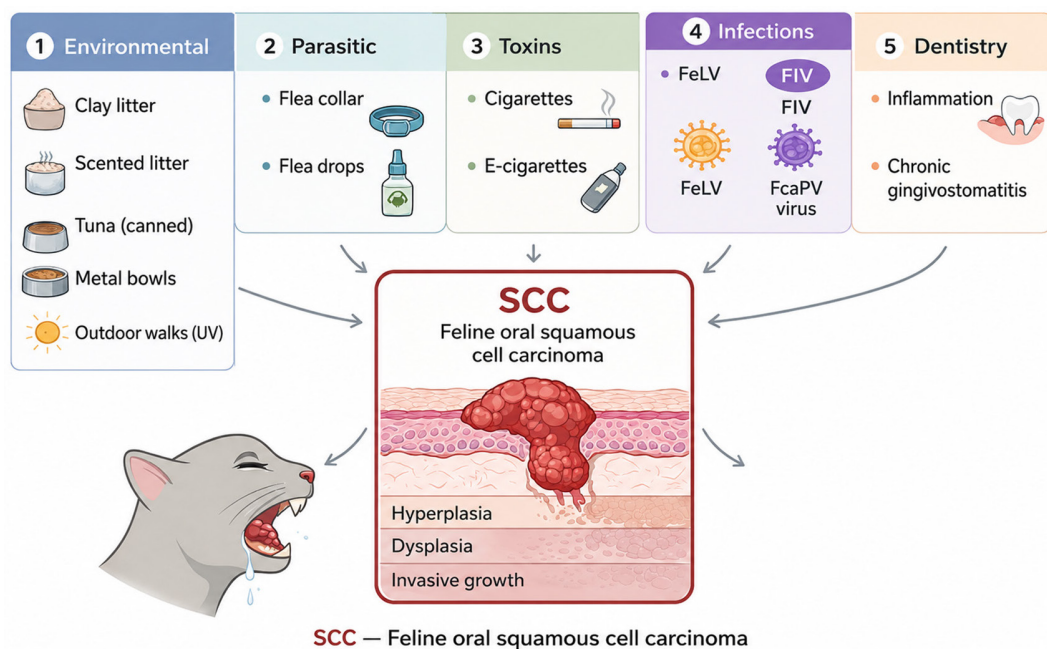


Fig. 1. Etiology of oral squamous cell carcinoma in cats

Source: compiled by N.A. Akopyan, V.N. Baymatov in the biorender program (<https://app.biorender.com>).

Feline calicivirus 2-го типа является преобладающим типом вируса, обнаруживаемым в поражениях плоскоклеточным раком кожи. Тем не менее, в некоторых случаях были выявлены ДНК FcaPV3, FcaPV4 и FcaPV6 [23–26]. Хронические воспалительные процессы в полости рта, такие как пародонтит и хронический гингивостоматит кошек, представляют собой значимые патологические состояния, которые могут оказывать влияние на канцерогенез. Несмотря на отсутствие прямых исследований, подтверждающих этиологическую связь между хроническими заболеваниями полости рта и развитием ПКРПР, существует ряд гипотез, предполагающих потенциальное участие хронического воспаления в патогенезе онкологических заболеваний данной локализации [27–29].

Инфекционные факторы — инфицирование папилломавирусами кошек (FcaPV) обнаружено примерно у 16 % кошек с плоскоклеточным раком полости рта у кошек, и вирусная ДНК часто интегрируется в геном опухолевых клеток [4, 5]. На молекулярном уровне причиной ПКР полости рта у кошек являются мутации гена-супрессора опухолей **TP53**, а также активация онкогенных сигнальных путей, включая **COX-2**, **STAT3**, **EGFR** и **VEGF**. Это связано с агрессивным поведением опухоли [3].

В контексте онкологических заболеваний полости рта у кошек плоскоклеточная карцинома составляет значительную долю среди всех оральных опухолей, варьируясь в пределах 46...61 %. Что касается кожных новообразований, ПКР у кошек также занимает существенную позицию, составляя примерно 15 % от об-

щего числа опухолей кожи, что подтверждается актуальными исследованиями в данной области [19, 20]. Плоскоклеточный ороговевающий рак является одной из наиболее распространенных злокачественных опухолей ротовой полости у кошек, преимущественно поражая десны (как верхней, так и нижней челюсти), подъязычную область и язык [17, 21, 24]. Эти новообразования демонстрируют значительную предрасположенность к локализации в определенных анатомических зонах: язык чаще всего поражается у молодых кошек, средний возраст которых составляет 11,9 лет, в то время как опухоли десны чаще диагностируются у кошек более старшего возраста, средний возраст которых составляет 13,6 лет. Характерной особенностью плоскоклеточного ороговевающего рака является его высокая степень инвазивности, что сопровождается частым вовлечением костной ткани (остеолизом). В случаях поражения верхней челюсти этот процесс наблюдается в 48 % случаев, а нижней челюсти — в 33 % [24–27]. Важно отметить, что агрессивное поведение опухоли и склонность к остеолизу значительно усложняют процесс лечения и ухудшают прогноз для пациента.

Цель исследования — ретроспективный анализ серии из восьми клинических случаев ПКР у кошек. В рамках исследования детально сопоставлены гистологические характеристики опухолей с клиническим течением заболевания и исходами, а также предложена пилотная модель прогностического индекса для стратификации пациентов по группам риска. Поставлены следующие задачи:

1. Провести комплексный анализ клинических и морфологических характеристик восьми случаев ПКР у кошек.
2. Провести сравнительный анализ полученных данных с литературными источниками, охватывающими современные исследования в данной области.
3. Разработать и валидировать простой морфологический прогностический индекс для оценки рисков.
4. Создать алгоритм и математическую модель для прогнозирования выживаемости пациентов на основе морфологических критериев.

Материалы и методы исследования

В ретроспективное исследование включены 8 кошек с гистологически подтвержденным диагнозом ПКР, которым в период с 2018 по 2024 г. проводилось лечение. Методологический подход исследования включал систематизацию эмпирических данных с их интеграцией в теоретическую базу, что позволило не только описать текущее состояние проблемы, но и предложить новые решения для клинической практики.

Обследованы как первичные кожные формы опухоли, так и новообразования полости рта и челюстно-лицевой области. Локализация плоскоклеточной карциномы:

Челюсть и полость рта — четыре пациента. Губы — два пациента. Ушные раковины — один пациент. Кожа нижней челюсти — один пациент. Методы лечения и диагностики пациентов приведены в табл. 3.

Дифференциальные характеристики орального и кожного ПКР в аспекте клинического течения и прогностических факторов включают в анализе:

1. Локализованную агрессивность

ПКР слизистой оболочки органов полости рта (СОПР) характеризуется выраженной агрессивностью и способностью к инфильтративному росту. Опухоли данного типа быстро проникают в окружающие ткани, включая мышечные структуры, челюстную кость и подъязычную область. На момент диагностики значительная часть случаев уже демонстрирует признаки костной деструкции, что существенно влияет на исход заболевания. Высокая степень инвазивности является ключевым фактором, определяющим неблагоприятный прогноз для пациентов с ПКР СОПР.

Кожный плоскоклеточный рак (кПКР), как правило, развивается на фоне актинических повреждений, вызванных ультрафиолетовым излучением. В отличие от орального рака, его локальный рост является менее агрессивным. Опухоли чаще всего представляют собой поверхностные или язвенные поражения, локализующиеся на носу, веках и ушах. Инвазивный процесс в подлежащие ткани протекает медленнее, что позволяет владельцам животных дольше наблюдать за патологией и обратиться за медицинской помощью на более ранней стадии.

2. Метастатический потенциал

Метастатическое поражение при ПКР СОПР встречается относительно редко на ранних стадиях заболевания. Однако при увеличении размеров опухоли и наличии костной инвазии риск развития метастазов возрастает. При аутопсии метастатические очаги обнаруживаются значительно чаще, чем при клиническом обследовании, что подчеркивает необходимость более тщательного мониторинга пациентов. КПКР характеризуется низким метастатическим потенциалом. Даже при длительном течении заболевания, опухоль, как правило, ограничивается локальными проявлениями. Региональные лимфатические узлы и легкие поражаются значительно реже, чем при оральных формах рака.

3. Клиническое течение

Одной из ключевых особенностей ПКР СОПР является его скрытое расположение, что затрудняет раннюю диагностику.

КПКР, напротив, чаще всего обнаруживается на ранних стадиях, так как его локализация позволяет владельцам животных своевременно заметить патологические изменения. Начальные проявления могут включать образование корок, язв или не заживающих ранок. Несмотря на медленный рост опухоли, владельцы часто обращаются за медицинской помощью на поздних стадиях, что, однако, не исключает возможности успешного лечения при своевременной диагностике.

Проблема поздней диагностики и низкой выживаемости при оральном плоскоклеточном раке у кошек представляет собой актуальную и значимую проблему в ветеринарной онкологии. ПКР СОПР относится к числу наиболее агрессивных и прогностически неблагоприятных опухолей мелких домашних животных.

Критерии включения в исследование предусматривали использование следующих методологических подходов:

1. Установление подтвержденного гистологического диагноза инвазивной плоскоклеточной карциномы, что обеспечивало верификацию опухолевого процесса на клеточном уровне с применением стандартных гистопатологических методов.

2. Сбор полной клинической информации, включающей локализацию опухолевого очага, результаты визуализирующих методов диагностики, таких как рентгенография, компьютерная томография (КТ) и ультразвуковое исследование (УЗИ), а также общие лабораторные анализы крови, что позволяло комплексно оценить состояние пациента и характеристики опухолевого процесса.

3. Предоставление макрофотографий пораженной области или данных диагностических исследований, что способствовало объективному анализу морфологических изменений и верификации диагноза.

4. Проведение хотя бы одной процедуры биопсии или пан-биоптата, что обеспечивало получение репрезентативного материала для гистологического и молекулярно-генетического анализа, позволяя детально изучить биологические характеристики опухоли и выбрать оптимальную тактику лечения.

Анализировали истории болезни, протоколы гистологических и цитологических исследований, данные визуальной диагностики (рентгенография, УЗИ). Гистологический и цитологический анализ. Гистологическую оценку проводили по стандартным протоколам после фиксации в 10% нейтральном забуференном формалине и проводки с заливкой в парафин. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином. Оценивали следующие параметры:

- Степень дифференцировки (высокая, умеренная, низкая).
- Тип ороговения (ороговевающий / неороговевающий).
- Выраженность анизоцитоза и анизокариоза (умеренная, выраженная).
- Митотический индекс (количество митозов в 10 полях зрения при увеличении $\times 400$).

- Наличие инвазии в костную ткань, мышцы, хрящ.
- Наличие десмопластической стромы.
- Наличие гигантских клеток, кератиновых «жемчужин», некрозов.

Для каждого пациента были собраны следующие данные:

- возраст, порода, пол;
- локализация опухолевого очага;
- результаты компьютерной томографии, рентгенографии, ультразвукового исследования;

- показатели общего клинического и биохимического анализа крови;
- гистологические параметры.

Морфологическая оценка проводилась в соответствии с общепринятыми стандартами ветеринарной онкоморфологии, включая количественный анализ митозов на площади поля зрения $\times 400$ или пересчет на площадь 2,37 мм², классификацию типов ороговения, оценку выраженности клеточного и ядерного полиморфизма.

Клинические характеристики. Мы проанализировали группу из восьми кошек, характеризующихся параметрами:

- возрастной диапазон: от шести до шестнадцати лет, с медианой в одиннадцать лет;
- породная принадлежность: мейн-куны ($n = 2$), домашние короткошерстные ($n = 5$), а также ($n = 1$) кошка со смешанным происхождением (табл. 1).

Таблица 1

Клинические характеристики 8 клинических случаев

№	Имя / возраст, пол, порода	Локализация	Гистология	B	L	D	Краткие морфологические особенности	Расчет PI
1	Баюн, 14 л., ♂ Мейн-кун	Нижняя челюсть	Низкодифференцированный, неороговевающий тип опухоли	1	1	0	Выраженный атипизм, гигантские клетки, митозы 0–1	3.7
2	Пабло, 11 л., ♂ Мейн-кун	Верхняя губа	Низкодифференцированный	0	?	1?	Крупные клетки, массивные гнезда	3.9
3	Пуша, 6 л., ♀ Метис	Ушные раковины	Ороговевающий плоскоклеточный рак (ПКР)	0	0	0	Кератиновые жемчужины, умеренный атипизм	1.1
4	Бася, 13 л., ♀ Мейн-кун	Нижняя челюсть	Умеренно дифференцированный ПКР	1	↑	0	Десмоплазия, костная инвазия	3.2
5	Михаил, 8 л., ♂ метис	Кожа/рот	Злокачественная опухоль с инвазивным ростом	0/1	0	0	Интраэпителиальные гнезда, выраженный атипизм	2.7
6	Чернослив, 12 л., ♂ Метис	Нижняя губа слева	Инвазивный тип опухоли ПКР	1	↑	0	Выраженный анизокариоз, орогование, кератиновые комплексы	2.4
7	Уолтер, 10 л., ♂ Сфинкс	Челюсть	Неороговевающий ПКР	1	1	0	Массивные опухолевые пласты	3.5
8	Лия, 16 л., ♀ Британская короткошерстная	Нижняя челюсть, кожа	Умеренно дифференцированный ПКР характеризуется частичным сохранением плоскоклеточной дифференцировки	0	0	0	Воспаление + клеточная атипия и инвазивным ростом	1.7

Примечание. B (Bone invasion — костная инвазия): 0 — нет, 1 — да; L (Lymph node involvement — поражение лимфоузлов): 0 — нет, 1 — да; D (Differentiation — дифференцировка): 0 — умеренная/высокая + орогование, 1 — низкая/неороговевающая; PI — прогностический индекс.

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

Table 1

Clinical characteristics of 8 clinical cases

No.	Name / age, sex, breed	Location	Histology	B	L	D	Brief morphological features	Calculated PI
1	Bayun, 14 years, ♂, Maine Coon	Mandible	Poorly differentiated, non-keratinizing tumor type	1	1	0	Marked atypia, giant cells, mitoses 0–1	3.7
2	Pablo, 11 years, ♂, Maine Coon	Upper lip	Poorly differentiated	0	?	1?	Large cells, massive nests	3.9

Ending tabl. 1

No.	Name / age, sex, breed	Location	Histology	B	L	D	Brief morphological features	Calculated PI
3	Pusha, 6 years, ♀, Mixed-breed cat	Auricles	Keratinizing squamous cell carcinoma (SCC)	0	0	0	Keratin pearls, moderate atypia	1.1
4	Basya, 13 years, ♀, Maine Coon	Mandible	Moderately differentiated squamous cell carcinoma	1	↑	0	Desmoplasia, bone invasion	3.2
5	Mikhail, 8 years, ♂, mixed-breed cat	Skin / oral cavity	Malignant tumor with invasive growth	0/1	0	0	Intraepithelial nests, marked atypia	2.7
6	Chernosliv, 12 years, ♂, mixed-breed cat	Left lower lip	Invasive type of squamous cell carcinoma (SCC)	1	↑	0	Marked anisokaryosis, keratinization, keratin complexes	2.4
7	Walter, 10 years, ♂, Sphynx	Jaw	Non-keratinizing squamous cell carcinoma	1	1	0	Massive tumor sheets	3.5
8	Leah, 16 years, ♀, British Shorthair	Mandible, skin	Moderately differentiated SCC characterized by partial preservation of squamous differentiation	0	0	0	Inflammation + cellular atypia and invasive growth	1.7

Note. B – bone invasion: 0 – absent; 1 – present; L – lymph node involvement: 0 – absent; 1 – present; D – differentiation: 0 – moderate/high differentiation with keratinization; 1 – poorly differentiated/non-keratinizing type; PI – prognostic index.

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Для разработки пилотной модели в рамках исследования проанализировали следующие предикторы, как категориальные, так и числовые, полученные из гистологических и цитологических данных:

INF (Intensity of Inflammatory Infiltration) — показатель интенсивности воспалительной инфильтрации, классифицируемый по шкале от 0 до 2.

Loc (Location) — параметр локализации патологического процесса, который использовался в качестве стратификационного фактора при анализе, разделяя случаи на оральные и кожные формы.

Прогностический индекс (**Prognostic Index, PI**), а также индекс тяжести опухоли FelineSCC-PI, был определен как линейная комбинация вышеупомянутых признаков.

В рамках исследования для разработки пилотной модели применили формулу для оценки медианы выживаемости, что позволило провести детальный анализ данных и выявить ключевые параметры, влияющие на прогноз выживаемости пациентов.

Для ПКР СОПР медиана выживаемости может быть определена на основе средних показателей, полученных в результате крупных эпидемиологических исследований. В данном контексте предлагается использовать формулу как экспоненциальную зависимость, которая позволяет адекватно моделировать динамику выживаемости пациентов:

$$T_{\text{med}} = T_0 \cdot e^{-\beta \cdot \text{PI}},$$

где T_{med} — прогнозируемая медиана выживаемости, дни; T_0 — базовая медиана выживаемости для выбранной формы ПКР, дни; e — основание натурального логарифма, математическая константа, примерно **2,718**; β — коэффициент масштабирования, отражающий силу влияния прогностического индекса на снижение выживаемости; в данной модели может приниматься в диапазоне **0,2...0,3**, чтобы по группе пациентов модель в среднем воспроизводила реальные MST; PI — прогностический индекс, интегральный показатель морфологического риска опухоли, рассчитанный на основе клинических и морфологических признаков.

Для ПКР СОПР (среднее значение по результатам крупных исследований) 60 дней, например, и $T_0 = 700$ дней для кожного ПКР головы (среднее между 530 и 800 днями).

Интерпретация результатов оценки медианы выживаемости может быть представлена следующим образом:

- $\text{PI} \leq 1,5$ → прогноз относительно благоприятный, T_{med} близок к базовому T_0 ;
- $\text{PI} = 1,6...3,0$ → промежуточный риск (умеренно агрессивные опухоли);
- $\text{PI} > 3,0$ → высокий риск, ожидаемое T_{med} значительно ниже T_0 .

Для анализа взаимосвязи между индексом пролиферации PI и прогнозируемой медианой выживаемости применили две регрессионные модели: линейную и экспоненциальную. Этот методологический подход позволил всесторонне оценить как равномерные, так и ускоренные изменения риска, ассоциированные с увеличением пролиферативной активности. Индекс пролиферации PI определяется как суммарный морфологический балл, что является интегральным показателем, отражающим степень клеточной пролиферации в исследуемой ткани. Формула индекса PI с учетом суммарного морфологического балла:

$$\text{RawScore} = G + \text{MI} + \text{I} + \text{P} + \text{R} + \text{B} \text{ (диапазон: } 0...9),$$

где G — степень дифференцировки опухоли (grade); MI — митотический индекс; I — паттерн инвазии (invasion pattern); P — периневральная и/или лимфо-васкулярная инвазия; R — статус краев резекции (resection margins); B — костная инвазия (bone invasion).

Прогностический индекс PI в условной шкале 1–4:

$$\text{PI} = 1 + 3 \times (\text{RawScore} / 9);$$

$$\text{RawScore} = 0 \rightarrow \text{PI} = 1,0;$$

$$\text{RawScore} = 9 \rightarrow \text{PI} = 4,0,$$

где RawScore — сумма баллов по шести морфологическим параметрам (G, MI, I, P, R, B; диапазон 0–9). Таким образом, PI принимает значения от 1 (наиболее

благоприятный профиль) до 4 (максимально неблагоприятный морфологический профиль).

Расчет прогностического индекса PI. На основе ключевых прогностически значимых признаков, описанных в литературе и наблюдаемых в нашей выборке, эмпирически разработан PI. Индекс рассчитывали как сумму баллов (B, L, D) с учетом морфологических и клинических предикторов для расчета прогноза (табл. 2):

Пациенты распределялись по группам риска, где PI — показатель, по которому пациенты распределяются на группы риска (выживаемости): **PI ≤ 1,5** — относительно благоприятный прогноз, **PI 1,6...3,0** — промежуточный риск, **PI > 3,0** — высокий риск гибели.

Статистический анализ. Ввиду малого размера выборки применялись методы описательной статистики. Медиану выживаемости оценивали на основе известных исходов и данных литературы.

Методы моделирования прогноза. Для каждого пациента прогнозируемый период выживаемости определяли с учетом следующих факторов:

- 1) уровень PI (как количественный показатель пролиферации);
- 2) степень дифференцировки опухоли;
- 3) наличие ороговения / неороговения;
- 4) признаки костной инвазии или десмоплазии;
- 5) локализация опухоли (нижняя челюсть, верхняя губа, кожа и др.).

Морфологические показатели индекса по стандартному H&E приведены в табл. 2.

Таблица 2

Морфологические и клинические показатели для прогнозирования исхода с учетом международных ветеринарных стандартов (VCOG/WHO)

№	Обозначение	Параметр	Тип	Шкала / описание
1	G	Степень дифференцировки	Категориальный (3 уров.)	1 — хорошо дифференцированный (выраженное ороговение)
2	K	Степень ороговения	Категориальный (3 уров.)	0 — выраженное ороговение (множество кератиновых «жемчужин») 1 — частичное ороговение 2 — отсутствие ороговения
3	MI	Митотический индекс	Количественный	Число митозов на 2,37 мм ² (эквивалентно 10 полям зрения ×400; точный метод подсчета указать в разделе «Методы»)
4	NA	Ядерный атипизм	Категориальный (3 уров.)	0 — легкий (минимальный анизокариоз) 1 — умеренный 2 — выраженный (крупные гиперхромные ядра, мультинуклеарность, многочисленные патологические митозы)

Окончание табл. 2

№	Обозначение	Параметр	Тип	Шкала / описание
5	B	Костная инвазия	Бинарный	0 – нет
				1 – есть (разрушение костных трабекул, остеолиз)
6	L	Метастазы в регионарные лимфоузлы	Бинарный	0 – нет
				1 – подтверждены гистологически
7	D	Отдаленные метастазы (легкие и др.)	Бинарный	0 – нет
				1 – есть
8	INF	Интенсивность воспалительной инфильтрации	Категориальный (3 уров.)	0–2 – градации выраженности воспалительной инфильтрации (0 – отсутствует/минимальная; 1 – умеренная; 2 – выраженная)
9	Loc	Локализация опухоли	Категориальный	Оральная / кожная (может использоваться для стратификации в анализе)
10	PI	Прогностический индекс	Интегральный, числовой	Рассчитывается на основе выбранных предикторов (морфологический прогностический индекс)

Примечание. Прогностический индекс (PI) рассчитывали как сумму баллов клинических и морфологических факторов: Т-категория (0–3), статус регионарных лимфоузлов (0–2), наличие отдаленных метастазов (0–3), степень дифференцировки (0–2), митотический индекс (0–2), некроз (0–2), костная инвазия (0–3). Пациентов стратифицировали на 4 группы риска по суммарному PI: 0–4 (низкий), 5–8 (средний), 9–12 (высокий), ≥13 (очень высокий).

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматов.

Table 2

Morphologic and clinical predictors used for prognostic modelling
in feline squamous cell carcinoma

No.	Abbreviation	Parameter	Type	Scale / description
1	G	Degree of differentiation	Categorical (3 levels)	1 – well differentiated (marked keratinization); 2 – moderately differentiated; 3 – poorly differentiated / non-keratinizing
2	K	Degree of keratinization	Categorical (3 levels)	0 – marked keratinization (numerous keratin «pearls»); 1 – partial keratinization; 2 – no keratinization
3	MI	Mitotic index	Quantitative	Number of mitoses per 2.37 mm ² (equivalent to 10 high-power fields at ×400; the exact counting method is specified in the Methods section)
4	NA	Nuclear atypia	Categorical (3 levels)	0 – mild (minimal anisokaryosis); 1 – moderate; 2 – marked (large hyperchromatic nuclei, multinucleation, numerous atypical mitoses)
5	B	Bone invasion	Binary	0 – absent; 1 – present (destruction of bone trabeculae, osteolysis)
6	L	Metastases in regional lymph nodes	Binary	0 – absent; 1 – histologically confirmed

Ending tabl. 2

No.	Abbreviation	Parameter	Type	Scale / description
7	D	Distant metastases (lungs, other)	Binary	0 – absent; 1 – present
8	INF	Intensity of inflammatory infiltrate	Categorical (3 levels)	0–2 – grades of inflammatory infiltrate: 0 – absent/minimal; 1 – moderate; 2 – marked
9	Loc	Tumour location	Categorical	Oral vs cutaneous (may be used for stratification in the analysis)
10	PI	Prognostic index	Integral, numerical	Calculated from the selected predictors (morphologic prognostic index)

Note. The prognostic index (PI) was calculated as the sum of the scores of clinical and morphological factors: T-category (0–3), status of regional lymph nodes (0–2), presence of distant metastases (0–3), degree of differentiation (0–2), mitotic index (0–2), necrosis (0–2), bone invasion (0–3). Animals were stratified into 4 risk groups according to total PI: 0–4 (low), 5–8 (medium), 9–12 (high), ≥ 13 (very high).

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Анализ статистических данных включал:

- вычисление ключевых дескриптивных показателей, таких как медиана и диапазон;
- оценку выживаемости с использованием метода Каплана — Мейера (при наличии точных дат);
- разработку экспериментального прогностического индекса, основанного на предварительных данных, без применения формальной регрессионной модели. Данная методология представляет собой пилотную модель для дальнейшего исследования.

Результаты исследования и обсуждение

В рамках данного исследования была задействована выборка животных, которая, несмотря на свою ограниченность, предоставляет ценные предварительные данные для дальнейших исследований. Полученные результаты демонстрируют потенциал предложенной пилотной модели в контексте анализа различных клинических сценариев у пациентов с учетом их митотического индекса и характеристик пути метастазирования. Эти данные служат важным фундаментом для разработки более обширных и детализированных исследований, направленных на оптимизацию терапевтических стратегий и повышение эффективности лечения.

Одной из ключевых причин низкой выживаемости является крайне поздняя диагностика, что подтверждается большинством современных клинических и эпидемиологических исследований.

Анатомическая «скрытость» опухоли и позднее выявление. Ранние стадии ПКР СОПР, как правило, протекают малозаметно. Опухоль развивается в труд-

нодоступных зонах — подъязычной области, корня языка, подъязычной кости, слизистой щек или десен.

На начальных этапах новообразование может выглядеть как небольшое воспалительное уплотнение или эрозия, которую владельцы и даже первичные ветеринарные специалисты могут ошибочно интерпретировать как стоматит, травму или пародонтит.

Быстрое локальное распространение и невозможность радикального хирургического вмешательства. К моменту обнаружения заболевания у большинства кошек наблюдаются следующие клинические проявления: инвазивный рост опухоли в нижней или верхней челюсти, деструкция костной ткани, поражение мягких тканей ротоглотки, осложнения, проявляющиеся в виде вторичной дисфагии и болевого синдрома.

Высокая степень агрессивности опухолевого процесса делает невозможным полное хирургическое удаление новообразования без существенной утраты функциональных возможностей. Радикальные хирургические вмешательства, такие как частичная или полная мандибулэктомия, могут быть проведены только на ранних стадиях заболевания, которые встречаются крайне редко. Несмотря на наличие структурного распределения клинических различий, стандартизированные системы гистопатологической оценки и прогнозирования для ПКР у кошек остаются недостаточно разработанными. В то время как у людей и частично у собак такие параметры, как степень дифференцировки опухолевых клеток, митотический индекс, наличие периневральной инвазии и инфильтрация краев резекции, демонстрируют устойчивую корреляцию с прогнозом заболевания, для кошек соответствующие данные остаются фрагментарными и разрозненными.

Морфологические характеристики пациентов включали наличие костной инвазии и метастазирования. Результаты комплексной визуальной диагностики у восьми пациентов демонстрируют следующие патоморфологические изменения:

1. Костная инвазия выявлена у четырех пациентов (Баюн, Бася, Уолтер и Чернослив). Это свидетельствует о метастатическом распространении опухолевого процесса в костные структуры, что подтверждается характерными рентгенологическими признаками.

2. Увеличение регионарных лимфатических узлов обнаружено у трех пациентов, что указывает на наличие лимфогенного метастазирования и является важным диагностическим критерием для оценки стадии заболевания.

3. Подозрение на метастазы в легочную ткань. У одного из пациентов, идентифицированного как Пабло, было зафиксировано подозрение на наличие метастатического поражения легочной ткани. Для верификации данного диагноза были предприняты дополнительные инструментальные и лабораторные исследования, включающие рентгенографию грудной клетки, КТ легких, а также проведение биохимических анализов крови.

4. Множественные ороговевающие очаги на коже без костной инвазии обнаружены у одного пациента (Пуша). Эти изменения могут быть интерпретированы как проявления кожной метастазии, однако отсутствие костной деструкции требует дальнейшего уточнения диагноза.

Таким образом, результаты визуальной диагностики позволяют сделать предварительные выводы о характере и распространенности опухолевого процесса у данных пациентов, что имеет важное значение для выбора оптимальной тактики лечения.

Костная инвазия и метастазирование. В нашей серии из 8 кошек с плоскоклеточным раком костную инвазию выявили у 5 животных (62,5 %), преимущественно при оральной локализации с поражением нижней челюсти и челюстной кости. Для кожных и преимущественно кожных форм (ушная раковина, кожа/рот) вовлечение костной ткани не отмечалось. По данным доступного клинического обследования и визуализационных методов регионарные метастазы в лимфатические узлы и отдаленные метастазы в легкие регистрировались редко и носили единичный характер, что согласуется с описанной в литературе относительно низкой метастатической активностью кошачьего плоскоклеточного рака по сравнению с выраженной локальной инвазией.

Степень дифференцировки и ороговение. По степени дифференцировки преобладали низко- и умеренно дифференцированные опухоли: $G = 2$ (низкодифференцированный рак) диагностирован у 4 из 8 кошек (50,0 %), $G = 1$ (умеренная дифференцировка) — у 3 животных (37,5 %), в то время как хорошо дифференцированный вариант ($G = 0$) отмечен лишь в одном случае (12,5 %) ороговевающего ушного ПКР. Четко ороговевающий тип роста с формированием кератиновых «жемчужин» и выраженным ороговением опухолевых гнезд выявлен у 2 пациентов (ушные раковины и инвазивный ПКР нижней губы с ороговением), тогда как остальные опухоли представляли собой неороговевающий или смешанный вариант со значительно менее выраженной кератинизацией.

Митотический индекс. В исследуемой группе митотический индекс варьировал в пределах низких и умеренных значений. По принятой шкале оценки (0 баллов — ≤ 3 митоза/10 полей зрения при $\times 400$; 1 балл — $4 \dots 7$ митозов/10 полей; 2 балла — ≥ 8 митозов/10 полей) большинство опухолей (6/8) имели $MI = 1$, что отражает умеренную пролиферативную активность. В двух случаях (ороговевающий ушной ПКР и умеренно дифференцированный очаг с единичными атипичными клетками) зарегистрирован низкий митотический индекс ($MI = 0$). Опухолей с высоким уровнем митозов ($MI = 2$, ≥ 8 митозов/10 полей зрения) в данной серии не выявлено. При осмотре выявлена язвенно-инфильтративная опухоль на коже ушной раковины с нечеткими контурами и признаками воспаления, склонная к кровоточивости.

Необходимо измерить и оценить подвижность увеличенного околушного лимфоузла. Для доступа к опухоли выполнен разрез кожи ушной раковины.

Данные визуальной диагностики и гистологии. У 4 пациентов (Баюн, Бася, Уолтер, Чернослив) выявлена костная инвазия. У 3 особей (Баюн, Уолтер, Бася) — подтвержденное метастатическое поражение регионарных лимфоузлов. У 1 пациента (Пабло) при рентгенографии обнаружены округлые затенения в легких диаметром до 2 см, интерпретированные как подозрение на метастазы. У 1 кошки (Пуша) выявлены множественные ороговевающие очаги на ушных раковинах без признаков костной инвазии.

Морфологический анализ. Обнаружен выраженный анизоцитоз /анизокариоз у всех животных. Ороговение в виде кератиновых жемчужин наблюдалось у Пуши (рис. 2) и Чернослива. Неороговевающая форма диагностирована у Баюна, Уолтера, Баси. Митозы варьировали от 0 до 3 на поле зрения $\times 400$. Явная десмоплазия отмечена у челюстных опухолей. Гигантские клетки присутствовали в образцах Баюна и Чернослива. Некрозы и воспалительный фон зафиксированы у 5 пациентов. ПКР представляет собой злокачественное новообразование, характеризующееся локально-инвазивным ростом и деструкцией подлежащих тканей. В случае выявления регионарных или отдаленных метастазов прогноз заболевания значительно ухудшается. В рамках нашего исследования было гистологически подтверждено наличие деструкции подлежащей костной ткани у четырех пациентов из выборки (Баюн, Бася, Уолтер, Чернослив), что свидетельствует о высокой агрессивности опухолевого процесса и его склонности к инвазивному росту. Хотя частота метастазирования для FOSCC в целом считается умеренной (по сравнению с некоторыми другими саркомами ротовой полости), при наличии метастазов в регионарные лимфатические узлы (что наблюдалось у Баюна, Баси, Уолтера) или легкие (подозрение у Пабло) прогноз резко ухудшается. Выявленная у наших пациентов десмоплазия (реактивное образование плотной фиброзной стромы) является гистологическим маркером инвазивного роста и также ассоциирована с неблагоприятным прогнозом. В классической картине РПК типа наблюдается сложное морфологическое строение, включающее формирование гнезд и трабекул опухолевых клеток, которые часто демонстрируют характерные признаки кератинизации, проявляющиеся в виде кератиновых «жемчужин».

Эти структуры окружены десмопластической стромой, что создает уникальную микроскопическую архитектуру, типичную для данного типа новообразований.



Рис. 2. Варианты кожных новообразований, ПКР у кошек: а — новообразование ушной раковины справа, кошка Пуша 6 лет; б — плоскоклеточная карцинома полости рта, кошка Лия, 16 лет — клиническая картина. Язвенное и инфицированное поражение нижней челюсти

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

Fig. 2. Variants of skin neoplasms, SCC in cats: а — Neoplasm of the right auricle, 6-year-old cat Pusha; б — Squamous cell carcinoma of the oral cavity, 16-year-old cat Leah — clinical presentation. Ulcerative and infected lesion of the lower jaw

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Результаты гистологического анализа демонстрируют следующие патоморфологические особенности: выраженный анизоцитоз и анизокариоз у всех восьми исследованных животных, что свидетельствует о значительных нарушениях клеточной морфологии и пролиферативной активности. В образцах как правило наблюдается атипизм — гнезда и трабекулы опухолевых плоских клеток, нередко с кератиновыми «жемчужинами», окруженные десмопластической стромой.

Гистологические описания наших пациентов, такие как выраженный атипизм, крупные гиперхромные ядра и массивные опухолевые пласты (случаи Баюна, Пабло, Уолтера), являются морфологическим отражением этих глубоких молекулярных нарушений в клетках.

1. Ороговение эпителиальных структур в виде кератиновых жемчужин выявлено у двух особей: Пуши и Чернслива, что характерно для дифференцированных форм плоскоклеточной метаплазии.

2. Неороговевающая форма клеточного роста зарегистрирована у трех животных: Баюна, Уолтера и Баси, что указывает на менее дифференцированное состояние эпителиальных клеток и склонность к более агрессивной пролиферации.

3. Митотическая активность варьировала в диапазоне от 0 до 3 митозов на поле зрения при увеличении $\times 400$, что свидетельствует о низкой пролиферативной интенсивности опухолевых клеток у большинства пациентов.

4. Явная десмоплазия, характеризующаяся выраженной продукцией экстрацеллюлярного матрикса и образованием межклеточных мостиков, наблюдалась в опухолях челюстных структур, что указывает на наличие выраженных соединительнотканых изменений.

5. Гигантские многоядерные клетки обнаружены у двух животных: Баюна и Чернслива, что может быть связано с некробиотическими процессами и репаративной реакцией опухолевой ткани.

6. Некротические изменения и выраженный воспалительный инфильтрат обнаружены у пяти пациентов, что свидетельствует о наличии деструктивных процессов и иммунной реакции организма на опухолевые клетки.

Таким образом, гистологический анализ выявил комплексный спектр патоморфологических изменений, характеризующих различные стадии и формы опухолевого процесса у исследованных животных.

Этиология ПКР у кошек представляет собой сложную и многофакторную проблему. Патогенез оральной формы ПКР существенно отличается от кПКР. Эти различия обусловлены уникальными биологическими и молекулярно-генетическими механизмами, которые требуют детального изучения для разработки эффективных стратегий профилактики и лечения.

Плоскоклеточный рак СОПР: этиология остается до конца не установленной, однако в литературе описаны многочисленные потенциальные факторы риска [2]. В отличие от кожной формы, связь с ультрафиолетовым излучением для орального ПКР не подтверждена. Среди возможных триггеров рассматриваются:

воздействие канцерогенов окружающей среды: эпидемиологические исследования указывают на связь между оральной ПКР и воздействием табачного дыма

(до 35 % кошек с оральной ПКР имели такой контакт), а также использованием противопаразитарных ошейников и диетой, богатой консервами, в частности тунцом [27]. В выборке данного исследования у двух кошек с оральным ПКР (Баюн, 14 л; Пабло, 11 л) была указана порода мейн-кун, что может предполагать генетическую предрасположенность, однако для подтверждения этой гипотезы требуются более масштабные исследования;

хроническое воспаление: персистирующие воспалительные заболевания полости рта, такие как хронический стоматит и пародонтит, рассматриваются как один из ключевых ко-факторов. Хроническое воспаление приводит к постоянной клеточной пролиферации, оксидативному стрессу и высвобождению провоспалительных цитокинов, что способствует накоплению генетических повреждений. В данном исследовании у кошки Михаил (8 лет) гистологически был выявлен «лимфоплазмоцитарный и нейтрофильный дерматит», а в заключении указана сложность дифференциальной диагностики на фоне выраженного воспаления, что иллюстрирует потенциальную роль воспалительного фона в онкогенезе;

Кожный плоскоклеточный рак (кПКР): в отличие от оральной формы, этиология хорошо установлена. Основной причиной является хроническое воздействие ультрафиолетового излучения типа В (УФ-В): патогенез заболевания тесно связан с кумулятивным эффектом УФ-В излучения, исходящего от солнечного света [28]. Указанная этиологическая связь подтверждается характерной локализацией опухолей, которая преимущественно наблюдается на слабопигментированных и малооволосенных участках кожи, не защищенных шерстяным покровом: ушные раковины, веки и нос. В рамках нашей исследовательской выборки наглядным примером солнечно-индуцированного плоскоклеточного рака кожи у кошек является случай кошки по кличке Пуша, возраст которой составляет 6 лет (см. рис. 2). Следует подчеркнуть, что гистологическое заключение данной кошки указывает на наличие «ороговевающего плоскоклеточного рака» с характерными «кератиновыми жемчужинами», что является классическим морфологическим проявлением более дифференцированных форм опухолей, ассоциированных с ультрафиолетовым излучением.

Породная и фенотипическая предрасположенность: в группе риска находятся белые и светлые кошки. В нашем исследовании фенотип кошки по кличке Пуша и локализация опухоли красноречиво свидетельствуют в пользу ведущей роли инсоляции.

Гистоморфологические параметры включали оценку следующих характеристик: гистологическую локализацию опухолевого очага, его размеры в миллиметрах, глубину инвазии, измеренную относительно гранулезного и базального слоев эпидермиса, что позволило определить патологическую Т-стадию (pT) в соответствии с актуальной 8-й редакцией классификации TNM UICC для новообразований полости рта и кожи. Также была измерена толщина опухолевого образования, оценено наличие изъязвлений, некротических изменений, инфильтрации мышечной ткани, слюнных желез и костной структуры. Важным аспектом анализа являлось определение соотношения опухолевой и стромальной ткани

в процентном выражении, а также выявление инвазии лимфатических и венозных сосудов, внутри- и перитуморальной перинеуральной инвазии. Дополнительно оценивались митотическая активность на площади 2 мм² и эозинофилия на той же площади. В завершение исследования учитывалось наличие солнечного эластоза (накопление патологически измененного эластина в дермальном слое кожи и конъюнктиве глаза) и сателлитных опухолевых узлов, расположенных на расстоянии не менее 1 мм от первичного опухолевого очага.

Ожидаемая медиана выживаемости. Для кожных форм заболевания медиана выживаемости составляет 400–700 дней. В случае агрессивных оральных форм, при высоком индексе пролиферации (PI), прогноз значительно ухудшается, и медиана выживаемости снижается до 20–60 дней. Значения PI по пациентам (рис. 3) варьировали от 1,1 до 3,9 (медиана 3,0), что отражает широкий спектр морфологической агрессивности опухолей в исследуемой группе. Наиболее низкие значения PI (1,1 и 1,7) отмечены у пациентов с ороговевающим ушным ПКР и умеренно дифференцированным поражением нижней челюсти/кожи, тогда как максимальные значения PI (3,7–3,9) зарегистрированы у кошек с низкодифференцированными неороговевающими оральными опухолями и выраженным инвазивным ростом. Большинство кошек имели показатели PI выше 2,5, что соответствует промежуточному и высокому уровням морфологического риска. Лишь у двух животных индекс находился в зоне низкого риска (PI < 2,0), причем эти случаи характеризовались либо ороговевающим кожным/ушным вариантом опухоли, либо умеренной дифференцировкой при ограниченном инвазивном фронте. В противоположность этому, пациенты с максимальными значениями PI ($\geq 3,5$) имели низкодифференцированные неороговевающие оральные опухоли с выраженным атипизмом и инвазивным ростом, что согласуется с их неблагоприятным клиническим течением. Исследования показывают, что кошки с плоскоклеточным раком ротовой полости (FOSCC) живут в среднем 60–120 дней.

При высоком индексе пролиферации ($> 3,0$) болезнь прогрессирует быстро, и прогноз обычно неблагоприятный — менее 60 дней. При умеренном индексе (2,0–3,0) прогноз составляет 60–120 дней. Низкий индекс ($< 2,0$) дает надежду на более длительное выживание, иногда до 150–200 дней. Важно учитывать локализацию опухоли: рак нижней челюсти обычно имеет худший прогноз. Ороговевающий тип рака немного благоприятнее для пациента. Низкодифференцированные опухоли и костная инвазия значительно ухудшают прогноз выживаемости. Прогностический индекс (PI) и выживаемость. На основании расчета PI (рис. 3) было произведено распределение пациентов по следующим категориям:

1. Низкий статус смертности (PI < 1,5): пациент Пуша (PI = 1,1) демонстрирует кожную форму заболевания, локализованную на ушных раковинах, что указывает на благоприятный прогноз.

2. Средний статус смертности (PI 1,5...3,0): пациенты Чернослив (PI = 2,4) и Лия (PI = 1,7) находятся в промежуточной группе риска, что требует более тщательного мониторинга и возможного применения дополнительных терапевтических мер.

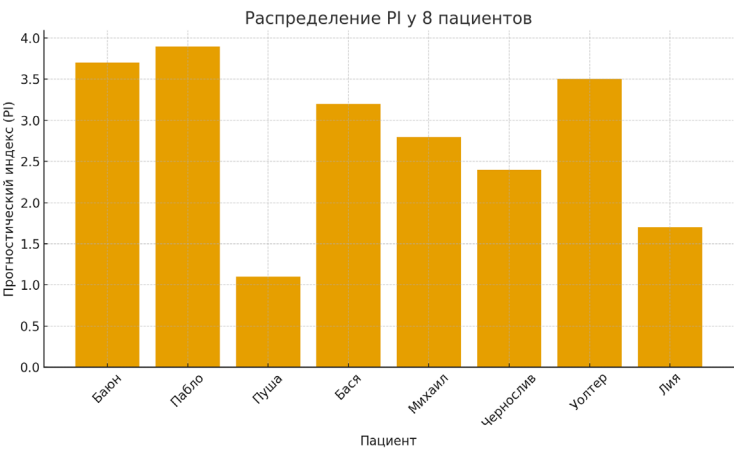


Рис. 3. Распределение значений морфологического прогностического индекса (PI) у восьми кошек с плоскоклеточным раком: по оси X указаны отдельные пациенты, по оси Y – рассчитанный морфологический прогностический индекс PI
Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

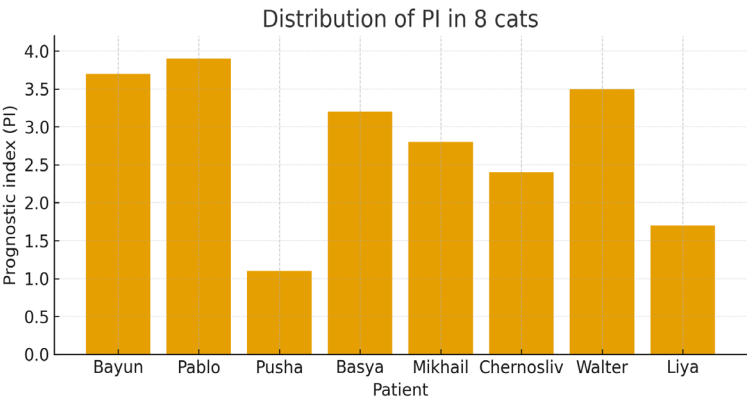


Fig. 3. Distribution of the morphologic prognostic index (PI) in eight cats with squamous cell carcinoma: The X-axis represents individual patients, the Y-axis represents the calculated morphological prognostic index (PI)
Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

3. Высокий статус смертности ($PI > 3,0$): пациенты Баюн ($PI = 3,7$), Бася ($PI = 3,2$), Пабло ($PI = 3,9$), Михаил ($PI = 2,8$) и Уолтер ($PI = 3,5$) имеют высокий риск летального исхода, что требует незамедлительного и интенсивного терапевтического вмешательства.

Медиана выживаемости у кошек с *FOSCC* составляет 44–60 дней, при этом годовая выживаемость находится в диапазоне 5...10 %. Эти показатели отражают высокую агрессивность заболевания и необходимость комплексного подхода к его лечению.

Оральный плоскоклеточный рак с радикальной хирургической интервенцией (мандибулэктомией). Медиана выживаемости при данном подтипе рака колеблется в пределах 3,5–14 месяцев, в отдельных случаях достигая более одного года.

Прогноз для каждого пациента в рамках исследования включал следующие аспекты:

1. **Баюн — PI 3.7.** Пациенту диагностирован низкодифференцированный плоскоклеточный рак (ПКР) с ярко выраженным атипизмом, что указывает на высокую степень злокачественности опухоли и предполагает неблагоприятный прогноз. Ожидаемая медиана выживаемости в данном случае составляет 40–60 дней, что свидетельствует о прогрессирующем характере заболевания и необходимости незамедлительного вмешательства.

2. **Пабло — PI 3.9.** У пациента диагностирован низкодифференцированный плоскоклеточный рак с массивными гнездами опухолевых клеток, что является признаком агрессивного течения заболевания и высокой степени злокачественности. Прогнозируемая медиана выживаемости составляет 35–55 дней, что подчеркивает необходимость интенсивного терапевтического подхода и мультидисциплинарного подхода к лечению.

3. **Пуша — PI 1.1.** Пациентке диагностирован ороговевающий плоскоклеточный рак с умеренным атипизмом, что позволяет рассматривать данный подтип как относительно благоприятный по сравнению с другими формами ПКР. Ожидаемая медиана выживаемости составляет 140–200+ дней, что указывает на более оптимистичный прогноз и возможность применения консервативных методов лечения.

4. **Бася — PI 3.2.** У пациента диагностирован плоскоклеточный рак с умеренной дифференцировкой и костной инвазией, что является индикатором прогрессирования заболевания и существенно снижает шансы на благоприятный исход. Прогнозируемая медиана выживаемости составляет 40–70 дней, что требует незамедлительного начала комплексного лечения, включая химиотерапию и лучевую терапию.

5. **Михаил — PI 2.8.** У пациента диагностирован агрессивный плоскоклеточный рак с выраженным атипизмом, что свидетельствует о высокой злокачественности опухоли и неблагоприятном прогнозе. Ожидаемая медиана выживаемости составляет 70–110 дней, что подчеркивает необходимость применения максимально эффективных терапевтических стратегий, включая таргетную терапию и иммунотерапию.

6. **Чернослив — PI 2.4.** У пациента диагностирован инвазивный плоскоклеточный рак с анизокариозом, что является важным признаком злокачественного течения заболевания и потенциальной агрессивности опухолевого процесса. Прогнозируемая медиана выживаемости составляет 80–130 дней, что требует тщательного мониторинга состояния пациента и разработки индивидуализированного плана лечения.

7. **Уолтер — PI 3.5.** У пациента диагностирован неороговевающий плоскоклеточный рак, который характеризуется агрессивным течением и неблагоприятным прогнозом. Ожидаемая медиана выживаемости составляет 45–70 дней, что диктует необходимость применения комбинированных методов лечения, включая хирургическое вмешательство, химиотерапию и лучевую терапию.

8. **Лия — PI 1.7.** У пациентки диагностирован умеренно дифференцированный плоскоклеточный рак с наличием воспаления, что может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на прогноз заболевания. Прогнозируемая

медиана выживаемости составляет 120–170 дней, что указывает на возможность применения менее агрессивных методов лечения и необходимость регулярного мониторинга состояния пациента.

Интерпретация прогностического индекса и выживаемости пациентов с учетом клинической стадии, диагностических методов и терапевтических подходов (табл. 3) по группе кошек выявила следующее распределение по стадиям заболевания:

- стадия II: 3 кошки (10 %);
- стадия III: 4 кошки (13,3 %);
- стадия I: 1 кошка (3,3 %);
- стадия IV: 0 кошек (0 %).

Анализ выборки показал, что 50 % пациентов находятся на стадии III, что свидетельствует о прогностически неблагоприятном прогнозе для данной подгруппы.

Таблица 3

Интерпретация прогностического индекса и выживаемости у пациентов

№	Имя	Локализация	Клиническая стадия (предп.)	Диагностика	Лечение	Прогноз (медиана OS)	Выживаемость
1	Баюн	Нижняя челюсть	T3N1M0	Осмотр; КТ головы; биопсия с гистологией; ТАБ регионарных ЛУ; рентген/КТ грудной клетки	Частичная мандибулэктомия ± адъювантная лучевая терапия	2–3 мес (60–90 дней)	Костная инвазия. Смерть спустя 20 дней после операции
2	Пабло	Верхняя губа	T2–3NxM0	Осмотр; биопсия; ТАБ ЛУ; КТ головы	Лучевая терапия ± Palladia (тоцераниб)	2–4 мес (60–120 дней)	Смерть спустя 1,5 месяца после терапии
3	Пуша	Ушные раковины	T1N0M0	Осмотр; цитология; биопсия; рентген грудной клетки	Хирургическая ампутиация ушной раковины	6–12 мес (180–360 дней)	Лечение продолжается
4	Бася	Нижняя челюсть	T3N1M0	КТ; гистология; ТАБ ЛУ; КТ грудной клетки	Лучевая терапия + таргетная терапия (тоцераниб)	2–4 мес	Костная инвазия. медиана OS составила 37 дней
5	Михаил	Кожа / ротовая полость	T2N0M0	Биопсия; КТ; ТАБ ЛУ	Хирургия + адъювантная лучевая терапия	3–5 мес	Через 28 дней осуществили эвтаназию.
6	Чернослив	Нижняя губа	T2N1M0	КТ; биопсия; ТАБ ЛУ; оценка инвазии кости	Лучевая терапия	3–4 мес	Костная инвазия. медиана OS составила 4 месяца
7	Уолтер	Челюсть	T3N1M0	Биопсия; КТ; стадирование (ЛУ + грудная клетка)	Лучевая терапия + таргетная терапия	2–3 мес	Костная инвазия. выживаемость составила 42 дней
8	Лия	Нижняя челюсть / кожа	T2N0M0	КТ; гистология; ТАБ ЛУ	Частичная мандибулэктомия	4–6 мес	Лечение продолжается

Примечание. TNM-классификация плоскоклеточного рака (ПКР) ротовой полости у кошек на основе адаптированной ветеринарной системы (VCOG / WHO, применяемой в ветеринарной онкологии).

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

Table 3

Interpretation of the prognostic index and patient survival

N.	Name	Tumor Location	Clinical Stage (presumed)	Diagnostic Workup	Treatment	Prognosis (Median OS)	Outcome
1	Bayun	Mandible	T3N1M0	Physical examination; head CT; incisional biopsy with histopathology; fine-needle aspiration (FNA) of regional lymph nodes; thoracic radiography/CT	Partial mandibulectomy ± adjuvant radiation therapy	2–3 months (60–90 days)	Bone invasion. Death 20 days postoperatively
2	Pablo	Upper lip	T2–3NxM0	Physical examination; biopsy; FNA of lymph nodes; head CT	Radiation therapy ± Palladia (toceranib)	2–4 months (60–120 days)	Death 1.5 months after therapy
3	Pusha	Auricular pinnae	T1N0M0	Physical examination; cytology; biopsy; thoracic radiography	Surgical amputation of the auricle	6–12 months (180–360 days)	Treatment ongoing
4	Basya	Mandible	T3N1M0	CT; histopathology; FNA of lymph nodes; thoracic CT	Radiation therapy + targeted therapy (toceranib)	2–4 months	Bone invasion. Median survival 37 days
5	Mikhail	Skin/oral cavity	T2N0M0	Biopsy; CT; FNA of lymph nodes	Surgery + adjuvant radiation therapy	3–5 months	Death 28 days after surgery
6	Chernosliv	Lower lip	T2N1M0	CT; biopsy; FNA of lymph nodes; assessment of bone invasion	Radiation therapy	3–4 months	Bone invasion. Median survival 4 months
7	Walter	Jaw	T3N1M0	Biopsy; CT; staging (lymph nodes + thoracic imaging)	Radiation therapy + targeted therapy	2–3 months	Bone invasion. Survival 42 days
8	Liya	Mandible/skin	T2N0M0	CT; histopathology; FNA of lymph nodes	Partial mandibulectomy	4–6 months	Treatment ongoing

Note. TNM classification of oral squamous cell carcinoma (SCC) in cats based on the adapted veterinary system (VCOG/WHO) used in veterinary oncology.

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Мандибулэктомия является важным компонентом комплексного лечения, однако результаты зависят от стадии заболевания, степени инвазии и сопутствующих факторов.

Комбинированная терапия лучевой терапией и карбоплатином. Применение комбинированной терапии с использованием лучевой терапии и карбоплатина демонстрирует медиану выживаемости приблизительно 163 дня. Этот метод позволяет значительно улучшить результаты лечения по сравнению с монотерапией.

Терапия ингибиторами тирозинкиназы (TKI). Использование ингибиторов тирозинкиназы значительно увеличивает медиану выживаемости до 145 дней, что существенно превышает показатель в 45 дней при отсутствии применения TKI (данные International Cat Care) [16].

Кожный плоскоклеточный рак головы.

- 1. Поражение только ушных раковин: медиана выживаемости составляет ≈ 799 дней.
- 2. Поражение только носового планума: медиана выживаемости составляет ≈ 675 дней.
- 3. Поражение обоих анатомических областей: медиана выживаемости ≈ 530 дней.

Эти данные подчеркивают важность локализации опухоли и необходимости индивидуального подхода к лечению пациентов с кожным плоскоклеточным раком головы.

Основные клиничко-патоморфологические характеристики восьми кошек с ПКР и рассчитанные значения морфологического PI приведены в табл. 4. Для каждого пациента указаны локализация опухоли, гистологический вариант, баллы по шести морфологическим параметрам (степень дифференцировки, митотический индекс, паттерн инвазии, наличие периневральной/сосудистой инвазии, статус краев резекции и костная инвазия), суммарный показатель RawScore и производный индекс PI.

Таблица 4

Клиничко-морфологические характеристики и значения морфологического прогностического индекса (PI) кошек с плоскоклеточным раком

Паци- ент	Имя, возраст	Локали- зация	Гистологический вариант	G	MI	I	P	R	B	Raw Score	PI	Категория риска*	Лимфоузлы (ЛУ)
1	Баюн, 14 лет	Нижняя челюсть	Низкодиффе- ренцированный неороговеваю- щий ПКР	2	1	2	0	0	1	6	3,0	Высокий	Метастатиче- ское поражение регионарных ЛУ
2	Пабло, 11 лет	Верхняя губа	Низкодифферен- цированный ПКР	2	1	1	0	1+	0	5	2,7	Верхняя граница про- межуточного	Признаков метастазов нет, высокий риск регионарного метастазирова- ния и костной инвазии
3	Пуша, 6 лет	Ушные ракови- ны	Ороговевающий ПКР, умеренный атипизм	0	0	0	0	0	0	0	≈1,1	Низкий	Регионарные ЛУ: реактивная гиперплазия (по отдельному гистологиче- скому заключе- нию)

Окончание табл. 4

Паци- ент	Имя, возраст	Локали- зация	Гистологический вариант	G	MI	I	P	R	B	Raw Score	PI	Категория риска*	Лимфоузлы (ЛУ)
4	Бася, 13 лет	Нижняя челюсть	Умеренно дифференци- рованный ПКР с десмоплазией и костной инва- зией	1	1	2	0	0	1	5	2,7	Промежуточно- высокий	Нижнече- люстные ЛУ слева умеренно увеличены по данным КТ; гистологиче- ски – реактив- ная гиперпла- зия (опухолевых клеток не выяв- лено)
5	Ми- хаил, 8 лет	Кожа/ ротовая полость	«Агрессивный» ПКР с выражен- ным атипизмом и интраэпите- лиальными гнездами	2	1	1	0	0	1‡	5	2,7	Промежуточно- высокий	Регионарные ЛУ: реактивная гиперплазия, опухолевых клеток не выяв- лено
6	Чер- нослив, 12 лет	Левая нижняя губа	Инвазивный ПКР с анизокариозом и ороговением	1	1	1	0	0	1	4	2,3	Промежуточ- ный	Регионарные ЛУ: реактивная гиперплазия
7	Уолтер, 10 лет	Челюсть	Неорогове- вающий ПКР с массивными опухолевыми пластами	2	1	2	0	0	1	6	3,0	Высокий	Метастатиче- ское поражение регионарных ЛУ
8	Лия, 16 лет	Нижняя челюсть/ кожа	Умеренно дифференци- рованный ПКР с воспалением и единичными атипичными клетками	1	0	0	0	0	0	1	1,3	Низкий	Метастатиче- ское поражение регионарных ЛУ

Примечание. *Категории риска по PI: низкий ($PI \leq 1,8$), промежуточный ($1,9-2,8$), высокий ($PI \geq 2,9$). †R = 1 интерпретировано как позитивный или узкий (< 5 мм) край резекции. ‡Костная инвазия отмечена в исходных данных ($B = 0/1$); для расчета RawScore значение округлено в сторону 1 при наличии инвазии. G – степень дифференцировки опухолевых клеток (0–2 балла); MI – митотический индекс (0–2 балла); I – паттерн инвазии на глубоком фронте (0–2 балла); P – наличие перинеуральной и/или лимфо-вазкулярной инвазии (0–1 балл); R – статус краев резекции (0–1 балл); B – костная инвазия (0–1 балл). RawScore – сумма баллов по шести параметрам (диапазон 0–9). PI – морфологический прогностический индекс, рассчитанный по формуле $PI = 1 + 3 \times (RawScore/9)$; более высокие значения соответствуют менее благоприятному прогнозу.

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

Table 4

**Clinicopathologic characteristics and morphologic prognostic index (PI)
in eight cats with squamous cell carcinoma)**

Patient	Name, age	Primary site	Histologic subtype	G	MI	I	P	R	B	Raw Score	PI	Risk category*	Lymph nodes
1	Bayun, 14 y	Mandible	Poorly differentiated, non-keratinizing SCC	2	1	2	0	0	1	6	3	High	Metastatic involvement of regional lymph nodes
2	Pablo, 11 y	Upper lip	Poorly differentiated SCC	2	1	1	0	1†	0	5	2.7	Upper intermediate	No clinical or imaging evidence of nodal metastasis; based on poor differentiation and narrow resection margin the patient is considered at high risk of regional nodal metastasis and bone invasion
3	Pusha, 6 y	Auricular pinnae	Keratinizing SCC, moderate atypia	0	0	0	0	0	0	0	≈1.1	Low	Regional lymph nodes with reactive hyperplasia (separate histologic report)
4	Basya, 13 y	Mandible	Moderately differentiated SCC with desmoplasia and bone invasion	1	1	2	0	0	1	5	2.7	Intermediate high	Left mandibular lymph nodes moderately enlarged on CT; histology showed reactive hyperplasia, no tumor cells identified
5	Mikhail, 8 y	Skin/oral cavity	“Aggressive” SCC with marked atypia and intraepithelial nests	2	1	1	0	0	1‡	5	2.7	Intermediate high	Regional lymph nodes with reactive hyperplasia; no tumor cells identified
6	Chernosliv, 12 y	Left lower lip	Invasive SCC with anisokaryosis and keratinization	1	1	1	0	0	1	4	2.3	Intermediate	Regional lymph nodes with reactive hyperplasia
7	Walter, 10 y	Jaw	Non-keratinizing SCC with massive tumor sheets	2	1	2	0	0	1	6	3	High	Metastatic involvement of regional lymph nodes
8	Liya, 16 y	Mandible/skin	Moderately differentiated SCC with inflammation and single atypical cells	1	0	0	0	0	0	1	1.3	Low	Metastatic involvement of regional lymph nodes

Note. *Risk categories based on PI: low ($PI \leq 1.8$), intermediate ($PI 1.9-2.8$), high ($PI \geq 2.9$). †R = 1 interpreted as positive or narrow (< 5 mm) resection margin. ‡Bone invasion recorded as present in the original dataset (B = 0/1, rounded towards 1 for RawScore calculation). G – degree of tumor cell differentiation (0–2 points); MI – mitotic index (0–2 points); I – pattern of invasion at the deep invasive front (0–2 points); P – presence of perineural and/or lymphovascular invasion (0–1 point); R – resection margin status (0–1 point); B – bone invasion (0–1 point). RawScore – sum of the six morphologic parameters (range 0–9). PI – morphologic prognostic index calculated as $PI = 1 + 3 \times (\text{RawScore} / 9)$; higher values indicate a less favorable prognosis.

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Преобладали оральные локализации (нижняя и верхняя губа, нижняя челюсть; 7/8), тогда как один пациент имел преимущественно кожную, ушную форму опухоли. Большинство новообразований характеризовались низкой или умеренной степенью дифференцировки ($G = 1-2$), выраженным атипизмом и инвазивным паттерном роста, что отражается в высоких значениях параметров G , MI и I . Костная инвазия была зарегистрирована у части пациентов с челюстной локализацией, что дополнительно увеличивало общий RawScore. Суммарный морфологический балл RawScore варьировал от 0–1 (пациент с ороговевающим ушным ПКР с выраженным орогованием и умеренным атипизмом) до 6 (пациенты с низкодифференцированным неороговевающим оральным ПКР и массивной инвазией кости). После нормирования RawScore по предложенной формуле значения PI лежали в диапазоне от $\approx 1,0-1,3$ (наиболее благоприятный морфологический профиль) до 3,0 (выраженно неблагоприятный профиль).

Митотическая активность MI в исследуемой выборке:

1. *Низкая митотическая активность ($MI = 0$):* в данной выборке два пациента демонстрировали минимальный уровень митотической активности, характеризующийся индексом пролиферации (PI), равным 1,1 и 1,3 соответственно. Эти показатели указывают на крайне низкий уровень клеточного деления, что может свидетельствовать о стабильной фазе клеточного цикла или возможной ремиссии пролиферативной активности.

2. *Повышенная митотическая активность ($MI = 1$):* 6 пациентов в выборке продемонстрировали значительно повышенный уровень митотической активности с индексом пролиферации в диапазоне от 2,3 до 3,0. Это свидетельствует о наличии 4–7 митозов на каждые 10 полей зрения, что указывает на активную пролиферацию клеток. Среди этих пациентов были идентифицированы Баюн, Пабло, Бася, Михаил, Чернослив и Уолтер.

В контексте анализа митотической активности опухолей индекс пролиферации PI является важным прогностическим показателем. Установлено следующее: при значении $PI < 2,0$ наблюдается низкая ($MI = 0$), а при $PI \geq 2,0$ — повышенная ($MI = 1$) митотическая активность. Из восьми проанализированных опухолей две имели значение $PI < 2,0$, что соответствовало низкому митотическому индексу ($MI = 0$). В остальных шести случаях, где $PI \geq 2,0$, зарегистрирована повышенная митотическая активность ($MI=1$). Таким образом, в данной выборке значение $PI \geq 2,0$ полностью коррелировало с наличием повышенного митотического индекса, что подтверждает высокую диагностическую ценность показателя в оценке пролиферативной активности опухолевых клеток. В исследуемой выборке наблюдалась четкая корреляция между индексом пролиферации (PI) и уровнем митотической активности (MI). Все пациенты с $PI < 2,0$ демонстрировали нулевой уровень митотической активности ($MI = 0$), в то время как все пациенты с $PI \geq 2,0$ имели повышенный уровень митотической активности ($MI = 1$). Анализируемая закономерность подтверждает важность PI как предиктора митотической активности и может служить основой для дальнейших исследований в области клеточной пролиферации.

В соответствии с заранее заданными порогами PI пациенты были распределены на три прогностические группы: низкого риска ($PI \leq 1,8$; 2/8 животных, кожные/ушные и смешанные кожно-оральные формы с ограниченным инвазивным фронтом), промежуточного риска ($PI 1,9-2,8$; 4/8, преимущественно умеренно дифференцированные и инвазивные оральные опухоли без сочетания всех неблагоприятных признаков) и высокого риска ($PI \geq 2,9$; 2/8, низкодифференцированные неороговевающие челюстные опухоли с выраженным атипизмом и костной инвазией). Таким образом, предложенный индекс позволяет формализованно отразить накопление неблагоприятных морфологических признаков и дифференцировать пациентов по предполагаемому уровню риска. Например, у пациента Пабло клинически и по визуализации признаков метастатического поражения лимфоузлов не выявлено; с учетом низкой дифференцировки и узкого края резекции пациент относится к группе высокого риска регионарного метастазирования и костной инвазии. На основании анализа прогностических данных можно провести классификацию пациентов на следующие популяционные группы: оральные, низко- и умеренно дифференцированные карциномы с костной инвазией, характеризующиеся $PI \approx 2,5-3$; а также кожная ушная форма с $PI \approx 1,1$.

Таким образом, разработанная модель демонстрирует способность к качественному разделению пациентов по уровню риска, что подтверждается статистическими показателями. По итогам анализа данных историй болезни и литературы ожидаемая медиана выживаемости составила: для кожных форм (низкий риск) — 400–700 дней, для оральных агрессивных форм (высокий риск) — 20–60 дней. Кошка Бася с высоким PI, несмотря на паллиативное лечение, умерла через 3 месяца после постановки диагноза, что соответствует прогнозу для группы высокого риска. Анатомическая скрытость новообразования, согласно некоторым исследованиям, подтверждает, что от появления первых неспецифических симптомов до постановки диагноза часто проходит 4–8 недель, в течение которых опухоль успевает распространиться на мягкие ткани и челюстную кость. На рис. 4 представлена корреляционная матрица между морфологическим прогностическим индексом (PI), локализацией опухоли (Oral: оральная vs кожная), наличием костной инвазии (Bone), риском/наличием метастатического поражения (MetRisk) и временем выживания/прогнозируемой медианой выживаемости (T_{med}). PI демонстрировал выраженную положительную корреляцию с оральной локализацией опухоли ($r \approx 0,86$) и метастатическим риском ($r \approx 0,77$), а также умеренную положительную связь с костной инвазией ($r \approx 0,44$). Следовательно, оральные, инвазивные формы ПКР с поражением костной ткани чаще относились к группе высокого морфологического риска и сопровождалась более высокой вероятностью регионарных или отдаленных метастазов.

Между PI и временем выживания наблюдалась сильная отрицательная корреляция ($r \approx -0,88$): чем выше индекс, тем короче фактическая или прогнозируемая медиана выживаемости.

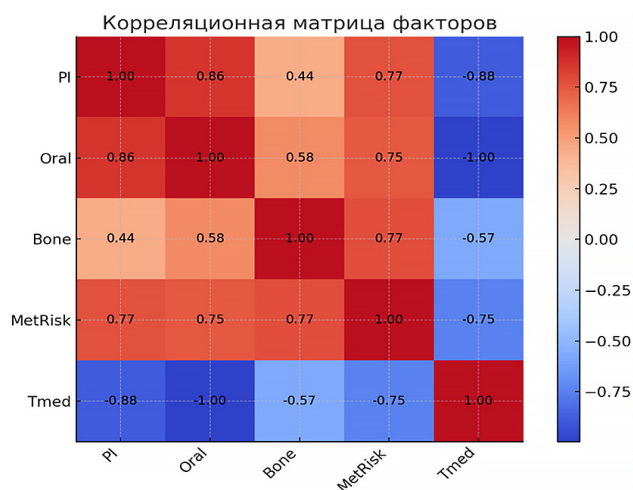


Рис. 4. Морфологический прогностический индекс при плоскоклеточном раке у кошек: пилотное исследование восьми клинических случаев: PI — морфологический прогностический индекс; Oral — оральная локализация опухоли (оральная/кожная); Bone — наличие костной инвазии; MetRisk — риск / наличие метастатического поражения (регионарные лимфоузлы и/или отдаленные метастазы); T_{med} — фактическая или модельно прогнозируемая медиана выживаемости, дни

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

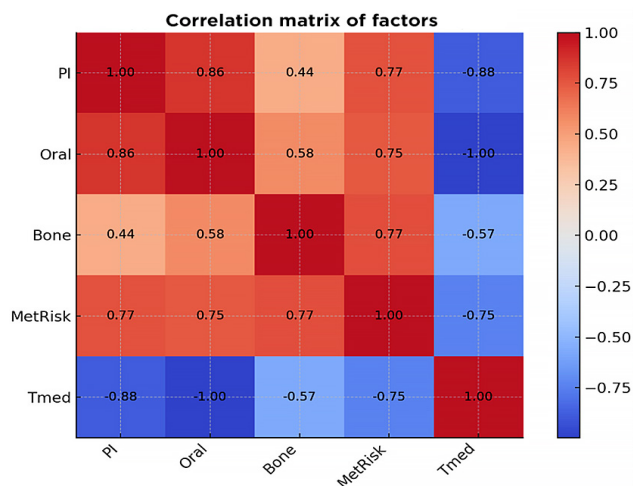


Fig. 4. Morphologic Prognostic Index in Feline Squamous Cell Carcinoma: A Pilot Study of Eight Clinical Cases: PI — morphologic prognostic index; Oral — oral tumor location (oral vs cutaneous); Bone — presence of bone invasion; MetRisk — risk and/or presence of metastatic disease (regional lymph nodes and/or distant metastases); T_{med} — actual or model-predicted median survival, days

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Аналогичная обратная связь выявлена между оральной локализацией и T_{med} ($r \approx -1,0$), что подчеркивает более неблагоприятный прогноз для оральных форм по сравнению с кожными. Костная инвазия также умеренно отрицательно коррелировала с T_{med} ($r \approx -0,57$). В целом корреляционный анализ показал, что предло-

женный PI согласуется с ключевыми клинико-анатомическими факторами агрессивности: оральной локализацией, поражением кости и метастатическим риском, а также тесно связан с показателями выживаемости даже в небольшой пилотной выборке. Полученные корреляционные зависимости подтверждают внутреннюю согласованность предложенного морфологического прогностического индекса. *Высокие значения PI* встречались преимущественно при оральной локализации, наличии костной инвазии и метастатическом поражении лимфоузлов, что совпадает с данными литературы о более агрессивном течении орального ПКР у кошек по сравнению с кожными формами ушных раковин. В то же время кожные, хорошо ороговевающие опухоли с ограниченным инвазивным фронтом имели *низкие значения PI* и ассоциировались с более длительной выживаемостью.

Значимая отрицательная корреляция между PI и временем выживания указывает на то, что интегральная морфологическая оценка (степень дифференцировки, митотический индекс, паттерн инвазии, костная инвазия и др.) отражает не только локальную агрессивность, но и общую прогностическую нагрузку опухоли.

Значения PI агрегируют несколько классических неблагоприятных признаков в одну шкалу, которую удобно использовать в клинической практике и для стратификации пациентов в будущих исследованиях. Следует, однако, учитывать ограничение настоящего анализа: малый размер выборки ($n = 8$) и ретроспективный характер данных не позволяют сделать окончательные выводы о причинно-следственных связях. Высокие значения коэффициентов корреляции в такой небольшой группе могут частично отражать структуру конкретной выборки. Для внешней валидации PI и уточнения его прогностической ценности необходимы более крупные проспективные исследования с включением дополнительных пациентов и независимой оценкой морфологических параметров несколькими патологами.

Анализ показал четкую отрицательную ассоциацию между уровнем PI и прогнозируемой медианой выживаемости (рис. 5).

Пациенты с *низким PI* (1,0...2,0) характеризовались существенно более длительным прогнозом (120–200 дней), тогда как у животных с *высоким PI* ($> 3,0$) прогноз снижался до 40–70 дней. Обе построенные модели (линейная и экспоненциальная) показали устойчивую тенденцию к снижению медианы выживаемости при увеличении PI , однако экспоненциальная модель продемонстрировала более выраженное падение кривой при PI выше 3,0, что отражает реальное поведение агрессивных опухолей. Такое распределение согласуется с данными литературы, где высокие уровни пролиферации ассоциируются с резким ухудшением выживаемости, инвазией в кость, развитием массивных гнезд опухолевых клеток и более высокой частотой митозов. Полученные данные подтверждают важность PI как независимого прогностического маркера при плоскоклеточном раке кошек. *Низкие значения PI* , характеризующиеся диапазоном менее 2,0, были зафиксированы у следующих пациентов: Пуша ($PI = 1,1$) и Лия ($PI = 1,7$). Эти значения свидетельствуют о сниженной перфузионной активности, что может указывать на потенциальные нарушения в микроциркуляции.

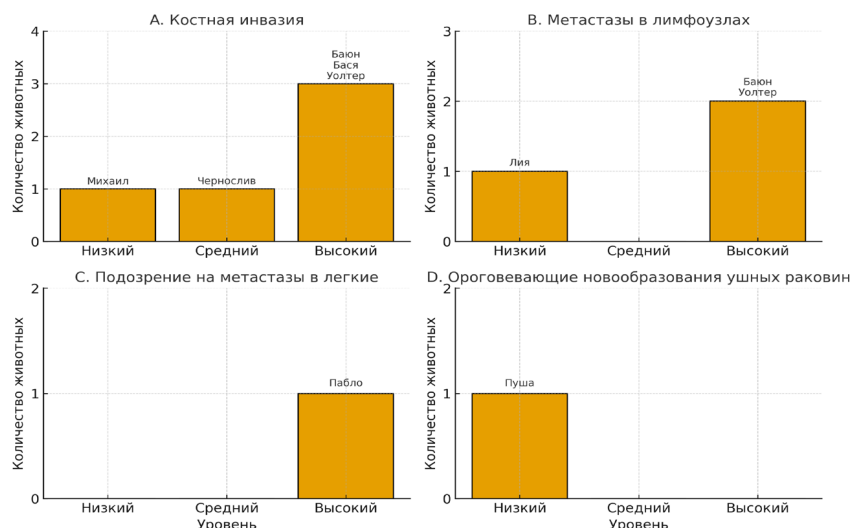


Рис. 5. Распределение основных клинических признаков в группах риска, основанных на индексе пролиферации PI

Источник: выполнено Н.А. Акопян, В.Н. Байматовым.

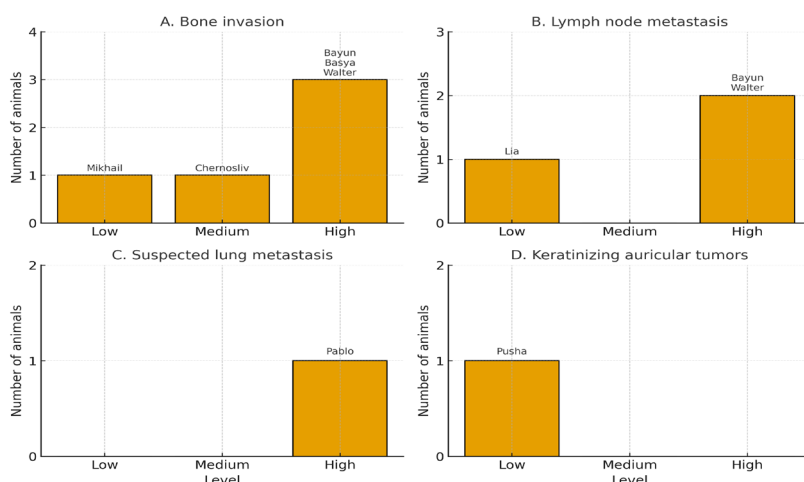


Fig. 5. Distribution of major clinical features across proliferation-index (PI) risk groups

Source: compiled by N.A. Akopyan and V.N. Baimatov.

Рост PI сопровождается экспоненциальным снижением медианы выживаемости, что подчеркивает необходимость его включения в рутинную морфологическую оценку, стратификацию риска и формирование индивидуальных терапевтических планов.

Пролиферационный индекс PI, основанный на количественной оценке митотической активности и клеточного атипизма, рассматривается как информативный биомаркер агрессивности плоскоклеточного рака у кошек. Таким образом, можно утверждать, что вероятность развития кожной неоплазии возрастала с увеличени-

ем возраста ($p < 0,001$). Проведенный анализ демонстрирует четкую корреляцию между комбинацией клинико-морфологических признаков и прогнозом.

Пациенты с низким PI (Пуша) имели классические кожные ороговевающие формы ПКР без признаков инвазии, что ассоциируется с длительной выживаемостью после хирургического лечения [1]. Напротив, все пациенты с высоким PI имели либо низкодифференцированные неороговевающие опухоли (Баюн, Уолтер), либо подтвержденную костную инвазию и метастазы (Бася, Баюн, Уолтер), либо подозрение на отдаленные метастазы (Пабло).

Интересный случай представляет кошка Михаил, у которой гистологически выявлен агрессивный ПКР на фоне тяжелого хронического дерматита, что осложнило диагностику. Этот случай подчеркивает важность тщательного морфологического исследования при длительных воспалительных процессах кожи. Предложенный нами прогностический индекс, включающий всего три бинарных параметра, показал свою эффективность для стратификации риска в этой небольшой выборке. Его ключевые преимущества — простота и воспроизводимость, так как он основан на стандартных данных гистологии и визуальной диагностики.

В ходе анализа были определены *средние показатели перфузионного индекса* (PI), варьирующиеся в диапазоне от 2,0 до 2,8. В частности, у пациентов Михаила (PI = 2,8) и Чернослива (PI = 2,4) наблюдались значения, соответствующие данному интервалу, что свидетельствует о удовлетворительном состоянии перфузионных процессов в их организме.

В рамках проведенного исследования были выявлены высокие значения индекса перфузии (PI), превышающие порог в 2,9, у кошек. В частности, отмечены следующие показатели: Баюн (PI = 3,7), Пабло (PI = 3,9), Бася (PI = 3,2) и Уолтер (PI = 3,5). Эти результаты свидетельствуют о повышенной перфузионной активности у вышеупомянутых животных, что может быть обусловлено различными физиологическими или экологическими факторами, требующими дальнейшего изучения.

Проведен всесторонний анализ данных, собранных по четырем ключевым параметрам, характеризующим онкологические процессы у кошек: костной инвазии, метастазированию в лимфатические узлы, подозрению на метастазирование в легкие и наличию ороговевающих новообразований в области ушных раковин. Результаты анализа демонстрируют следующее:

костная инвазия (панель А): у пациента Михаил диагностирован низкий уровень костной инвазии, подтвержденный значением $B = 1$ или $0/1$. Нижний уровень: 0 Средний уровень: 1 (Чернослив, Михаил) Высокий уровень: 3 (Баюн, Бася, Уолтер).

Частота рентгенологически и/или гистологически диагностированной костной инвазии у кошек с плоскоклеточным раком, стратифицированных по группам риска в соответствии с PI-системой, демонстрирует значительную вариабельность. Эти результаты подчеркивают необходимость более тщательного мониторинга пациентов с высоким риском прогрессирования заболевания;

метастатическое поражение лимфатических узлов (панель В): гистологическое подтверждение метастазов в лимфатические узлы получено только

у трех пациентов: Баюна, Уолтера и Лии. Нижний уровень: 1 (Лия). Средний уровень: 0. Высокий уровень: 2 (Баюн, Уолтер). Метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов было зарегистрировано исключительно у пациентов с высоким риском прогрессии (75 %, 3 из 4), что согласуется с литературными данными о повышенной вероятности лимфогенного метастазирования при высоком индексе PI. В группах среднего (0 из 3) и низкого риска (0 из 1) метастазы в лимфоузлы не были выявлены, что свидетельствует о более благоприятном прогнозе у этих категорий пациентов;

подозрение на метастазирование в легкие (панель С): показатель D = 1. В случае с пациентом Пабло выявлен только один случай, относящийся к группе высокого уровня. Нижний уровень: 0. Средний уровень: 0. Высокий уровень: 1. Рентгенографическое исследование грудной полости выявило округлые мягкотканые затенения диаметром ≤ 2 см, интерпретированные как подозрение на метастазы в легкие, у одного пациента из группы высокого риска (25 %, 1 из 4). В группах среднего (0 из 3) и низкого риска подобные изменения не были обнаружены. Эти находки подчеркивают важность регулярного рентгенологического мониторинга пациентов с высоким риском для своевременного выявления легочных метастазов;

ороговевающие новообразования в области ушных раковин (панель D): диагностировано единственное новообразование — ушной ПКР у пациента Пуша. Нижний уровень: 1. Средний уровень: 0. Высокий уровень: 0.

Поверхностные ороговевающие бляшки ушных раковин, соответствующие ранним актиническим изменениям и не сопровождавшиеся костной инвазией, были диагностированы у одного животного из группы низкого риска (100 %, 1 из 1). В группах среднего и высокого риска данный признак не наблюдался, что может указывать на различия в патогенезе и прогрессии заболевания в зависимости от уровня риска. Анализ общей выживаемости показал сильную зависимость прогноза от клинической стадии плоскоклеточного рака у кошек. При опухолях I стадии выживаемость достигала 100 % до 140-го дня, после чего резко падала до 50 % и полностью исчезала к 170 дню. При II стадии снижение выживаемости до 50 % отмечалось уже к 90 дню, а к 110 дню она падала до 0 %. У кошек с III и IV стадиями заболевания выживаемость снижалась еще быстрее: уровень 50 % достигался на 45–50-й день, а к 60-му дню все животные этой группы погибали. Эти данные подчеркивают необходимость ранней диагностики и своевременного лечения для улучшения исходов.

Заключение

Таким образом, пациенты с высоким значением PI ($PI > 3,0$) демонстрируют повышенную частоту агрессивного локального поведения опухоли (костная инвазия) и подтвержденного метастатического процесса в лимфатические узлы. В группе среднего риска выявлялись ограниченные признаки местной агрессивности, тогда как низкий риск ассоциирован только с поверхностными ороговевающими изме-

нениями без инвазивного роста. Эти данные поддерживают прогностическую ценность стратификации по индексу пролиферации при плоскоклеточном раке кошек. Несмотря на ограниченный объем выборки, подтверждено, что морфологические особенности ПКР у кошек тесно связаны с клиническим течением. Низкодифференцированные, неороговевающие опухоли, а также опухоли с костной инвазией и метастазами в лимфоузлы являются маркерами неблагоприятного прогноза.

При увеличении стадии опухолевого процесса отмечалось последовательное сокращение временного интервала до летального исхода (кошка Бася), что указывает на значительно менее благоприятный прогноз для кошек с местнораспространенными и запущенными формами плоскоклеточного рака. Эти данные подчеркивают важность ранней диагностики и своевременного начала лечения для улучшения исходов у кошек с плоскоклеточным раком.

Предложенный прогностический индекс (PI) — это полезный инструмент для выявления пациентов с высоким риском. Им может потребоваться более интенсивное лечение и регулярный мониторинг. Для валидации PI индекса и выявления независимых прогностических факторов требуется проведение дальнейших проспективных исследований на крупных когортах пациентов, что позволит обеспечить надежность и достоверность полученных результатов. Настоящее исследование продемонстрировало, что ряд морфологических характеристик ПКР у кошек — включая степень дифференцировки, выраженность клеточного атипизма, наличие костной инвазии, митотическую активность и признаки некроза — ассоциированы с общей выживаемостью пациентов. На основании выявленных параметров была предложена экспериментальная прогностическая модель, включающая расчетный морфологический индекс риска.

Полученные результаты подтверждают потенциальную клиническую значимость морфологических предикторов в стратификации пациентов по уровню риска и прогнозированию исходов заболевания. Однако представленная модель разработана на ограниченной выборке и требует обязательной внешней валидации.

Для улучшения воспроизводимости и клинической применимости индекса рекомендуется проведение многоцентровых исследований с увеличенной выборкой, включающих:

- стандартизированную процедуру гистопатологического анализа;
- независимую экспертную ревизию биоптатов;
- проспективное наблюдение с систематической регистрацией точных показателей общей и безрецидивной выживаемости.
- проверку прогностической точности модели с использованием методов кросс-валидации и анализа ROC-кривых;
- оценку калибровки модели в независимых популяциях пациентов.

Внешняя валидация предложенного морфологического индекса поможет определить его устойчивость, воспроизводимость и прогностическую ценность в разных клинических условиях у животных. Только после подтверждения статистической значимости на независимых данных модель можно будет рекомендовать для внедрения в клиническую ветеринарную онкологию. Дальнейшие исследова-

ния сосредоточены на проверке диагностической и прогностической значимости предложенной системы оценки морфологических факторов при плоскоклеточном раке у кошек. Также планируется ее интеграция в стандартизированные протоколы стадирования и прогностической стратификации в ветеринарной медицине.

Список литературы / References

1. Villamil JA, Henry CJ, Bryan JN, et al. Identification of the most common cutaneous neoplasms in dogs and evaluation of breed and age distributions for selected neoplasms. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2011;239(7):960–965. doi: 10.2460/javma.239.7.960
2. Gross TL, Ihrke PJ, Walder EJ, Affolter VK. *Skin Diseases of the Dog and Cat: Clinical and Histopathologic Diagnosis*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science; 2005.
3. Goldschmidt MH, Goldschmidt KH. Epithelial and Melanocytic Tumors of the Skin. In: Meuten DJ, editor. *Tumors in Domestic Animals*. 5th ed. Ames: Wiley-Blackwell; 2017. p. 88–141.
4. Kupel M, ed. *Surgical Pathology of Tumors of Domestic Animals. Volume 1: Epithelial Tumors of the Skin*. Davis, CA: Gurlt Publishing; 2018.
5. Manuali E, Forte C, Vichi G, et al. Tumours in European Shorthair cats: a retrospective study of 680 cases. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2020;22(12):1095–1102. doi: 10.1177/1098612X20905035
6. Bertone ER, Snyder LA, Moore AS. Environmental and lifestyle risk factors for oral squamous cell carcinoma in domestic cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2003;17(4):557–562. doi: 10.1111/j.1939-1676.2003.tb02478.
7. Zacccone R, Renzi A, Chalfon C, et al. Environmental risk factors for the development of oral squamous cell carcinoma in cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2022;36(4):1398–1408. doi: 10.1111/jvim.16372
8. Noall L, Perry R, Gibson T, et al. A multi-institutional epidemiologic study evaluating environmental risk factors for feline oral squamous cell carcinoma. *Veterinary and Comparative Oncology*. 2023;21(3):452–461. doi: 10.1111/vco.12914
9. Renzi A, Guscetti F, Bacchiocchi S, et al. Prevalence of p53 dysregulations in feline oral squamous cell carcinoma. *PLoS One*. 2019;14(4): e0215621. doi: 10.1371/journal.pone.0215621
10. Renzi A, Guscetti F, Bacchiocchi S, et al. Analysis of DNA methylation and TP53 mutational status in feline oral squamous cell carcinoma. *Veterinary and Comparative Oncology*. 2020;18(4):608–618. doi: 10.1111/vco.12595
11. Supsavhad W, Dirksen WP, Martin CK, et al. Characterization of p16, pRb, and p53 in Feline Oral Squamous Cell Carcinoma. *Veterinary Sciences*. 2016;3(3):18. doi: 10.3390/vetsci3030018
12. Munday JS, Gibson I, French AF. Evaluation of feline oral squamous cell carcinomas for p16CDKN2A protein immunoreactivity and the presence of papillomaviral DNA. *Research in Veterinary Science*. 2011;90(2):280–283. doi: 10.1016/j.rvsc.2010.06.006
13. Munday JS, Bell CM, Gulliver EL. Feline oral in situ carcinoma associated with papillomavirus infection: A case series of 7 cats. *Veterinary Pathology*. 2025;63(1):33–40. doi: 10.1177/03009858251352594
14. Egberink H, Thiry E, Möstl K, Addie D, Belák S, Boucraut-Baralon C, Frymus T, Gruffydd-Jones T, Hosie MJ, Hartmann K, Lloret A, Lutz H, Marsilio F, Pennisi MG, Radford AD, Truyen U, Horzinek MC. Feline viral papillomatosis: ABCD guidelines on prevention and management. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2013 Jul;15(7):560–562. doi: 10.1177/1098612X13489213
15. Lee AM. *Feline oral squamous cell carcinoma*. London: International Cat Care; 2022. Available from: https://icatcare.org/resources/icatcare_feline_oral_squamous_cell_carcinoma_handout.pdf (Accessed 2024).
16. Altamura G, Corteggio A, Borzacchiello G. The Feline Oral Squamous Cell Carcinoma: A Candidate Model for Human Head and Neck Cancer. *Cancers (Basel)*. 2023;15(7):1977. doi: 10.3390/cancers15071977
17. Sequeira I, Pires MDA, Leitão J, Henriques J, Viegas C, Requicha J. Feline Oral Squamous Cell Carcinoma: A Critical Review of Etiologic Factors. *Veterinary Sciences*. 2022;9(10):558. doi: 10.3390/vetsci9100558
18. Tutu P, Daraban Bocaneti F, Altamura G, et al. Feline oral squamous cell carcinoma: recent advances and future perspectives. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025;12:1663990. doi: 10.3389/fvets.2025.1663990
19. Munday JS, He Y, Aberdein D, Klobukowska HJ. Increased p16CDKN2A, but not p53, immunostaining is predictive of longer survival time in cats with oral squamous cell carcinomas. *Veterinary Journal*. 2019;248:64–70. doi: 10.1016/j.tvjl.2019.04.007

20. Thomson CB, Buracco P, Torres LN. Feline oral squamous cell carcinoma: a critical review of etiopathogenesis. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2016;18(10):805–814. doi: 10.1177/1098612X16651427
21. Vesce G, Bongiovanni L, De Paolis E, et al. A novel feline sarcoma virus isolated from a multicentric fibrosarcoma in a young cat. *Veterinary Microbiology*. 2019;238:108428. doi: 10.1016/j.vetmic.2019.108428
22. Yamashita-Kawanishi N, Ito S, Chambers JK, Uchida K, Sato M, Chang HW, Knight C, van der Meer F, Haga T. Vulvar squamous cell carcinoma associated with Equus caballus papillomavirus type 2 infection in a Japanese mare. *Tumour Virus Research*. 2021;12:200226. doi: 10.1016/j.tvr.2021.200226
23. Munday JS, French AF, Harvey CJ. Molecular and immunohistochemical studies do not support a role for papillomaviruses in canine oral squamous cell carcinoma development. *Veterinary Pathology*. 2015;52(3):466–473. doi: 10.1177/0300985814567191
24. O'Neill SH, Newkirk KM, Anis EA, et al. Detection of human papillomavirus DNA in feline premalignant and invasive squamous cell carcinoma. *Veterinary Dermatology*. 2011;22(1):68–74. doi: 10.1111/j.1365–3164.2010.00912x
25. Chu S, Wylie TN, Wylie KM, et al. A virome sequencing approach to feline oral squamous cell carcinoma to evaluate viral causative factors. *Veterinary Microbiology*. 2020;240:108491. doi: 10.1016/j.vetmic.2019.108491
26. Martin CK, Tannehill-Gregg SH, Wolfe TD, Rosol TJ. Bone-invasive oral squamous cell carcinoma in cats: pathology and expression of parathyroid hormone-related protein. *Veterinary Pathology*. 2011;48(1):302–312. doi: 10.1177/0300985810384412
27. Акопян Н.А., Дударева А.Н., Селиванова И.Р. Клинический случай опухоли в носовой полости у собак // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения : сб. трудов 4-й науч.-практ. конф.; Москва, 16 мая 2025 г. М. : Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина; 2025. С. 159–160.
- Акопян NA, Dudareva AN, Selivanova IR. Klinicheskii sluchai opukholi v nosovoi polosti u sobak [Clinical case of a tumor in the nasal cavity in dogs]. *Aktual'nye problemy veterinarnoi meditsiny, zootekhnii, biotekhnologii i ehks-pertizy syr'ya i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya: sb. trudov 4-i nauch.-prakt. konf.* [Actual problems of veterinary medicine, zootechnics, biotechnology and examination of raw materials and products of animal origin: collection of works of 4 scientific and practical conferences]; Moskva, 16 maya 2025 g. Moscow: Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny i bio-tekhnologii im. K.I. Skryabina. 2025;59–160. (In Russ.).
28. Bertone ER, Snyder LA, Moore AS. Environmental and lifestyle risk factors for oral squamous cell carcinoma in domestic cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2003;17(4):557–562. doi: 10.1111/j.1939–1676.2003.tb02478

Об авторах:

Акопян Наре Акоповна — кандидат биологических наук, доцент. кафедры биологии и биоинформатики, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 73; e-mail: parlenare@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3897-6784 SPIN-код: 2597-3654

Байматов Валерий Нурмухаметович — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры общей патологии им. В.М. Коропова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: baimatov.valeri@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6732-4729 SPIN-код: 9905-7190

About authors:

Акопян Nare Akopovna — Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor Department of Biology and Bioinformatics, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (FCU), 73 Zemlyanoy Val St., Moscow, 109004, Russian Federation; e-mail: parlenare@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3897-6784 SPIN-code: 2597-3654

Baimatov Valery Nurmukhametovich — Professor, Doctor of Veterinary Sciences Department of General Pathology named after V.M. Koropov, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23, Academician Skryabin St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: baimatov.valeri@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6732-4729 SPIN-code: 9905-7190



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-345–355

EDN JTZCHV

УДК 619:616.34

Обзорная статья / Review article

Изменчивость и многообразие генетических вариантов парвовируса — причина парвовирусного энтерита у собак

С.В. Лаптев , **М.В. Селина**  

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии
им. К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 project@mgavm.ru

Аннотация. Авторами проведен углубленный анализ научной литературы, посвященной изменчивости вируса CPV-2. Эта мутационная изменчивость обуславливает рост заболеваемости парвовирусным энтеритом среди собак и представляет исключительную опасность для невакцинированных щенков, требуя пристального внимания ветеринарного сообщества и разработки эффективных профилактических мер. Кровавая диарея чаще поражает щенков чистокровных пород в возрасте до шести недель. В числе вирусных причин диареи у собак выделяются чума плотоядных, коронавирусная инфекция, парвовирусный энтерит и другие вирусные заболевания. Особую опасность представляет парвовирус типа 2 (CPV-2), возникший в 1970-х гг., вызывающий тяжелый гастроэнтерит и, в ряде случаев, миокардит. Вирус CPV-2 имеет несколько генетических вариантов, включая CPV-2a, CPV-2b и CPV-2c. Изначально CPV-2 был выявлен на территории Китая, а вариант CPV-2c впервые обнаружен во Вьетнаме, после чего получил широкое распространение по всему миру. В Российской Федерации парвовирусный энтерит составляет значительную долю — до 37 % — от всех инфекционных заболеваний, регистрируемых у собак, особенно у щенков в возрасте до шести месяцев. CPV-2 характеризуется высокой скоростью мутаций, что требует постоянного мониторинга его генетической изменчивости для оценки и поддержания эффективности применяемых вакцин. Высокая изменчивость вирусных геномов позволяет им ускользать от иммунного ответа, что объясняет не всегда достаточную эффективность существующих вакцин. Оптимальная схема вакцинации предусматривает трехкратное введение вакцины, начиная с возраста 4 недель. Следует учитывать, что иммунный ответ на вакцинацию может варьироваться в зависимости от возраста животного, массы тела и уровня материнских антител. Осложнения после вакцинации наблюдаются крайне редко. Вакцины, разработанные на основе вируса CPV-2, обеспечивают надежную защиту от различных штаммов парвовируса.

Ключевые слова: диарея, мутации, генетическая изменчивость, вакцинация, вирус, щенки

Вклад авторов: С.В. Лаптев — идея и постановка исследования; С.В. Лаптев, М.В. Селина — проведение исследования и сбор данных; М.В. Селина — анализ и результатов и написание текста статьи;

© Лаптев С.В., Селина М.В., 2026



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

С.В. Лаптев — редактирование и научное руководство. Все авторы ознакомились с финальной версией статьи и одобрили ее к публикации.

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

История статьи: поступила в редакцию 17 октября 2025 г., принята к публикации 8 апреля 2026 г.

Для цитирования: Лаптев С.В., Селина М.В. Изменчивость и многообразие генетических вариантов парвовируса — причина парвовирусного энтерита у собак // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 345–355. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-345-355 EDN: JTZCHV

Genetic variability and antigenic diversity of canine parvovirus as the cause of canine parvoviral enteritis

Sergey V. Laptev , Marina V. Selina  

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named
after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation
 project@mgavm.ru

Abstract. The present review provides a comprehensive analysis of the scientific literature concerning the genetic variability of canine parvovirus type 2 (CPV-2). This mutational variability increases the incidence of parvoviral enteritis among dogs and poses an exceptional threat to unvaccinated puppies, requiring the close attention of the veterinary community and the development of effective preventive measures. Haemorrhagic diarrheal is more likely to affect purebred puppies under the age of six weeks. Viral aetiologies of canine diarrheal are carnivorous distemper, coronavirus infection, parvovirus enteritis and other viral diseases. Parvovirus type 2 (CPV-2), which emerged in the 1970s, is particularly dangerous, causing severe gastroenteritis and, occasionally, myocarditis. The CPV-2 virus has several genetic variants, including CPV-2a, CPV-2b, and CPV-2c. CPV-2 was initially recognized in China, and the CPV-2c variant was first detected in Vietnam, then it spread worldwide. Within the Russian Federation, parvoviral enteritis constitutes a considerable proportion — up to 37% — of all infectious diseases diagnosed in dogs, particularly affecting individuals under six months of age. CPV-2 exhibits a remarkably high mutation rate, warranting ongoing molecular monitoring to evaluate and preserve the protective efficacy of currently available vaccines. The substantial genomic flexibility of CPV-2 facilitates immune evasion, which explains the insufficient effectiveness of existing vaccines. The optimal vaccination schedule provides for a triple injection of the vaccine, starting at the age of 4 weeks. Notably, the post-vaccinal humoral response is influenced by factors such as age, body weight, and the titres of maternally derived antibodies. Complications after vaccination are extremely rare. Vaccines developed based on the CPV-2 virus provide reliable protection against various strains of parvovirus.

Keywords: diarrhoea, mutations, genetic variability, vaccination, virus, puppies

Authors' contribution: S.V. Laptev — the idea and design of the study; S.V. Laptev, M.V. Selina — conducting research and collecting data; M.V. Selina — analysis of the results and manuscript preparation; S.V. Laptev — editing and scientific guidance. All the authors have reviewed the final version of the article and approved it for publication.

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

Article history: received 17 October 2025; accepted 8 April 2026.

For citation: Laptev SV, Selina MV. Genetic variability and antigenic diversity of canine parvovirus as the cause of canine parvoviral enteritis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):345–355. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-345-355 EDN: JTZCHV

Введение

Среди виновников вирусной диареи у собак выделяются чума плотоядных (CDV), коронавирус (CCoV), парвовирус 2-го типа (CPV-2), кобувирсы (СКоV) и бокавирус (СBoV) [1]. CPV-2 — ДНК-вирус из семейства Parvoviridae, родственен вирусу панлейкопении кошек (FPV) [2]. Считается, что CPV-2 появился в 1970-х гг., мутировав из FPV-подобного вируса кошек, приобретя способность заражать собак [3]. Вирусные геномы изменчивы, мутируют, ускользая от иммунного ответа. Исследования показывают, что существующие вакцины против полиовируса 2-го типа не всегда эффективны [4]. Собачий парвовирус 2 (CPV-2) вызывает у собак гастроэнтерит и миокардит [5]. Существуют антигенные варианты CPV-2: CPV-2a, CPV-2b и CPV-2c, классифицированные по аминокислоте 426 белка капсида VP2 [6]. В 1979 г. в Соединенных Штатах Америки был выявлен новый вариант собачьего парвовируса, известный как CPV-2a. Его появление было связано с мутациями в белке VP2, что отражено в научном исследовании [7]. Впоследствии появились варианты CPV-2b и CPV-2c, отличающиеся изменениями в аминокислоте 426 VP2 [8]. Исходный CPV-2 исчез, уступив место новым вариантам [9–11]. В 1982 г. CPV-2 впервые зафиксировали в Китае, где он стал эндемиком, порождая новые варианты [1, 12, 13], имеет пять мутаций в гене VP2: M87L, I101T, A300G, D305Y и V555I. CPV-2b выявлен в 1984 г. и отличается мутациями I555V и N426D в гене VP2. В 2004 г. во Вьетнаме обнаружили CPV-2c [14], который затем распространился по миру, утратив статус «азиатского» [8]. До 2015 г. в Китае преобладали CPV-2a и CPV-2b, но в Европе и Америке росло число случаев CPV-2c [1, 12, 15–24].

Классификация CPV-2 зависит от аминокислоты в позиции 426 белка VP2: N (CPV-2a), D (CPV-2b) и E (CPV-2c). География распространения CPV-2 демонстрирует четкие региональные особенности. В континентальной Европе циркулируют различные варианты: во Франции и Бельгии — CPV-2a и CPV-2b, в Италии — CPV-2a и CPV-2c. В Северной и Южной Америке преобладают CPV-2b/2c и CPV-2a/2c. В Азии, Великобритании, Австралии и Японии доминируют CPV-2a и CPV-2b. Северная Африка характеризуется совместной циркуляцией всех трех основных типов CPV-2, а в Южной Африке чаще встречаются CPV-2a и CPV-2b.

Для точной идентификации вариантов CPV-2 необходим молекулярный анализ гена VP2. Этот анализ позволяет оценить генетическое разнообразие, проследить распространение вируса и совершенствовать стратегии вакцинации. Вакцины на основе CPV-2 могут давать нестойкий иммунитет против новых вариантов вируса, что затрудняет диагностику гастроэнтерита у привитых щенков. Но вакцины CPV-2b обычно защищают от варианта CPV-2c. По данным исследований, осложнения после вакцинации против парвовирусной инфекции отмечаются приблизительно в 3,8 % случаев, причем чаще у кастрированных щенков, щенков с недостаточным весом и у животных в возрасте до 9 месяцев. Вакцины, разработанные на основе штамма NL-35-D CPV-2, обеспечивают полную защиту от различных штаммов парвовируса [25].

Цель обзора — системный анализ изменчивости и распространения вируса CPV-2 в мире, а также оценка методов его профилактики и лечения.

Использовались данные о распространенности CPV-2 в мире по публикациям, отраженным в базах данных eLIBRARY.RU, PubMed, Google Scholar. Особое внимание уделено изучению закономерностей распространения, механизмов высокой генетической изменчивости геномов собачьего парвовируса CPV-2, а также детальному рассмотрению вопросов эпизоотологии заболевания, разработки эффективных профилактических мер и современных методов лечения.

Кровавая диарея у собак — верный признак CPV-2, спровоцировавшего острое кровотечение в желудке и кишечнике [1, 26]. У щенков чистокровных пород до 6 недель CPV-2 выявлялся чаще ($p < 0,05$). Инфекция CPV-2 поражает щенков и чистокровных собак чаще, чем взрослых дворняг. Ранее CPV-2 чаще обнаруживался у животных 2–4 месяцев [1, 27]. Низкая заболеваемость парвовирусным энтеритом у щенков до месяца объясняется материнским иммунитетом. После четырех месяцев щенки реже болеют из-за развития собственного иммунитета. У кобелей CPV-2 встречается чаще, чем у сук [1, 28]. Результаты исследований указывают на увеличение числа случаев CPV-2с в последние годы [1, 10, 20–24, 29–33].

Эпизоотическая картина свидетельствует о нарастающей тенденции: парвовирусный энтерит занимает 37 % в структуре инфекционных патологий, регистрируемых у собак на территории Российской Федерации [34].

Эпизоотология парвовирусного энтерита представляет собой сложное переплетение факторов, среди которых ключевую роль играют возрастная восприимчивость и сезонная активность вируса. Щенки в возрасте до шести месяцев, лишенные полноценной иммунной защиты, становятся наиболее уязвимой группой и одновременно выступают в роли основного источника инфекции. Вакцинация как действенный инструмент профилактики и строгий карантин для уязвимых групп животных являются необходимыми мерами для контроля и снижения масштабов распространения заболевания. Глубокое понимание этих взаимосвязанных аспектов — краеугольный камень эффективной профилактики эпизоотического распространения парвовирусного энтерита [35].

У новорожденных щенков материнские антитела обеспечивают пассивный иммунитет, однако снижают эффективность вакцинации. Ранняя вакцинация щенков в 6 недель «Мультикан DP» с последующей вакцинацией «Мультикан-DHP» и «Мультикан-L» в 9 недель, а также «Мультикан-DHP» и «Мультикан-LR» в 12 недель, вызывает выработку специфических антител ко всем вирусам, включенным в вакцины, в титрах, обеспечивающих минимальный защитный уровень [36].

В основе вакцины «Мультикан-8» лежит парвовирус собак CPV-2 № 23, прошедший адаптацию к клеткам CRFK. Высокий титр антител к парвовирусу собак является подтверждением способности вакцины обеспечивать надежную защиту животных от заражения [37].

Несмотря на доступность вакцинации, парвовирусный энтерит остается серьезной проблемой для популяции собак. Высокая плотность содержания животных и механизм распространения вируса в помете создают благоприятные условия для возникновения и прогрессирования заболевания. Применение альфа-интерферона в комплексной терапии позволяет значительно повысить эф-

фективность лечения и предотвратить развитие тяжелых форм энтерита, снижая риск летального исхода [38].

Особую опасность парвовирус CPV-2 представляет для щенков в возрасте от 6 недель до 6 месяцев. Вирус демонстрирует высокую скорость эволюции, постоянно порождая новые варианты, такие как CPV-2a, CPV-2b и CPV-2c, которые активно циркулируют в различных регионах мира. Наиболее часто заражение происходит в весенний и осенне-зимний периоды, что связано с характерными для этих сезонов колебаниями температуры и снижением общего иммунитета животных. Несмотря на широкое применение вакцин, вирус продолжает распространяться, что обусловлено влиянием материнских антител у щенков, нивелирующих эффективность вакцинации, и недостаточной степенью защиты у взрослых собак. В связи с этим возникает острая необходимость в постоянном мониторинге генетических и антигенных свойств вновь выявляемых изолятов вируса, что позволит своевременно обновлять состав вакцин и повышать их эффективность [34].

Многообразие циркулирующих изолятов парвовируса — яркое свидетельство его высокой генетической изменчивости и адаптивности. Филогенетический анализ выявляет «горячие точки» в геноме вируса, определяющие основные направления его эволюции. Например, штамм «ЭС-95» вируса CPV-2, изолированный в России, образует единый кластер с изолятами, обнаруженными в Канаде, Уругвае и Италии, что указывает на возможные пути распространения вируса и наличие общих источников заражения [39].

Парвовирус собак 2 (CPV-2) — ДНК-вирус, быстро мутирующий [40] и изменяющий свои свойства. Геном CPV-2 содержит две открытые рамки считывания, кодирующие неструктурные белки NS1 и NS2, а также капсидные белки VP1 и VP2 [41]. Вариации в структуре капсида могут усиливать распространение и вирулентность вируса [42, 43]. Выявлены мутации, потенциально приводящие к устойчивости к вакцинам [44]. Белок VP2, ключевой для капсида и состоящий из 584 аминокислот, определяет, кого заразит вирус. Он играет важную роль в выработке антител против парвовируса собак 2-го типа, вызывающего тяжелое заболевание с кровавой диареей, миокардитом и возможным летальным исходом [1, 4, 23, 45, 46]. Белок NS1 важен для патогенности вируса [47]. В южноамериканских образцах обнаружены мутации N351K и N361S. Мутации I60V и L630P [29] становятся все более распространенными. Распространение конкретных мутаций может указывать на появление новых свойств, таких как устойчивость к лекарствам, что повлияет на эффективность вакцин и расширит круг носителей вируса [48].

VP1 и VP2 кодируют белок капсида вируса парвовируса собак 2-го типа. VP1 длиннее и содержит сигналы ядерной локализации (MAPPAKRARRGLV) [49], важные для заражения клетки. Большинство мутаций в VP1 не меняют аминокислоты и могут регулировать экспрессию генов [50], не влияя на белок капсида. Однако другие N-концевые мутации могут влиять на скорость репликации вируса.

Эволюция VP2 показывает рост мутаций G5A и Q370R в CPV-2c. Эти мутации могут объяснять неэффективность вакцин против CPV-2. Предположительно, ами-

нокислота 5 в VP2 участвует в связывании лигандов и проникновении в клетку, но ее роль неясна [51]. Мутация Q370R может влиять на гемагглютинацию и круг хозяев CPV-2 [52]. VP2, кодирующая капсидный белок CPV-2, критически важна для вирусной патогенности. Мутации VP2 [53, 54], такие как T440A, ведут к антигенному дрейфу и снижают эффективность вакцин. Замена N93K, аналогичная изменениям в вирусе мышей Minute, влияет на взаимодействие с хозяином и антигенные свойства VP2; она обнаружена в образцах из Ирана и Японии [55]. Эта мутация может снижать эффективность вакцин [56]. Мутации NS1 и VP2 вызывают особую обеспокоенность в Азии и Европе [57]. Обобщенная картина эволюционной изменчивости парвовируса CPV-2 по итогам анализа источников представлена в таблице.

Эволюционная изменчивость парвовируса CPV-2

Парво-вирус собак	Год	Изменения в гене VP2 и аминокислоте 426 белка VP2	Краткая характеристика
CPV-2	1978	Нет сведений	Первоначальный CPV-2 больше не встречается у собак, уступив место новым вариантам. Исходный CPV-2 заражал только собак, вызывая кишечные расстройства. В отличие от него, варианты CPV-2a и 2b способны заражать кошек как в лаборатории, так и в обычной жизни
CPV-2a	1979	В белке VP2 вируса CPV-2 обнаружены пять основных мутаций: M87L, I101T, A300G, D305Y и V555I. Кроме того, выявлено изменение аминокислоты в позиции 426 белка VP2 (замена N в CPV-2a)	Различия между CPV-2 и CPV-2a возникают из-за мутаций в CPV-2a. Эти мутации изменяют, например, как вирус реагирует на антитела. Они также меняют способность вируса связываться с рецептором трансферрина кошки. Кроме того, мутации влияют на то, как вирус размножается в организме кошек
CPV-2b	1984	В гене VP2, отвечающем за капсидный белок, произошли мутации. Эти мутации вызвали замену аминокислоты под номером 426. В вариантах CPV-2 и CPV-2a на этой позиции находится Asn, а в CPV-2b – Asp. Таким образом, CPV-2b характеризуется наличием Asp вместо Asn в позиции 426 белка VP2	В CPV-2b, в белке VP2 присутствует мутация N426D. Данная замена вызывает изменения в биологических характеристиках, в частности, в реакции на моноклональные антитела. Важность N426D обусловлена положением остатка 440. Он находится на вершине трехкратного шипа белка VP2. Этот белок расположен на поверхности капсида и является основным антигенным сайтом вируса
CPV-2c	В конце 1990-х	Генетические мутации, затрагивающие ген, отвечающий за белок VP2 капсида, вызвали замену аминокислоты. В позиции 426 глутаминовая кислота (Glu) заменила аспарагин (Asn). Это изменение произошло: CPV-2 и CPV-2a имели Asn, в то время как CPV-2c содержит Glu. Изменения в аминокислоте 426 VP2 (E в CPV-2c)	CPV-2c быстро проник в разные страны и теперь распространен вместе с CPV-2a и CPV-2b. После обнаружения CPV-2c выявили в Азии, Европе, Северной и Южной Америке, а также в Африке

Примечание. Некоторые мутации парвовируса и их значение:

- Мутация T324I часто встречается в штаммах CPV-2a в Азии и Южной Америке. Изменения в аминокислоте 324 могут влиять на то, каких животных может заразить вирус.
- T440A важна для CPV, так как остаток 440 находится на поверхности белка VP2, который является основным антигенным сайтом вируса.
- Y544F и E545V – это две мутации, обнаруженные во всех подтипах CPV-2a, CPV-2b и CPV-2c.
- Мутация E572K не наблюдалась в CPV-2c, но была найдена в 20 образцах CPV-2a и CPV-2b.
- В CPV-2c, собранных после 2015 г., часто встречается изменение аминокислоты 630 (в 16 из 24 случаев).

Источник: [26, 58–61].

Evolutionary variability of parvovirus CPV-2

Canine parvovirus	Year	Changes in the VP2 gene and amino acid 426 of the VP2 protein	Brief description
CPV-2	1978	No data	The original CPV-2 is no longer found in dogs, giving way to new variants. The original CPV-2 only infected dogs, causing intestinal disorders. In contrast, the CPV-2a and 2b variants can infect cats both in the laboratory and in the common life
CPV-2a	1979	Five major mutations were detected in the VP2 protein of the CPV-2 virus: M87L, I101T, A300G, D305Y, and V555I. Moreover, a change in the amino acid at position 426 of the VP2 protein was detected (N substitution in CPV-2a)	The differences between CPV-2 and CPV-2a arise from mutations in CPV-2a. These mutations alter, for example, how the virus responds to antibodies. They also alter the virus's ability to bind to the feline transferrin receptor. Furthermore, the mutations affect how the virus replicates in cats
CPV-2b	1984	Mutations occurred in the VP2 gene, which is responsible for the capsid protein. These mutations resulted in a substitution at amino acid 426. In CPV-2 and CPV-2a, this position is occupied by Asn, while in CPV-2b, it is occupied by Asp. Thus, CPV-2b is characterized by the presence of Asp instead of Asn at position 426 of the VP2 protein	In CPV-2b, the VP2 protein contains the N426D mutation. This substitution causes changes in biological characteristics, particularly in the response to monoclonal antibodies. The importance of N426D stems from the position of residue 440. It is located at the tip of the triple-spike of the VP2 protein. This protein is located on the surface of the capsid and is the main antigenic site of the virus
CPV-2c	Late 1990s	Genetic mutations affecting the gene responsible for the VP2 capsid protein resulted in an amino acid substitution. At position 426, glutamic acid (Glu) replaced asparagine (Asn). This change occurred: CPV-2 and CPV-2a had Asn, while CPV-2c contains Glu. The change is at amino acid 426 of VP2 (E in CPV-2c)	CPV-2c quickly spread to various countries and is now common along with CPV-2a and CPV-2b. Since its discovery, CPV-2c has been detected in Asia, Europe, North and South America, and Africa

Note. Some parvovirus mutations and their significance:

- The T324I mutation is common in CPV-2a strains in Asia and South America. Changes at amino acid 324 may influence which animals the virus can infect.
- T440A is important for CPV because residue 440 is on the surface of the VP2 protein, which is the major antigenic site of the virus.
- Y544F and E545V are two mutations found in all subtypes of CPV-2a, CPV-2b, and CPV-2c.
- The E572K mutation was not observed in CPV-2c but was found in 20 CPV-2a and CPV-2b samples.
- In CPV-2c collected since 2015, a change at amino acid 630 is common (in 16 of 24 cases).

Source: [26, 58–61].

Анализ аминокислотных последовательностей выявил ряд замен, включая ключевые мутации (A5G, F267Y, Y324I, Q370R) и новую (I447M) в изолятах CPV-2. Мутация в позиции 5 (A5G), расположенной в нейтрализующем антигенном участке, может изменить антигенные свойства вируса и его взаимодействие с иммунной системой [19]. Остаток аминокислоты 267 практически не влияет на антигенность

вируса, так как не выходит на поверхность капсида [62]. Аминокислоты в позициях 324, 426 и 440, вероятно, влияют на ускользание вируса от иммунитета и снижают защиту вакцин [63]. Генотип CPV-2с с изолейцином в позиции 324 демонстрирует более ранние цитопатические эффекты в клетках MDCK, чем CPV-2с с тирозином в этой же позиции [64]. Генетические рекомбинации играют ключевую роль в эволюции парвовирусов [65, 66]. Мутация I447M обнаружена в CPV-2 изолятах в Китае и Вьетнаме [14, 23], однако не обнаружена в линиях CPV-2, полученных в Бразилии [67]. Исследования показывают, что аминокислоты 324, 426 и 440 в VP2 подвержены мощному отбору. Аминокислота 324, соседствующая с участком 323, по-видимому, регулирует взаимодействие вируса с рецептором и определяет круг восприимчивых организмов [22, 63].

Заключение

Вирусные геномы отличаются высокой изменчивостью и способны мутировать, что позволяет им ускользать от иммунного ответа. Это объясняет случаи снижения эффективности некоторых существующих вакцин против парвовируса 2-го типа. Мутации в ключевых участках белка, например в положении N93K, расположенном рядом с петлей 2, могут быть одной из причин подобного явления. Для щенков оптимальна трехкратная схема вакцинации, завершающаяся после достижения ими возраста 16 недель. Введение первой дозы возможно уже с четырехнедельного возраста, и вакцинация может проводиться даже у беременных сук. Формирование иммунного ответа на парвовирусную инфекцию зависит от возраста и массы тела животного, а также от уровня материнских антител, однако не зависит от пола щенка или типа используемой вакцины. Уровень материнских антител варьирует индивидуально, что требует гибкого подхода к выбору времени вакцинации. Применение иммуномодуляторов и ДНК-вакцин способствует формированию устойчивого и продолжительного иммунитета к парвовирусу. Осложнения после вакцинации встречаются сравнительно редко — около 3–4 % случаев, чаще у кастрированных щенков, животных с недостаточной массой тела и в возрасте до девяти месяцев. Вакцины, разработанные на основе штамма NL-35-D CPV-2, обеспечивают надежную защиту от различных циркулирующих штаммов вируса.

Список литературы / References

1. Qi S, Zhao J, Guo D, Sun D. A mini-review on the epidemiology of canine parvovirus in China. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:5. doi: 10.3389/fvets.2020.00005 EDN: VBOUWF
2. Cotmore SF, Agbandje-McKenna M, Canuti M, Chiorini JA, Eis-Hübinger AM, Hughes J, Mietzsch M, Modha S, Ogliastro M, Péntes JJ, et al. ICTV virus taxonomy profile: Parvoviridae. *The Journal of General Virology*. 2019;100(3):367–368. doi: 10.1099/jgv.0.001212
3. Parrish CR, Aquadro CF, Strassheim ML, Evermann JF, Sgro JY, Mohammed HO. Rapid antigenic-type replacement and DNA sequence evolution of canine parvovirus. *Journal of Virology*. 1991;65(12):6544–6552. doi: 10.1128/JVI.65.12.6544-6552.1991
4. Decaro N, Buonavoglia C, Barrs VR. Canine parvovirus vaccination and immunization failures: are we far from disease eradication? *Veterinary Microbiology*. 2020;247:108760. doi: 10.1016/j.vetmic.2020.108760
5. Nandi S, Kumar M. Canine parvovirus: current perspective. *Indian Journal of Virology*. 2010;21(1):31–44. doi: 10.1007/s13337-010-0007-y EDN: TAMFCN

6. Touihri L, Bouzid I, Daoud R, Desario C, El Goulli AF, Decaro N, Ghorbel A, Buonavoglia C, Bahloul C. Molecular characterization of canine parvovirus-2 variants circulating in Tunisia. *Virus Genes*. 2009;38(2):249–258. doi: 10.1007/s11262-008-0314-1 EDN: QSSNNW
7. Hoelzer K, Shackelton LA, Parrish CR, Holmes EC. Phylogenetic analysis reveals the emergence, evolution and dispersal of carnivore parvoviruses. *Journal of General Virology*. 2008;89(9):2280–2289. doi: 10.1099/vir.0.2008/002055-0
8. Franzo G, Mira F, Schirò G, Canuti M. Not Asian anymore: reconstruction of the history, evolution, and dispersal of the «Asian» lineage of CPV-2c. *Viruses*. 2023;15(9):1962. doi: 10.3390/v15091962 EDN: WPDWVN
9. Shao R, Ye C, Zhang Y, Sun X, Cheng J, Zheng F, Cai S, Ji J, Ren Z, Zhong L, Lai Z, Ou J, Lu G, Li S. Novel parvovirus in cats, China. *Virus Research*. 2021;304:198529. doi: 10.1016/j.virusres.2021.198529 EDN: BRRIKY
10. Jing Z, Ji P, Wei Y, Hao F, Wei Y. Isolation and identification of a novel canine parvovirus type 2c strain in domestic cats in Dalian, China. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9:1001604. doi: 10.3389/fvets.2022.1001604 EDN: CSKXJN
11. Lina Z, Kai W, Fuyu A, Dongliang Z, Hailing Z, Xuelin X, Ce G, Hongmei Y, Yingjie K, Zhidong Z, Rongguang L, Yan H. Fatal canine parvovirus type 2a and 2c infections in wild Chinese pangolins (*Manis pentadactyla*) in southern China. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022;69(6):4002–4008. doi: 10.1111/tbed.14703 EDN: XDYSAI
12. Zhao Y, Lin Y, Zeng X, Lu C, Hou J. Genotyping and pathobiologic characterization of canine parvovirus circulating in Nanjing, China. *Virology Journal*. 2013;10(1):272. doi: 10.1186/1743-422X-10-272 EDN: BWXEUK
13. Hao X, Li Y, Xiao X, Chen B, Zhou P, Li S. The changes in canine parvovirus variants over the years. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(19):11540. doi: 10.3390/ijms231911540 EDN: EVVWWS
14. Hoang M, Lin WH, Le VP, Nga BT, Chiou MT, Lin CN. Molecular epidemiology of canine parvovirus type 2 in Vietnam from November 2016 to February 2018. *Virology Journal*. 2019;16(1):52. doi: 10.1186/s12985-019-1159-z EDN: INDXAP
15. Franzo G, Tucciarone CM, Cecchinato M, Drigo M. Canine parvovirus type 2 (CPV-2) and Feline panleukopenia virus (FPV) codon bias analysis reveals a progressive adaptation to the new niche after the host jump. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2017;114:82–92. doi: 10.1016/j.ympev.2017.05.019
16. Zhong Z, Liang L, Zhao J, et al. First isolation of new canine parvovirus 2a from Tibetan mastiff and global analysis of the full-length VP2 gene of canine parvoviruses 2 in China. *International Journal of Molecular Sciences*. 2014;15(7):12166–12187. doi: 10.3390/ijms150712166
17. Zhou P, Zeng W, Zhang X, Li S. The genetic evolution of canine parvovirus — a new perspective. *PLoS ONE*. 2017;12(3):0175035. doi: 10.1371/journal.pone.0175035
18. Wu H, Li X, Wang L, Liu Y, Tian K. Molecular epidemiological survey of canine parvovirus in domestic dogs in four provinces, China. *Virusdisease*. 2018;29(1):113117. doi: 10.1007/s13337-018-0427-7 EDN: ULCLHG
19. Li C, Tang J, Chen Z, Niu G, Liu G. A divergent canine parvovirus type 2c (CPV-2c) isolate circulating in China. *Infection, Genetics and Evolution*. 2019;73:242–247. doi: 10.1016/j.meegid.2019.05.004
20. Chen B, Zhang X, Zhu J, Liao L, Bao E. Molecular epidemiological survey of canine parvovirus circulating in China from 2014 to 2019. *Pathogens*. 2021;10(5):588. doi: 10.3390/pathogens10050588 EDN: JUPWYV
21. Jiang H, Yu Y, Yang R, et al. Detection and molecular epidemiology of canine parvovirus type 2 (CPV-2) circulating in Jilin Province, Northeast China. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2021;74:101602. doi: 10.1016/j.cimid.2020.101602 EDN: YPZKLY
22. Liu C, Gao J, Li H, et al. Phylogenetic characteristics of canine parvovirus type 2c variant endemic in Shanghai, China. *Viruses*. 2021;13(11):2257. doi: 10.3390/v13112257 EDN: UZTTMC
23. Fu P, He D, Cheng X, et al. Prevalence and Characteristics of Canine Parvovirus Type 2 in Henan Province, China. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(6):e0185622. doi: 10.1128/spectrum.01856–22 EDN: HNNYHY
24. Hao X, He Y, Wang C, et al. The increasing prevalence of CPV-2c in domestic dogs in China. *PeerJ*. 2020;8:e9869. doi: 10.7717/peerj.9869 EDN: MELKFQ
25. Shatalov AV, Dannikov SP, Kononov AN, Skripkin VS. Immunoprophylaxis of canine parvoviral enteritis. *Veterinary Science Today*. 2018;(4):63–67. (In Russ.). doi: 10.29326/2304-196X-2018-4-27-63-67 EDN: HANOOF
- Шаталов А.В., Даников С.П., Кононов А.Н., Скрипкин В.С. Иммунопрофилактика парвовирусного энтерита собак // Ветеринария сегодня. 2018. № 4 (27). С. 63–67. doi: 10.29326/2304-196X-2018-4-27-63-67 EDN: HANOOF
26. Decaro N, Buonavoglia C. Canine parvovirus — a review of epidemiological and diagnostic aspects, with emphasis on type 2c. *Veterinary Microbiology*. 2012;155(1):1–12. doi: 10.1016/j.vetmic.2011.09.007
27. Zhao Z, Liu H, Ding K, Peng C, Xue Q, Yu Z, Xue Y. Occurrence of canine parvovirus in dogs from Henan province of China in 2009–2014. *BMC Veterinary Research*. 2016;12:138. doi: 10.1186/s12917-016-0753-1

28. Zhao H, Wang J, Jiang Y, Cheng Y, Lin P, Zhu H, Han G, Yi L, Zhang S, Guo L, Cheng S. Typing of canine parvovirus strains circulating in north-east China. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017;64:495–503. doi: 10.1111/tbed.12390
29. Wang H, Jin H, Li Q, Zhao G, Cheng N, Feng N, Zheng X, Wang J, Zhao Y, Li L, et al. Isolation and sequence analysis of the complete NS1 and VP2 genes of canine parvovirus from domestic dogs in 2013 and 2014 in China. *Archives of Virology*. 2016;161(2):385–393. doi: 10.1007/s00705-015-2683-5 EDN: XSXBNW
30. Wang Z, Jiang Y, Xin T, Yuan W, Guo X, Zhou H, Zhu H, Jia H. Genetic characterization and evolutionary analysis of canine parvovirus in Tangshan, China. *Archives of Virology*. 2022;167(11):2263–2269. doi: 10.1007/s00705-022-05502-x EDN: KYCKLT
31. Wu J, Gao XT, Hou SH, et al. Molecular epidemiological and phylogenetic analyses of canine parvovirus in domestic dogs and cats in Beijing, 2010–2013. *The Journal of Veterinary Medical Science*. 2015;77(10):1305–1310. doi: 10.1292/jvms.14-0665
32. Umar S, Gao D, Kim S, et al. Molecular characterization of canine parvovirus type 2 (CPV2) reveals a high prevalence of the CPV2c genotype among dogs with diarrhea. *Animal Diseases*. 2024;4(1):1. doi: 10.1186/s44149-023-00107-6 EDN: LGYNKG
33. Hu W, Xu X, Liu Q, Ji J, Kan Y, Yao L, Bi Y, Xie Q. Molecular characterization and genetic diversity of canine parvovirus type 2 prevalent in Central China. *Journal of Veterinary Research*. 2020;64(3):347–354. doi: 10.2478/jvetres-2020-0056 EDN: AGCBUC
34. Galkina TS, Karaulov AK. Canine parvovirus enteritis: epidemic situation analysis and perspectives. *Veterinary Science Today*. 2020;(4):283–289. (In Russ.). doi: 10.29326/2304-196X-2020-4-35-283-289 EDN: DCONTU
- Галкина Т.С., Караулов А.К. Парвовирусный энтерит собак: анализ эпизоотической ситуации и перспективы // Ветеринария сегодня. 2020. № 4 (35). С. 283–289. doi: 10.29326/2304-196X-2020-4-35-283-289 EDN: DCONTU
35. Krivko AS, Krivko MS. Epizootiological aspects of canine parvovirus enteritis. *International Scientific Research Journal*. 2025;(3):101. (In Russ.). doi: 10.60797/IRJ.2025.153.62 EDN: WMAKES
- Кривко А.С., Кривко М.С. Эпизоотологические аспекты парвовирусного энтерита собак // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 3 (153). С. 101. doi: 10.60797/IRJ.2025.153.62 EDN: WMAKES
36. Mukhin AN, Ostapchuk OV, Moskvina AS, Seleverstov AS, Aliper TI. Results of clinical studies of the vaccine against distemper and parvovirus enteritis of dogs “MULTICAN DP”. *Veterinary and Feeding*. 2025;(4):80–82. (In Russ.). doi: 10.30917/att-vk-1814-9588-2025-4-17
- Мухин А.Н., Остапчук О.В., Москвина А.С., Селеверстов А.С., Алипер Т.И. Результаты клинических исследований вакцины против чумы и парвовирусного энтерита собак «МУЛЬТИКАН DP» // Ветеринария и кормление. 2025. № 4. С. 80–82. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-4-17 EDN: PRAJJK
37. Mukhin AN, Ostapchuk OV, Losich MA, Nepoklonova IV, Verkhovsky OA, Kontseva NN, Aliper TI. Antigenic activity of the improved variant of the vaccine against distemper, adenovirus infections, parvovirus and coronavirus enteritis, leptospirosis and rabies of dogs MULTICAN-8. *Veterinary*. 2021;(3):8–13. (In Russ.). doi: 10.30896/0042-4846.2021.24.3.08–14 EDN: HWUUXN
- Мухин А.Н., Остапчук О.В., Лосич М.А., Непоклонова И.В., Верховский О.А., Концевая Н.Н., Алипер Т.И. Антигенная активность усовершенствованной вакцины против чумы, аденовирусных инфекций, парвовирусного и коронавирусного энтерита, лептоспироза и бешенства собак МУЛЬТИКАН-8 // Ветеринария. 2021. № 3. С. 8–13. doi: 10.30896/0042-4846.2021.24.3.08-14 EDN: HWUUXN
38. Elizarova EA, Klyapnev AV, Kuznetsov EG, Parkhomenko SA, Zeynalov OA. Treatment of parvovirus enteritis in puppies using recombinant canine interferon alpha (DOGFERON®). *Veterinary*. 2024;(4):23–27. (In Russ.). doi: 10.30896/0042-4846.2024.27.4.23-27 EDN: GNDQIL
- Елизарова Е.А., Кляпнев А.В., Кузнецов Е.Г., Пархоменко С.А., Зейналов О.А. Лечение парвовирусного энтерита у щенков с применением рекомбинантного альфа-интерферона собаки (ДОГФЕРОН®) // Ветеринария. 2024. № 4. С. 23–27. doi: 10.30896/0042-4846.2024.27.4.23-27 EDN: GNDQIL
39. Vlasov ME, Chadaeva AA, Sindryakova IP, Kolbasova OL, Povolayaeva OS, Yurkov SG. Cultural properties and molecular-genetic characteristics of the strain «ES-95» of canine parvovirus. *Veterinary*. 2025;(6):24–30. (In Russ.). doi: 10.30896/0042-4846.2025.28.6.24-30 EDN: FIQXYZ
- Власов М.Е., Чадаева А.А., Синдякова И.П., Колбасова О.Л., Поголяева О.С., Юрков С.Г. Культуральные свойства и молекулярно-генетическая характеристика штамма «ЭС-95» парвовируса собак // Ветеринария. 2025. № 6. С. 24–30. doi: 10.30896/0042-4846.2025.28.6.24-30 EDN: FIQXYZ
40. Nguyen MT, Piehwang C, Rungsiapat A, Techangamsuwan S. Molecular and phylogenetic analysis of Vietnamese canine parvovirus 2C originated from dogs reveals a new Asia-IV clade. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021;68(3):1445–1453. doi: 10.1111/tbed.13811

41. Mira F, Dowgier G, Purpari G, Vicari D, Di Bella S, Macaluso G, Gucciardi F, Randazzo V, Decaro N, Guercio A. Molecular typing of a novel canine parvovirus type 2a mutant circulating in Italy. *Infection, Genetics and Evolution*. 2018;61:67–73. doi: 10.1016/j.meegid.2018.03.020 EDN: YGUiBN
42. Giraldo-Ramirez S, Rendon-Marin S, Ruiz-Saenz J. Phylogenetic, evolutionary and structural analysis of canine parvovirus (CPV-2) antigenic variants circulating in Colombia. *Viruses*. 2020;12(5):500. doi: 10.3390/v12050500 EDN: YKMIBQ
43. Zhang R, Yang S, Zhang W, Zhang T, Xie Z, Feng H, Wang S, Xia X. Phylogenetic analysis of the VP2 gene of canine parvoviruses circulating in China. *Virus Genes*. 2010;40(3):397–402. doi: 10.1007/s11262-010-0466-7 EDN: GJFTEJ
44. Hernandez-Blanco B, Catala-Lopez F. Are licensed canine parvovirus (CPV2 and CPV2b) vaccines able to elicit protection against CPV2c subtype in puppies?: a systematic review of controlled clinical trials. *Veterinary Microbiology*. 2015;180(1–2):1–9. doi: 10.1016/j.vetmic.2015.07.027
45. Li G, Ji S, Zhai X, et al. Evolutionary and genetic analysis of the VP2 gene of canine parvovirus. *BMC Genomics*. 2017;18(1):534. doi: 10.1186/s12864-017-3935-8 EDN: FKUAAM
46. Castillo C, Neira V, Aniñir P, Grecco S, Pérez R, Panzera Y, Zegpi NA, Sandoval A, Sandoval D, Cofre S, Ortega R. First molecular identification of canine parvovirus type 2 (CPV2) in Chile reveals high occurrence of CPV2c antigenic variant. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:194. doi: 10.3389/fvets.2020.00194 EDN: LJGYGA
47. Miao B, Chen S, Zhang X, Ma P, Ma M, Chen C, Zhang X, Chang L, Du Q, Huang Y, Tong D. T598 and T601 phosphorylation sites of canine parvovirus NS1 are crucial for viral replication and pathogenicity. *Veterinary Microbiology*. 2022;264:109301. doi: 10.1016/j.vetmic.2021.109301 EDN: QGFESW
48. De la Torre D, Mafla E, Puga B, Erazo L, Astolfi-Ferreira C, Ferreira AP. Molecular characterization of canine parvovirus variants (CPV-2a, CPV-2b, and CPV-2c) based on the VP2 gene in affected domestic dogs in Ecuador. *Veterinary World*. 2018;11(4):480–486. doi: 10.14202/vetworld.2018.480-486 EDN: VHUVTW
49. Ying H, Runxi X, Manfu Z. Expression or subcellular targeting of virus capsid proteins with cloning genome of a canine parvovirus from China. *Research in Veterinary Science*. 2009;87(2):239–241. doi: 10.1016/j.rvsc.2009.03.001
50. Tuller T, Zur H. Multiple roles of the coding sequence 5' end in gene expression regulation. *Nucleic Acids Research*. 2015;43(1):13–28. doi: 10.1093/nar/gku1313 EDN: KQZUDB
51. Lindner D, Walther C, Tennemann A, Beck-Sickingher AG. Functional role of the extracellular N-terminal domain of neuropeptide Y subfamily receptors in membrane integration and agonist-stimulated internalization. *Cellular Signalling*. 2009;21(1):61–68. doi: 10.1016/j.cellsig.2008.09.007
52. Guo L, Yang SL, Chen SJ, et al. Identification of canine parvovirus with the Q370R point mutation in the VP2 gene from a giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *Virology Journal*. 2013;10(1):163. doi: 10.1186/1743-422X-10-163 EDN: XWHWCC
53. Dogonyaro BB, Bosman AM, Sibeko KP, Venter EH, van Vuuren M. Genetic analysis of the VP2-encoding gene of canine parvovirus strains from Africa. *Veterinary Microbiology*. 2013;165(3–4):460–465. doi: 10.1016/j.vetmic.2013.04.022
54. Lin CN, Chien CH, Chiou MT, Chueh LL, Hung MY, Hsu HS. Genetic characterization of type 2a canine parvoviruses from Taiwan reveals the emergence of an Ile324 mutation in VP2. *Virology Journal*. 2014;11:39. doi: 10.1186/1743-422X-11-39
55. Agbandje-McKenna M, Llamas-Saiz AL, Wang F, Tattersall P, Rossmann MG. Functional implications of the structure of the murine parvovirus, minute virus of mice. *Structure*. 1998;6(11):1369–1381. doi: 10.1016/s0969-2126(98)00137-3
56. Strassheim ML, Gruenberg A, Veijalainen P, Sgro JY, Parrish CR. Two dominant neutralizing antigenic determinants of canine parvovirus are found on the threefold spike of the virus capsid. *Virology*. 1994;198(1):175–184. doi: 10.1006/viro.1994.1020
57. Boros A, Albert M, Urban P, Herczeg R, Gaspar G, Balazs B, Csagola A, Pankovics P, Gyenesei A, Reuter G. Unusual «Asian-origin» 2c to 2b point mutant canine parvovirus (Parvoviridae) and canine astrovirus (Astroviridae) co-infection detected in vaccinated dogs with an outbreak of severe haemorrhagic gastroenteritis with high mortality rate in Hungary. *Veterinary Research Communications*. 2022;46(4):1355–1361. doi: 10.1007/s11259-022-09997-2
58. Li S, Chen X, Hao Y, Zhang G, Lyu Y, Wang J, Liu W, Qin T. Characterization of the VP2 and NS1 genes from canine parvovirus type 2 (CPV-2) and feline panleukopenia virus (FPV) in Northern China. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9:934849. doi: 10.3389/fvets.2022.934849
59. Su X, Zhou H, Jiang W, et al. Isolation and evolutionary analysis of feline panleukopenia virus strains FPV-BJ-J2 and FPV-BJ-J3 (T440A, N564S, A568G) in Beijing, China. *Frontiers in Veterinary Science*. 2026;13:1745551. doi: 10.3389/fvets.2026.1745551 EDN: QLHQYG

60. Li Z, Cai J, Feng C, Wang Y, Fang S, Xue X. Two novel sites determine genetic relationships between CPV-2 and FPV: an epidemiological survey of canine and feline parvoviruses in Changchun, China (2020). *Frontiers in Veterinary Science*. 2024;11:1444984. doi: 10.3389/fvets.2024.1444984 EDN: GTAHRA
61. Sarabandi S, Pourtaghi H. Whole genome sequence analysis of CPV-2 isolates from 1998 to 2020. *Virology Journal*. 2023;20(1):138. doi: 10.1186/s12985-023-02102-2 EDN: EMCBLX
62. Shackelton LA, Parrish CR, Truyen U, Holmes EC. High rate of viral evolution associated with the emergence of carnivore parvovirus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005;102(2):379–384. doi: 10.1073/pnas.0406765102
63. Alexis VA, Sonia V, Daniela S, Miguel G, Timothy H, Valentina F, Lisette L, Leonardo S. Molecular analysis of full-length VP2 of canine parvovirus reveals antigenic drift in CPV-2b and CPV-2c variants in Central Chile. *Animals*. 2021;11(8):2387. doi: 10.3390/ani11082387 EDN: YWMJTY
64. Cságola A, Varga S, Lőrincz M, Tuboly T. Analysis of the full-length VP2 protein of canine parvoviruses circulating in Hungary. *Archives of Virology*. 2014;159(9):2441–2444. doi: 10.1007/s00705-014-2068-5 EDN: PEGWUD
65. Pérez R, Calleros L, Marandino A, Sarute N, Iraola G, Grecco S, Blanc H, Vignuzzi M, Isakov O, Shomron N, et al. Phylogenetic and genome-wide deep-sequencing analyses of canine parvovirus reveal coinfection with field variants and emergence of a recent recombinant strain. *PLoS ONE*. 2014;9(11): e111779. doi: 10.1371/journal.pone.0111779
66. Tang Y, Tang N, Zhu J, Wang M, Liu Y, Lyu Y. Molecular characteristics and genetic evolutionary analyses of circulating parvoviruses derived from cats in Beijing. *BMC Veterinary Research*. 2022;18(1):195. doi: 10.1186/s12917-022-03281-w EDN: HLSELP
67. Silva SP, Silva L, Rodrigues EDL, Cardoso JF, Tavares FN, Souza WM, Santos CMP, Martins FMS, Jesus IS, Brito TC, Moura TPC, Nunes MRT, Casseb LMN, Silva Filho E, Casseb AR. Full-length genomic and molecular characterization of canine parvovirus in dogs from North of Brazil. *Genetics and Molecular Research*. 2017;16(3):1–8. doi: 10.4238/gmr16039719 EDN: YJXDMB

Об авторах:

Лаптев Сергей Владимирович — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры эпизоотологии и организации ветеринарного дела, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина (МБА имени К.И. Скрябина), Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: x9131078824@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3023-6976 SPIN-код: 4867-7430

Селина Марина Викторовна — кандидат педагогических наук, доцент кафедры экономики и цифровизации в АПК, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина (МБА имени К.И. Скрябина), Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: project@mgavm.ru

ORCID: 0000-0002-8201-1042 SPIN-код: 1372-2660

About the authors:

Lapte Sergey Vladimirovich — Candidate of Biology Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Epizootology and Organization of Veterinary Affairs, the Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: x9131078824@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3023-6976 SPIN-code: 4867-7430

Selina Marina Viktorovna — Candidate of Pedagogy Science, Associate Professor of the Department of Economics and Digitalization in the Agro-Industrial Complex, the Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: project@mgavm.ru

ORCID: 0000-0002-8201-1042 SPIN-code: 1372-2660



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-357-371

EDN JXNPXJ

УДК 619:616.34–008.87:579.8:598.261

Научная статья / Research article

Влияние сочетанного применения пробиотика и комплекса органических кислот на энтеромикробиоценоз, гематологические и иммунологические показатели перепелов при экспериментальном дисбиозе

Н.А. Лещёва  , В.И. Плешакова 

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, г. Омск,

Российская Федерация

 na.lescheva@omgau.org

Аннотация. Дисбиозы у сельскохозяйственной птицы — распространенный синдромом, сопровождаемый снижением продуктивности и здоровья животных. Несмотря на наличие различных препаратов для коррекции микробиоты, проблема лечения дисбиозов остается актуальной из-за низкой колонизации бактерий, входящих в состав пробиотиков, и специфической антагонистической активности. Перспективным подходом является использование пробиотиков в сочетании с органическими кислотами, которые направлены на улучшение микробиоценоза и повышения продуктивности птицы. Цель исследования — определить результативность сочетанного применения пробиотика Сиберсил® и комплекса органических кислот Сальмоцил FL на энтеромикробиоценоз, гематологические и иммунологические показатели организма перепелов при экспериментальном дисбиозе. Для проведения эксперимента сформировали 4 группы перепелов: I группа содержалась на базовом рационе, II группа с экспериментально моделированным дисбиозом, также на базовом рационе, III группа — птица с экспериментальным дисбиозом, которой к базовому рациону добавляли пробиотик Сиберсил®; IV группа — перепела с экспериментальным дисбиозом, которым к базовому рациону добавляли пробиотик Сиберсил® и комплексный препарат органических кислот Сальмоцил FL. Выделение и идентификацию бактерий осуществляли общепринятыми бактериологическими методами и методом MALDI TOF масс-спектрометрии. У птиц экспериментальных групп определяли гематологические и иммунологические показатели крови. При проведении бактериологических исследований у перепелов III и IV опытных групп установлено увеличение количества *Bifidobacterium* spp., снижение микроорганизмов *Enterobacter* spp. и *Streptococcus* spp. по сравнению с птицей I интактной и II контрольной групп. У перепелов I и II групп в просветной микрофлоре отмечено наличие лактозоположительных, лактозоотрицательных культур *E. coli*. Гематологические и иммунологические исследования показали, что у птиц II контрольной группы (дисбактериоз) происходило уменьшение содержания Т-лимфоцитов до $1,04 \pm 0,12$ тыс./мкл, тогда как в III и IV опытных группах наблюдали увеличение их содержания до $1,50 \pm 0,10$ и $1,68 \pm 0,20$ тыс./мкл соответственно. Установлено, что использование пробиотика Сиберсил® и Сальмоцила FL способствовало нормализации

© Лещёва Н.А., Плешакова В.И., 2026

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

микробиоты различных биотопов кишечного тракта перепелов и усилению иммунологических показателей организма птицы в целом.

Ключевые слова: микробиота, гематологические параметры, клеточный иммунитет, медикаментозной дисбиоз, мукозный биотоп

Вклад авторов: Лещёва Н.А. — проведение эксперимента, сбор, обработка материалов и написание текста; Плешакова В.И. — проведение эксперимента, сбор, анализ данных и написание текста. Все авторы и одобрили окончательную версию статьи.

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

История статьи: поступила 1 августа 2025 г., принята к публикации 17 февраля 2026 г.

Для цитирования: Лещёва Н.А., Плешакова В.И. Влияние сочетанного применения пробиотика и комплекса органических кислот на энтеромикробиоценоз, гематологические и иммунологические показатели перепелов при экспериментальном дисбиозе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. 357–371. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-357-371 EDN: JXNPXJ

Effect of the combined use of a probiotic and an organic acid complex on enteromicrobiocenosis, hematological and immunological parameters of quails with experimental dysbiosis

Nadezhda A. Lescheva  , Valentina I. Pleshakova 

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation
 na.lescheva@omgau.org

Abstract. Dysbiosis in poultry is a common syndrome that is accompanied by decreased productivity and compromised animal health. Despite the availability of various drugs for correcting the microbiota, the problem of treating dysbiosis remains relevant due to the poor engraftment of probiotic bacteria and their limited antagonistic activity. A promising approach is the combined use of probiotics and organic acids, aimed at improving microbiocenosis and increasing poultry productivity. The aim of this study was to evaluate the effect of the combined use of the probiotic Sibersil® and the organic acid complex Salmocil FL on enteromicrobiocenosis, hematological and immunobiological parameters of quails with experimental dysbiosis. For the experiment, 4 groups of quails were formed: group I was kept on a basal diet; group II, with experimentally induced dysbiosis, was also kept on a basal diet; group III consisted of birds with experimental dysbiosis, which were supplemented with the probiotic Sibersil® in addition to the basal diet; group IV consisted of quails with experimental dysbiosis, which were supplemented with the probiotic Sibersil® and the organic acid complex Salmocil FL. The isolation and identification of bacteria were carried out using standard bacteriological methods and MALDI-TOF mass spectrometry. Hematological and immunological blood parameters were determined in birds of all experimental groups. Bacteriological studies revealed that, compared with group II (dysbiosis control), quails in groups III and IV showed an increase in the abundance of *Bifidobacterium spp.* and a decrease in *Enterobacter spp.* and *Streptococcus spp.* In quails of groups I and II, the presence of lactose-positive, lactose-negative, and hemolytic *E. coli* cultures was noted in the luminal microflora. Hematological and immunological studies showed that in birds of group II (dysbiosis), there was a decrease in T-lymphocyte count to 1.04 ± 0.12 thousand/ μ L, whereas in groups III and IV, their counts increased to 1.50 ± 0.10 and 1.68 ± 0.20 thousand/ μ L, respectively. Thus, as a result of the conducted research, it was found that the combined use of the probiotic Sibersil® and the organic acid complex Salmocil FL contributed to the normalization of the microbiota in various biotopes of the quail intestinal tract and improved the immunological parameters of the birds.

Key words: microbiota, hematological parameters, cellular immunity, drug-induced dysbiosis, mucosal biotope

Author contributions: Lescheva N.A. — conducting the experiment, collection and processing of materials, and writing of the text; Pleshakova V.I. — conducting the experiment, collection and analysis of data, and writing of the text. All authors have read and approved the final manuscript.

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

Article history: received 1 August 2025; accepted 17 February 2026.

For citation: Lescheva NA, Pleshakova VI. Effect of the combined use of a probiotic and an organic acid complex on enteromicrobiocenosis, hematological and immunological parameters of quails with experimental dysbiosis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):357–371. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-357-371 EDN: JXNPXJ

Введение

В течение 2000–2020 гг. пристальное внимание исследователей привлекла проблема эффективного и рационального использования антибактериальной терапии [1–6]. В этом плане вопросы участия кишечной микрофлоры в развитии симптомокомплекса «дисбактериоз» как пускового механизма развития широкого круга инфекционных патологий желудочно-кишечного тракта у птиц требуют детального и углубленного изучения [6–10]. Между тем необходимо отметить, что при анализе микрофлоры, содержащейся в кишечном тракте птиц, исследованию подвергается лишь полостная микрофлора, которая в известной степени не может отражать актуальное состояние микробиоты кишечника в целом [2, 11–13]. Многие исследователи показали, что микрофлора желудочно-кишечного тракта распределена по двум основным микроэкологическим биотопам: в просвете (полостной или внутриспросветный) органа и пристеночном (мукоидный), расположенном в слизистой субстанции эпителия [12–14].

В ряде работ показано, что пристеночная микрофлора совместно со структурами слизистой оболочки стенки кишки образуют сложно устроенный микробно-тканевой комплекс, который выступает важным элементом в поддержании ряда факторов регуляции различных функций кишечного тракта, как на локальном, так и системном уровнях [14–16]. В связи с этим изменение состава энтеромикробиоценоза именно пристеночной микрофлоры играет важную, а в некоторых случаях ключевую роль при возникновении, течении и исходе кишечной патологии различной этиологии. При этом в большинстве случаев триггером указанных патологий может выступать дисбиоз. Большинство исследователей характеризуют дисбиозы желудочно-кишечного тракта (энтеродисбиозы) сельскохозяйственной птицы как один из распространенных синдромов, усиливающих предрасположенность макроорганизма к широкому кругу патологических состояний и заболеваний, которые всегда сопровождаются снижением продуктивности и здоровья животных. В то же время, несмотря на достаточно большое количество работ, посвященных дисбиозам и их коррекции у сельскохозяйственных животных и птиц, ряд патогенетических механизмов данного клинико-лабораторного синдрома остаются недостаточно

изученными. Так, слабо исследованы изменения пристеночного (мукозного) микробиоценоза желудочно-кишечного тракта и его морфофункциональная роль в развитии дисбиотических изменений [5].

Необходимо отметить, что, несмотря на довольно широкий спектр современных препаратов, корректирующих энтеромикробиоценоз, в частности пробиотиков, пребиотиков, синбиотиков и метабиотиков, проблема терапии животных с дисбиозом остается актуальной. К основным причинам такого состояния относят низкую колонизацию пробиотических культур микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте; низкую антагонистическую активность используемых в производстве пробиотических культур бактерий; детерминированный спектр дисбиотического действия применяемых препаратов. В этой связи перспективным подходом считается комплексное применение пробиотических препаратов и органических кислот для профилактики и лечения животных и птиц с патологией кишечника [16]. В ряде исследований сообщается, что применение органических кислот повышало продуктивность сельскохозяйственной птицы, изменяя pH содержимого желудочно-кишечного тракта, тем самым изменяя в положительную сторону микробиоценоз кишечника, а также потенциально улучшая морфологию, физиологию и иммунологию различных отделов пищеварительной трубки [16].

По данным ряда исследований, микроорганизмы, персистирующие в кишечном тракте животных и птиц, в подавляющем случае формируют биологические пленки или так называемые матрикс-закрытые микробные конгломерации [9, 11, 15]. В то же время имеются сообщения о том, что пробиотики и, в частности, их поверхностные структуры (липидные кислоты, микрокапсулы и бактериоцины), способны дезинтегрировать биопленки ряда патогенных и условно-патогенных бактерий, таких как *Escherichia coli*, *E. Faecalis*, *Salmonella* spp., *Streptococcus* spp. Все это может быть важным звеном в стратегии борьбы с дисбактериозами, которые в ряде случаев могут являться ключевым механизмом в этиопатогенезе инфекционной патологии сельскохозяйственной птицы за счет потенциальной возможности пробиотиков подавлять образование биопленок патогенными и условно-патогенными микроорганизмами.

Цель исследования — определить результативность сочетанного применения пробиотика Сиберсил® и комплекса органических кислот Сальмоцил FL на энтеромикробиоценоз, гематологические и иммунобиологические показатели организма перепелов при экспериментальном дисбиозе.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводили в условиях вивария института ветеринарной медицины и биотехнологии Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина. В эксперименте участвовали перепела породы Радонежская. Птицу содержали в сетчатых клетках в соответствии с ветеринарно-санитарными нормами согласно Методическим рекомендациям по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтах и учебных

заведений¹. Базовый рацион соответствовал возрастным периодам птицы согласно нормативам птицефабрики.

Исследуемых перепелов разделили на 4 группы: I группа ($n = 10$) интактная, содержалась на базовом рационе, II (10 голов) — контрольная, птица с экспериментально моделированным дисбиозом, содержащаяся на базовом рационе; III (10 голов) — опытная, птица с экспериментальным дисбиозом, которой к базовому рациону добавляли пробиотик Сиберсил® в дозе согласно инструкции производителя; IV (10 голов) — опытная, перепела с экспериментальным дисбиозом, к базовому рациону добавляли пробиотик Сиберсил® и комплексный препарат органических кислот Сальмоцил FL.

Для моделирования дисбиоза кишечного тракта у перепелов II (контрольной) группы готовили раствор гентамицина на изотоническом растворе хлорида натрия, в 1 мл которого содержалось 30 мг препарата гентамицина. Каждой голове птицы перорально вводили по 0,1 мл раствора гентамицина (3,0 мг препарата) с помощью шприца и канюлей на конце. Затем через 24 часа повторно вводили перорально раствор гентамицина (3,0 мг препарата). Такую процедуру повторяли в течение 5 суток. На 6-е сутки определяли в фекалиях общее количество фекальной микрофлоры, а также отдельных ее представителей. О дисбиотическом состоянии желудочно-кишечного тракта у экспериментальной птицы судили по следующим показателям: общее количество микроорганизмов до $2,5 \pm 0,5 \times 10^5$ КОЕ/г, в частности: бифидобактерий до $1,8 \pm 0,6 \times 10^2$ КОЕ/г, лактобактерий до $1,2 \pm 0,4 \times 10^4$ КОЕ/г, эшерихий до $1,0 \pm 0,3 \times 10^2$ КОЕ/г. При этом энтеромикrobiоценоз птицы до начала эксперимента характеризовался показателями: общее количество микроорганизмов $6,1 \pm 0,4 \times 10^9$ КОЕ/г, в т.ч. бифидобактерий $6,2 \pm 0,6 \times 10^6$ КОЕ/г, лактобактерий $1,9 \pm 0,7 \times 10^8$ КОЕ/г, эшерихий $1,7 \pm 0,4 \times 10^4$ КОЕ/г.

Пробиотик Сиберсил® в качестве действующего ингредиента содержит бактерии *Bacillus licheniformis* 5×10^9 спор/г.

Сальмоцил FL является комплексным препаратом, в состав которого входит пропионовая кислота (20 %), муравьиная кислота (30 %), молочная кислота (30 %), муравьинокислый аммоний (15 %), а также пропиленгликоль (5 %) и вода (до 100 %).

Материалом для исследований служили культуры микроорганизмов, выделенные из пристеночного муцина и содержимого толстой кишки и слепых отростков перепелов. Выделение и идентификацию бактерий осуществляли согласно методическим рекомендациям². При исследовании пристеночной микрофлоры учитывали рекомендации А.А. Воробьева и др. [17]. Кроме того, для протеомной идентификации выделенных культур использовали метод MALDI TOF масс-спектрометрии согласно инструкции производителя.

Изучение антагонистических характеристик культур, входящих в состав пробиотика, к выделенной микрофлоре из фекалий птицы осуществляли методом

¹ РД-АПК 3.10.07.02–09. Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений. М., 2009.

² Выделение и идентификация бактерий желудочно-кишечного тракта животных : методические рекомендации / утв. Департаментом ветеринарии МСХ РФ № 13-5-02/104 от 11.05.2004. М., 2004.

отсроченного антагонизма согласно МУ 2.3.2.2789–10³. Адгезивные свойства выделенных культур бактерий изучали с использованием методики, предложенной С.С. Гизатуллиной и др. [14], с учетом руководства МУК 4.2.2602–10⁴.

Взятие крови осуществляли путем декапитации в пробирки с ЭДТА на 42-е сутки с начала эксперимента, исследование проводили в соответствии с основными принципами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Гематологические показатели крови птицы изучали согласно рекомендациям И.В. Насонова и др.⁵

Иммунофенотипирование лимфоцитов проводили методами Е-, ЕА- и ЕАС-розеткообразования для изучения активности поверхностных рецепторов к эритроцитам барана (Т-лимфоциты), к Fc-фрагментам Jg G (цитотоксические Т-лимфоциты) и к С3 компоненту комплемента (В-лимфоциты). Также ставили тест с нитросиним тетразолием (НСТ-тест) фотометрическим методом в спонтанном (без антигенной нагрузки) и стимулированном (вакцина БЦЖ в концентрации 1 мг/мл) вариантах⁶. Регистрацию результатов производили с помощью многоканального иммунохимического планшетного анализатора Fluorofot STD Less-486-M (РФ) при длине волны 630 нм и выражали в единицах оптической плотности (ед. оп. пл.). Кроме того, проводили подсчет функционального резерва нейтрофилов (ФРН), используя формулу

$$\text{ФРН} = \frac{\text{НСТ стимулированный}}{\text{НСТ спонтанный}} \text{ у. е. оп. пл.}^*$$

Примечание. *у.е. оп.пл. — условные единицы оптической плотности.

Оценку внутриклеточного содержания катионных белков по методу М.Г. Шубича [18].

На протяжении всего эксперимента еженедельно взвешивали перепелов всех 4 групп. Биостатистическую обработку результатов проводили в Microsoft Excel, значимость различий оценивали с помощью критерия Стьюдента. Достоверными считали результаты со значением $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ динамики сукцессии основных сочленов энтеромикробиоценоза различных биотопов слепых отростков толстого кишечника перепелов показал, что через 15 суток после начала эксперимента наибольшее содержание микроорганизмов *Lactobacillus* spp. обнаруживалось у перепелов IV опытной группы (табл. 1).

³ МУ 2.3.2.2789–10. Методические указания по санитарно-эпидемиологической оценке безопасности и функционального потенциала пробиотических микроорганизмов, используемых для производства пищевых продуктов. М., 2011.

⁴ МУК 4.2.2602–10. Система предрегистрационного доклинического изучения безопасности препаратов. Отбор, проверка и хранение производственных штаммов, используемых при производстве пробиотиков. М., 2010.

⁵ Насонов И.В., Буйко Н.В., Лизун Р.П., Вольхина В.Е., Захарик Н.В., Якубовский С.М. Методические рекомендации по гематологическим и биохимическим исследованиям у кур современных кроссов. Минск, 2014. 32 с.

⁶ Власенко В.С., Бажин М.А., Дудолодова Т.С., Новиков А.Н., Мироненко В.А. Оценка иммунного статуса у крупного рогатого скота при лейкозе : методические рекомендации. Омск, 2010. 31 с.

Таблица 1

Микробиоценоз разных биотопов слепых отростков кишечника перепелов экспериментальных групп (15 суток)

Группы птиц	Содержание энтеромикробиоты слепых отростков, lg КОЕ/г											
	Lactobacillus spp.		Bifidobacterium spp.		Escherichia coli(lac+)		Escherichia coli(lac-)		Escherichia coli(remon)		Enterobacter spp.	
	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз
I (интактная)	6,12±0,06	7,42±0,83	9,1±0,72	8,2±0,34	3,1±0,18	4,0±0,12	3,0±0,19	2,6±0,16	1,6±0,22	–	1,31±0,12	2,16±0,10
II (контроль-ная)	3,42±0,08	4,15±0,04	4,12±0,16	4,61±0,21	6,4±0,41	7,3±0,16	4,1±1,02	3,1±0,19	1,3±0,31	–	3,42±0,14	4,12±0,18
III (опытная)	5,3±0,61	6,6±0,42	5,9±0,41	6,8±0,82	4,2±0,18	5,0±0,42	6,7±0,83	4,4±0,12	–	–	2,24±0,12	2,14±0,19
IV (опытная)	6,8±0,51	8,2±0,53	9,6±1,01	9,9±0,92	2,83±0,31	3,31±0,21	2,12±0,11	3,1±0,16	–	–	1,36±0,16	1,62±0,18

Примечание. Прос – просветная микрофлора, мукоз – мукозная микрофлора, прочерк – культуры микроорганизмов не выделялись.

Источник: выполнено Н.А. Лещёвой, В.И. Плешаковой.

Table 1

Microbiocenosis of different biotopes of blind intestinal appendages of quails of experimental groups (15 days)

Groups of birds	The content of enteromicrobiota of blind processes, lg КОЕ/г											
	Lactobacillus spp.		Bifidobacterium spp.		Escherichia coli(lac+)		Escherichia coli(lac-)		Escherichia coli(remon)		Enterobacter spp.	
	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc
I intact	6.12±0.06	7.42±0.83	9.1±0.72	8.2±0.34	3.1±0.18	4.0±0.12	3.0±0.19	2.6±0.16	1.6±0.22	–	1.31±0.12	2.16±0.10
II control	3.42±0.08	4.15±0.04	4.12±0.16	4.61±0.21	6.4±0.41	7.3±0.16	4.1±1.02	3.1±0.19	1.3±0.31	–	3.42±0.14	4.12±0.18
III experimental	5.3±0.61	6.6±0.42	5.9±0.41	6.8±0.82	4.2±0.18	5.0±0.42	6.7±0.83	4.4±0.12	–	–	2.24±0.12	2.14±0.19
IV experimental	6.8±0.51	8.2±0.53	9.6±1.01	9.9±0.92	2.83±0.31	3.31±0.21	2.12±0.11	3.1±0.16	–	–	1.36±0.16	1.62±0.18

Note. Lum – luminal microflora, Muc – mucosal microflora, “–” – cultures of microorganisms were not isolated.

Source: compiled by N.A. Lescheva, V.I. Pleshakova.

У перепелов III и IV опытных групп также отмечали увеличение содержания культур *Bifidobacterium* spp., по сравнению с птицей I (интактной) и II (контрольной) групп. При этом установлено, что в мукозном биотопе наблюдалось наибольшее количество указанных бактерий. Необходимо отметить, что динамика указанных микроорганизмов, в частности *Lactobacillus* spp. и *Bifidobacterium* spp., характеризовалась резким уменьшением количества во всех биотопах у перепелов II группы на фоне экспериментального медикаментозного дисбиоза и достоверно возрастала у птицы III и IV опытных групп, в рацион которых вводили препараты Сиберсил® и Сальмоцил F1 соответственно. Показано, что динамика сукцессии микроорганизмов вида *Escherichia coli* несколько отличалась от других микроорганизмов, входящих в состав как просветной, так и мукозной микрофлоры. Так у перепелов I интактной и II контрольной групп в просветной микрофлоре отмечено наличие лактозоположительных и лактозоотрицательных культур *E.coli*, тогда как в III и IV группах птиц гемолитические штаммы *E.coli* отсутствовали как в просветной, так и в мукозной микрофлоре.

Также отмечали достоверное уменьшение количества микроорганизмов *Enterobacter* spp. и *Streptococcus* spp. у перепелов III и IV опытных групп в сравнении со II (контрольной) группой.

Антагонистическую активность *Bacillus licheniformis*, входящих в состав препарата Сиберсил®, в отношении микроорганизмов перепелов изучали для выяснения их супрессивного действия на нормофлору кишечного тракта птиц.

Проведенные исследования показали, что максимальная средняя скорость адгезивной активности культур *Lactobacillus* spp. наблюдалась в мукозной микрофлоре (табл. 2).

Таблица 2

Показатели адгезивной активности микроорганизмов, выделенных из различных биотопов толстого кишечника перепелов экспериментальных групп

Группы птиц	Средняя скорость адгезивной активности, с									
	Lactobacillus spp.		Bifidobacterium spp.		Escherichiacoli		Enterobacter spp.		Streptococcus spp.	
	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз	Прос	Мукоз
I (интактная)	7,3±0,4	8,1±0,6	9,3±1,1	7,4±1,6	10,4±1,2	7,1±0,6	18,3±1,1	16,3±1,4	27,6±2,4	23,4±1,6
II (контрольная)	6,4±0,2	10,6±0,8	16,6±1,3	18,4±1,3	16,6±1,3	14,2±1,1	19,2±2,0	17,3±1,2	20,3±1,9	19,6±1,4
III (опытная)	6,1±0,6	5,2±0,4	9,0±2,1	8,3±0,6	9,1±0,7	7,7±0,6	22,4±2,1	18,4±1,6	25,3±2,4	21,2±1,6
IV (опытная)	5,6±0,4	4,2±0,3	7,3±1,1	6,1±0,5	10,1±1,2	7,1±0,9	24,6±2,3	20,3±1,9	28,4±2,6	23,4±1,5

Примечание. Прос – просветная микрофлора, мукоз – мукозная микрофлора.
 Источник: выполнено Н.А. Лещёвой, В.И. Плешаковой.

Table 2

**Indicators of the adhesive activity of microorganisms isolated from various biotopes
of the large intestine of quails of experimental groups**

Groupsof birds	Average rate of adhesive activity, s									
	Lactobacillus spp.		Bifidobacterium spp.		Escherichiacoli		Enterobacter spp.		Streptococcus spp.	
	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc	Lum	Muc
I intact	7.3±0.4	8.1±0.6	9.3±1.1	7.4±1.6	10.4±1.2	7.1±0.6	18.3±1.1	16.3±1.4	27.6±2.4	23.4±1.6
II control	6.4±0.2	10.6±0.8	16.6±1.3	18.4±1.3	16.6±1.3	14.2±1.1	19.2±2.0	17.3±1.2	20.3±1.9	19.6±1.4
III experimental	6.1±0.6	5.2±0.4	9.0±2.1	8.3±0.6	9.1±0.7	7.7±0.6	22.4±2.1	18.4±1.6	25.3±2.4	21.2±1.6
IV experimental	5.6±0.4	4.2±0.3	7.3±1.1	6.1±0.5	10.1±1.2	7.1±0.9	24.6±2.3	20.3±1.9	28.4±2.6	23.4±1.5

Note. Lum – luminal microflora, Muc – mucosal microflora.

Source: complied by N.A. Lescheva, V.I. Pleshakova.

При этом отмечалось, что в культурах, выделенных из кишечника перепелов, указанные бактерии имели наибольшую скорость адгезии у птиц IV (опыт) группы, которым в основной рацион добавляли препараты Сиберсил® и Сальмоцила Fl. Кроме того, установлено, что наименьшую среднюю скорость адгезии выделенных микроорганизмов регистрировали у птицы II контрольной группы на фоне медикаментозного дисбиоза. Необходимо отметить, что наименьшей средней скоростью адгезии обладали микроорганизмы вида *Escherichia coli* и рода *Streptococcus*.

Проведенные микробиологические исследования показали, что культуры *Bacillus licheniformis*, выделенные из препарата Сиберсил®, проявляли различную антагонистическую активность к выделенным из толстого кишечника перепелов бактериям (табл. 3).

Таблица 3

**Антагонистическая активность культур *Bacillus licheniformis*, входящих
в состав препарата Сиберсил® в отношении микроорганизмов,
выделенных их толстого кишечника перепелов**

Тест культура	Условно-патогенные микроорганизмы (зона задержки роста, мм)		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterobacter</i> spp.	<i>Streptococcus</i> spp.
<i>Bacillus licheniformis</i>	2,2±0,3	2,9±0,1	3,2±0,1

Источник: выполнено Н.А. Лещёвой, В.И. Плешаковой.

Table 3

Antagonistic activity of *Bacillus licheniformis* cultures, which are part of the Sibersil®, against microorganisms isolated from the large intestine of quails

The culture test	Conditionally pathogenic microorganisms (growth retardation zone, mm)		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterobacter</i> spp.	<i>Streptococcus</i> spp.
<i>Bacillus licheniformis</i>	2.2±0.3	2.9±0.1	3.2±0.1

Source: compiled by N.A. Lescheva, V.I. Pleshakova.

Наибольшую зону задержки тестируемая культура образовывала с культурами *Streptococcus* spp., а наименьшую с микроорганизмами вида *Escherichia coli* ($2,2 \pm 0,3$ мм). В целом антагонистическое воздействие *Bacillus licheniformis* на доминирующие бактерии, выделенные из толстого кишечника перепелов, имело выраженную вариабельность, степень которой определялась особенностями их взаимодействия с конкретной культурой условно-патогенных бактерий.

Гематологические и иммунологические исследования показали, что у птиц II (контрольной) группы (дисбактериоз) происходило уменьшение содержания Т-лимфоцитов до $1,04 \pm 0,12$ тыс. /мкл, тогда как в III и IV опытных группах наблюдали увеличение их содержания до $1,50 \pm 0,10$ и $1,68 \pm 0,20$ тыс. /мкл соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Динамика иммунологических показателей перепелов экспериментальных групп

Показатель, единицы измерения	Группа экспериментальных животных			
	I интактная	II контрольная	III опытная	IV опытная
Лейкоциты, тыс. /мкл	13,44±1,99	11,42±0,98	11,01±1,02	10,44±0,95
Лимфоциты, тыс. /мкл	9,84±1,45	13,18±1,22	10,41±1,69	8,13±0,84
Т-лимфоциты, тыс. /мкл	1,12±0,14	1,04±0,12	1,50±0,10	1,68±0,20*
В-лимфоциты, тыс. /мкл	1,33±0,21	1,31±0,16	1,21±0,23	1,10±0,21
Цитотоксические Т-лимфоциты, тыс. /мкл	1,11±0,13	1,08±0,11	1,10±0,15	1,11±0,21
СЦК ЛКБ, у.е.	0,94±0,16	0,99±0,12	1,23±0,19	1,47±0,11*
спонтанный НСТ-тест, у.е. оп. пл	0,16±0,01	0,17±0,13	0,13±0,08	0,13±0,006*
Стимулированный НСТ-тест, у.е. оп. пл	0,17±0,02	0,18±0,11	0,16±0,08	0,15±0,01
Функциональный резерв нейтрофилов (КС)	1,09±0,11	1,16±0,12	1,14±0,11	1,18±0,13

Примечание. * $p < 0,05$.

Источник: выполнено Н.А. Лещёвой, В.И. Плешаковой.

Table 4

Dynamics of immunological parameters of quails of experimental groups

Indicator, units of measurement	A group of experimental animals			
	I intact	II control	III experimental	IV experimental
White blood cells, thousand/ml	13.44±1.99	11.42±0.98	11.01±1.02	10.44±0.95
Lymphocytes, thousand/ml	9.84±1.45	13.18±1.22	10.41±1.69	8.13±0.84
T-lymphocytes, thousand/ml	1.12±0.14	1.04±0.12	1.50±0.10	1.68±0.20*
B-lymphocytes, thousand/ml	1.33±0.21	1.31±0.16	1.21±0.23	1.10±0.21
Cytotoxic T-lymphocytes, thousand/ml	1.11±0.13	1.08±0.11	1.10±0.15	1.11±0.21
CCS LCB, ie	0.94±0.16	0.99±0.12	1.23±0.19	1.47±0.11*
Spontaneous HCT test, optical density units (OD)	0.16±0.01	0.17±0.13	0.13±0.08	0.13±0.006*
Stimulated HCT test, optical density units (OD)	0.17±0.02	0.18±0.11	0.16±0.08	0.15±0.01
Functional reserve of neutrophils (CS)	1.09±0.11	1.16±0.12	1.14±0.11	1.18±0.13

Note. * $p < 0.05$.

Source: compiled by N.A. Lescheva, V.I. Pleshakova.

Указанная динамика может быть связана с усилением Т-звена клеточного иммунитета в процессах формирования иммунологической памяти, распознавания антигенов и индуцирования иммунных реакций. Кроме того, введение в рацион перепелов III опытной группы препарата Сиберсил®, а в IV опытной — совместное применение Сиберсила® и Сальмоцила F1 вызывало достоверное снижение спонтанной тетразолиевой активности на 23,0 %, что, по нашему мнению, свидетельствовало о снижении антигенной нагрузки на организм перепелов указанных групп. Также наблюдалась некоторая тенденция к повышению фагоцитарного резерва нейтрофилов (на 80 %).

Необходимо отметить, что о позитивном влиянии применяемых препаратов на иммунную функцию нейтрофилов указывает статистически значимое усиление активности катионных белков, которые у перепелов IV группы возрастало на 56,0 % по сравнению с II (контрольной) группой.

Анализ показателей продуктивных характеристик птицы в эксперименте показал, что наибольшую сохранность перепелов к концу эксперимента наблюдали в IV опытной — 98,6 %, тогда как минимальный показатель регистрировали во II (контрольной) группе — 90,4 % (табл. 5).

Таблица 5

Показатели продуктивных характеристик перепелов экспериментальных групп

Показатели	Группа перепелов			
	I интактная	II контрольная	III опытная	IV опытная
Сохранность, %	95,5	90,4	96,4	98,6
Динамика суточной живой массы, г:1 сутки	9,3±0,8	9,4±0,4	9,2±0,6	9,2±0,8
7 суток	21,5±1,0	18,6±1,4	22,4±1,2	23,6±1,6
14 суток	51,4±1,02	44,4±1,6	54,4±1,7	55,8±1,5
21 сутки	94,1±1,12	90,0±2,3	98,8±1,5	102,1±2,2
30 суток	156,2±1,9	141,3±3,6	161,4±2,2	168,6±2,3

Источник: выполнено Н.А. Лещёвой, В.И. Плешаковой.

Table 5

Indicators of productive characteristics of quails of experimental groups

Indicators	Группа перепелов			
	I intact	II control	III experimental	IV experimental
Viability, %	95.5	90.4	96.4	98.6
Dynamics of daily body weight, g:1 day	9.3±0.8	9.4±0.4	9.2±0.6	9.2±0.8
7 days	21.5±1.0	18.6±1.4	22.4±1.2	23.6±1.6
14 days	51.4±1.02	44.4±1.6	54.4±1.7	55.8±1.5
21 days	94.1±1.12	90.0±2.3	98.8±1.5	102.1±2.2
30 days	156.2±1.9	141.3±3.6	161.4±2.2	168.6±2.3

Source: complied by N.A. Lescheva, V.I. Pleshakova.

Кроме того, установлено, что в опытных группах перепелов, в частности в III и IV, суточный прирост живой массы был достоверно больше по сравнению с интактной птицей и в особенности со II (контрольной) группой. Так, к концу эксперимента живая масса перепелов IV опытной группы была больше по сравнению с I (интактной) группой на 7,2 %. В то же время, наиболее низкий показатель живой массы наблюдали у перепелов II (контрольной) группы (медикаментозный дисбиоз).

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют констатировать, что использование пробиотика Сиберсил® и Сальмоцила F1 приводило не только к нормализации микробиоты различных биотопов кишечного тракта перепелов,

но и способствовало усилению иммунологических показателей организма птицы в целом, а также увеличивало продуктивные качества птицы. Так, на модели экспериментального медикаментозного дисбиоза было установлено, что сочетанное применение тестируемых препаратов способствовало повышению концентрации нормофлоры (лакто-, бифидобактерий), а также снижению численности микроорганизмов, принадлежащих к условно-патогенной группе. Также в группах, где в рацион вводили препараты Сиберсил® и Сальмоцил FL, наблюдали усиление Т-звена клеточного иммунитета, снижение антигенной нагрузки на организм перепелов. Установлено, что экспериментальные группы перепелов, получавших препараты, показали к концу эксперимента достоверно большую живую массу тела на 7,2 % по сравнению с птицей контрольной группы. Проведенные комплексные исследования дают основание считать положительным эффект от сочетанного применения препаратов Сиберсил® и Сальмоцил FL в перепеловодстве при профилактике дисбиозов различной этиологии.

Список литературы

1. Юринова Г.В., Попкова С.М., Лежук С.И. Нарушения симбиотических взаимоотношений макроорганизм — микробиота и методы их коррекции (обзор) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2008. Т. 1. № 2. С. 97–101. EDN: MNIXQH
2. Донник И.М., Пелевина Н.А., Вершинина И.Ю. Анализ дисбиотических нарушений в кишечнике птицы промышленного стада // Аграрный вестник Урала. 2008. № 3 (45). С. 37–38. EDN: IJERHT
3. Новик Я.В., Кильп А.С., Киселева К.В., Араканцева Л.А. Влияние пробиотических препаратов на состав кишечной микрофлоры гусей // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2025. № 1. С. 33–43. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202501105 EDN: WLHBLD
4. Мельниченко Ю.А. Состав микрофлоры кишечника цыплят-бройлеров при применении полифункциональных пробиотиков // Технология производства и переработки продукции животноводства. 2015. № 2 (120). С. 29–32. EDN: VSYFSN
5. Бовкун Г.Ф., Ващекин Е.П., Малик Н.И., Малин Е.В. Дисбактериозы кишечника у молодняка птиц // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2008. № 5. С. 51–52. EDN: ZCRLET
6. El-Hack M.E., El-Saadony M., et al. Probiotics in poultry feed: a comprehensive review // Journal of animal physiology and animal nutrition. 2020. Vol. 104. № 6. P. 1835–1850. doi: 10.1111/jpn.13454 EDN: PITKUF
7. Хурай Р.Я., Марченко Т.В. Дисбактериоз животных // Ветеринария Кубани. 2010. № 6. С. 10–11. EDN: MYEIBF
8. Корнеев М.Л., Миронов А.Ю., Селезнев А.С., Горохов М.С. Микробиота пристеночного муцина и ее модификация пробиотиками // Человек и здоровье. 2008. № 2. С. 6–10. EDN: JWALYX
9. Abdel-Moneim A.E., Elbaz A.M., Khidr R.E., Badri F.B. Effect of in Ovo inoculation of *Bifidobacterium* spp. on growth performance, thyroid activity, ileum histomorphometry and microbial enumeration of broilers // Probiotics and antimicrobial proteins. 2020. Vol. 12. № 3. P. 873–882. doi: 10.1007/s12602-019-09613-x
10. Cetin N., Guclu B., Cetin E. The effects of probiotic and mannanoligosaccharide on some haematological and immunological parameters in turkeys // Journal of veterinary medicine. Series A. 2005. Vol. 52. № 6. P. 263–267. doi: 10.1111/j.1439-0442.2005.00736.x
11. Dai D., Qiu K., et al. Organic acids as alternatives to antibiotic growth promoters alter the intestinal structure and microbiota and improve the growth performance in broilers // Frontiers in microbiology. 2021. Vol. 11. P. 1–14. doi: 10.3389/fmicb.2020.618144
12. Gusils C., Opezzo O., Pizzaro R., González S. Adhesion of probiotic lactobacilli to chick intestinal mucus // Canadian Journal of Microbiology. 2003. Vol. 49. № 7. P. 472–478. doi: 10.1139/w03-055
13. Hager C.L., Isham N., Schrom K.P., et al. Effects of a novel probiotic combination on pathogenic bacterial-fungal polymicrobial biofilms // mBio. 2019. Vol. 10. № 2. P. e00338–19. doi: 10.1128/mBio.00338-19

14. Гизатуллина С.С., Биргер Л.И., Кулинич А. и др. Способ оценки состояния микрофлоры кишечника человека по количеству активных бактерий и типу адгезинов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 1991. № 2. С. 21–23.
15. Урсова Н.И. Иммунологическая функция интестинальной микрофлоры, ее нарушения и возможности коррекции // Альманах клинической медицины. 2015. № 40. С. 35–46. EDN: UJUTMJ
16. Талдыкина А.А., Семенютин В.В. Влияние органических кислот на микрофлору кишечника цыплят-бройлеров // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны : материалы X Междуна-р. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, (23–24 ноября 2021 г.). СПб., 2021. С. 351–352.
17. Воробьев АА, Несвижский ЮВ, Богданова ЕА, Корнеев М.Л. Особенности микробиоценоза при-стеночного муцина желудочно-кишечного тракта крыс // Журнал микробиологии, эпидемиологии и им-мунобиологии. 2005. № 6. С. 3–7. EDN: HSUXFL
18. Шубич М.Г. Выявление катионного белка в цитоплазме лейкоцитов с помощью бромфенолового синего // Цитология. 1974. Т. 16. № 10. С. 1321–1322. EDN: QBTHXD

References

1. Yurina GV, Popkova SM, Leschuk SI. Disorders of symbiotic mutual relations a macroorganism — normal microflora and methods their corrections (review). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology*. 2008;1(2):97–101. (In Russ.). EDN: MNIXQH
2. Donnik IM, Pelevina NA, Vershinina IY. Analysis of dysbiotic disorders in the intestines of poultry in an industrial flock. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2008;(3):37–38. (In Russ.). EDN: IJERHT
3. Novik YaV, Kilp AS, Kiseleva KV, Arakantseva LA. The influence of probiotic preparations on the composition of the intestinal microflora of geese. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2025;(1):33–43. (In Russ.). doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202501105 EDN: WLHBLD
4. Melnichenko Yu A. The composition of the boilers intestinal microflora after using polyfunctional probiotics. *Animal Husbandry Products Production and Processing Technology*. 2015;(2):29–32. (In Russ.). EDN: VSYFSN
5. Bovkun GF, Vashchekin EP, Malik NI, Malin EV. Intestinal dysbiosis in young birds. *Veterinariya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh*. 2008;(5):51–52. (In Russ.). EDN: ZCRLET
6. El-Hack ME, El-Saadony M, et al. Probiotics in poultry feed: a comprehensive review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020;104(6):1835–1850. doi: 10.1111/jpn.13454 EDN: PITKUF
7. Khurai RYa, Marchenko TV. Disbakterioz zhivotnykh [Dysbiosis of animals]. *Veterinaria Kubani*. 2010;(6):10–11. (In Russ.). EDN: MYEIBF
8. Korneev ML, Mironov AYu, Seleznev AS, Gorokhov MS. Microbiota the parietal mucin and its modification by the probiotics. *Humans and their Health*. 2008;(2):6–10. (In Russ.). EDN: JWALYX
9. Abdel-Moneim AE, Elbaz AM, Khidr RE, Badri FB. Effect of in Ovo inoculation of *Bifidobacterium* spp. on growth performance, thyroid activity, ileum histomorphometry and microbial enumeration of broilers. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2020;12(3):873–882. doi: 10.1007/s12602–019–09613-x
10. Cetin N, Guclu B, Cetin E. The effects of probiotic and mannanoligosaccharide on some haematological and immunological parameters in turkeys. *Journal of Veterinary Medicine. Series A*. 2005;52(6):263–267. doi: 10.1111/j.1439-0442.2005.00736.x
11. Dai D, Qiu K, et al. Organic acids as alternatives to antibiotic growth promoters alter the intestinal structure and microbiota and improve the growth performance in broilers. *Frontiers in Microbiology*. 2021;11:1–14. doi: 10.3389/fmicb.2020.618144
12. Gusils C, Opezzo O, Pizzaro R, González S. Adhesion of probiotic lactobacilli to chick intestinal mucus. *Canadian Journal of Microbiology*. 2003;49(7):472–478. doi: 10.1139/w03-055
13. Hager CL, Isham N, Schrom KP, et al. Effects of a novel probiotic combination on pathogenic bacterial-fungal polymicrobial biofilms. *mBio*. 2019;10(2):e00338–19. doi: 10.1128/mBio.00338–19
14. Gizatullina SS, Birger LI, Kulnich A, et al. A method for assessing the state of the human intestinal microflora by the number of active bacteria and the type of adhesins. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 1991;(2):21–23. (In Russ.).
15. Ursova NI. Immunological function of intestinal microflora, its abnormalities and possibilities of correction. *Almanac of Clinical Medicine*. 2015;(40):35–46. (In Russ.). EDN: UJUTMJ
16. Taldykina AA, Semenytin VV. The effect of organic acids on the intestinal microflora of broiler chickens. In: *Znaniya molodykh dlya razvitiya veterinarnoi meditsiny i APK strany: materialy Kh Mezhdunar. nauch. konf.*

studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: Proceedings of the X International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Saint Petersburg; 2021:351–352. (In Russ.).

17. Vorobyev AA, Nesvizhsky YuV, Bogdanova EA, Korneev ML. Specific features of the microbiocenosis of parietal mucin in the gastrointestinal tract of rats. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2005;(6):3–7. (In Russ.). EDN: HSUXFL

18. Shubich MG. Detection of cationic protein in the cytoplasm of leukocytes using bromophenol blue. *Tsitologiya*. 1974;(10):1321–1322. (In Russ.). EDN: QBTHXD

Об авторах:

Лещёва Надежда Алексеевна — кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующая кафедрой ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Российская Федерация, 644008, г. Омск, Институтская площадь, д. 1; e-mail: na.lescheva@omgau.org

ORCID: 0000-0001-6334-0422 SPIN-код: 1482-8172

Плешакова Валентина Ивановна — доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Российская Федерация, 644008, г. Омск, Институтская площадь, д. 1; e-mail: vi.pleshakova@omgau.org

ORCID: 0000-0001-7896-2339 SPIN-код: 4372-5742

About authors:

Lescheva Nadezhda Alekseevna — Candidate of Veterinary Sciences (PhD in Veterinary Medicine), Associate Professor, Head of the Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 1 Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russian Federation; e-mail: na.lescheva@omgau.org

ORCID: 0000-0001-6334-0422 SPIN-code: 1482-8172

Pleshakova Valentina Ivanovna — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 1 Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russian Federation; e-mail: vi.pleshakova@omgau.org

ORCID: 0000-0001-7896-2339 SPIN-code: 4372-5742



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-372-388

EDN JYNPW

УДК 638.178

Научная статья / Research article

Тяжелые металлы в прополисе и его экстрактах

Е.А. Вахонина  , **Е.П. Романова** 

ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», г. Рыбное, Российская Федерация

 landych899@gmail.com

Аннотация. Цель исследования — определить содержание тяжелых металлов в нативном прополисе и его экстрактах: спиртовых 5- и 20%-м и спиртовом концентрированном 70%-м; водных экстрактах прополиса, приготовленных разными способами для оптимизации технологии производства и минимизации поступления в конечный продукт токсичных металлов. Определены концентрации трех токсичных металлов (Cr, Cd, Pb) в образцах нативного прополиса Рязанской области и указанных экстрактах. Содержание загрязняющих веществ оценивали методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Результаты показали присутствие всех проанализированных металлов в образцах нативного прополиса. Концентрации элементов варьировались в пределах: 0...0,92 мг/кг для Pb, 0...0,2 мг/кг для Cd, 0...1,54 мг/кг для Cr. Нативный прополис можно рассматривать как индикатор токсичных металлов в окружающей среде. Для всех проанализированных металлов наблюдалось значительное снижение их концентрации при переходе в этанольные и водные экстракты прополиса, что делает продукт безопасным для потребления. Наличие токсичных тяжелых металлов обуславливает необходимость проверки качества продуктов пчеловодства перед их использованием в качестве пищевых добавок. Учитывая, что продукты пчеловодства весьма неоднородны и в зависимости от факторов окружающей среды различаются по содержанию элементов, следует разработать стандарты, регулирующие допустимые уровни неорганических загрязняющих веществ.

Ключевые слова: продукты пчеловодства, показатели безопасности, токсичные элементы

Вклад авторов: Авторы в равной степени внесли свой вклад в подготовку этого исследования и рукописи, прочитали окончательную версию рукописи и одобрили ее.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ по Соглашению о представлении из федерального бюджета грантов субсидии от 17 апреля 2025 года № 075-15-2025-172 в ГИИС «Электронный бюджет» (внутренний номер в системе экспертиз sstr № 09.СПЦ25.23).

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

История статьи: поступила в редакцию 17 марта 2025 г., принята к публикации 5 марта 2026 г.

© Вахонина Е.А., Романова Е.П., 2026



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

Для цитирования: Вахонина Е.А., Романова Е.П. Тяжелые металлы в прополисе и его экстрактах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 372–388. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-372-388 EDN: JYNPEW

Heavy metal content in propolis and propolis extracts

E.A. Vakhonina  , E.P. Romanova 

Federal Beekeeping Research Centre, Rybnoye, Russian Federation

 landych899@gmail.com

Abstract. The aim of the study was to determine the content of heavy metals in native propolis and its extracts: alcoholic extracts (5%, 20%, and concentrated 70%) and aqueous extracts of propolis prepared via different methods, in order to optimize production technology and minimize the transfer of toxic metals into the final product. The concentrations of three toxic metals (Cr, Cd, Pb) were determined in native propolis samples from the Ryazan region and in the indicated extracts. The content of these pollutants was assessed by atomic absorption spectrophotometry. The results showed the presence of all analyzed metals in native propolis samples. The concentrations of elements ranged from 0 to 0.92 mg/kg for Pb, from 0 to 0.2 mg/kg for Cd, and from 0 to 1.54 mg/kg for Cr. Native propolis can be considered an indicator of toxic metals in the environment. For all analyzed metals, a significant decrease in their concentration was observed upon transfer into ethanolic and aqueous propolis extracts, making the product safe for consumption. The presence of toxic heavy metals necessitates quality control of bee products before their use as food additives. Given that bee products are highly heterogeneous and vary in elemental content depending on environmental factors, standards should be developed to regulate permissible levels of inorganic pollutants.

Keywords: beekeeping products, safety indicators, toxic elements

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

Acknowledgments. The work was carried out with financial support from the project of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the Agreement on the provision of grants from the federal budget dated 17 April 2025 No. 075-15-2025-172 in the State Integrated Information System “Electronic Budget” (internal expert system number sstp No. 09.SPC25.23).

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

Article history: received 17 March 2025; accepted 5 March 2026.

For citation: Vakhonina EA, Romanova EP. Heavy metals in propolis and its extracts. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):372–388. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-372–388 EDN: JYNPEW

Введение

Медоносные пчелы и продукты пчеловодства, в т. ч. прополис, могут служить биоиндикаторами загрязнения окружающей среды токсичными элементами. Исследования прополиса и экстрактов прополиса на содержание токсичных элементов должны проводиться регулярно для их безопасного применения [1].

Пористая структура прополиса адсорбирует частицы, находящиеся в воздухе и в воде. Тяжелые металлы: свинец, кадмий и токсичный элемент ртуть — накапливаются прополисом, в процессе хелатирования удерживаются в его химической структуре. Прополис может служить косвенным биоиндикатором тяжелых металлов, использование прополиса в качестве биоиндикатора не стандартизировано [2].

В исследованиях содержания тяжелых металлов и токсичных элементов в почве и прополисе на территории Республики Македония установлено, что относительные концентрации тяжелых металлов в почве уменьшаются в следующем порядке: $Zn > Cr > Cu > Pb > Cd$. Общая тенденция содержания тяжелых металлов в прополисе в порядке убывания выглядит следующим образом: $Pb > Cr > Zn > Cu \approx Cd$ [3].

Разные образцы бразильского прополиса (красный, желтый, коричневый, зеленый), всего 19, исследовали на содержание токсичных металлов: свинца, кадмия и мышьяка. Концентрация этих элементов в 7 образцах превысила допустимые пределы. Образцы сырого прополиса могут служить индикатором содержания токсичных металлов кадмия, свинца, мышьяка и ртути в окружающей среде [4–7].

При исследовании 5 образцов прополиса Пермского края установили превышение ПДК свинца в 1 образце, содержание кадмия не превышало предельно допустимые концентрации, предусмотренные ТР ТС¹, СанПиН² [8].

Элементы в основном переносятся из почвы, воздуха и/или воды в источники нектара, которые переносятся в улей пчелами.

Элементный состав прополиса обусловлен загрязнением окружающей среды (почвы, воздуха и воды) и загрязнением от контейнеров или другого оборудования, используемого в пчеловодческой практике.

В организм человека свинец попадает из пищи, воздуха и питьевой воды. В 47 исследованных образцах прополиса из разных регионов Турции свинец обнаружили в 9 образцах, содержание не превышало 2 мг/кг [9].

Тяжелые металлы: свинец, мышьяк, молибден, кадмий и ртуть — высокотоксичны и у них нет какой-либо подтвержденной биологической роли. Высокотоксичные металлы присутствуют в окружающей среде: в воздухе, воде и почве. Тяжелые металлы, такие как кадмий, не поддаются биологическому разложению, а их концентрация в окружающей среде постоянно увеличивается. Кадмий вызывает окислительный стресс, синтез активных форм кислорода, повреждающих белки, ДНК; увеличивает образование перекисей и образование гидроперекисей, которые нарушают белковый, углеводный, липидный обмен и вызывают дисбаланс оксидантов-антиоксидантов. Кадмий (Cd) имеет самую высокую растворимость в воде по сравнению с другими тяжелыми металлами [10, 11].

После очистки прополиса до приготовления экстрактов более 40 % свинца, кадмия, хрома и мышьяка удалили путем восковой сепарации. Удаление части

¹ ТР ТС 021 / 2011. О безопасности пищевой продукции. 2011.

² Сан ПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2002.

воска из нативного прополиса имеет значение при высоком уровне загрязняющих веществ (токсичных элементов, пестицидов), так как при очистке снижается уровень биологически активных компонентов [12].

Этанол — наиболее важный растворитель сырого прополиса для целей медицинского и химического анализа, флавоноиды составляют значимую группу, которая растворяется в органических растворителях, таких как этиловый спирт.

Этанол имеет низкий углеродный след при его производстве (биорастворитель) и, как правило, признан безопасным. Вода регулярно применяется в качестве экстракционного растворителя, в основном для большинства гидрофильных соединений [13].

Исследования, проведенные на образцах прополиса, выявили резкое снижение токсичности для клеток млекопитающих при удалении металлов из спиртовых экстрактов прополиса, что указывает на потенциал для медицинских и биомедицинских применений. Присутствие тяжелых металлов в спиртовых экстрактах прополиса способствует антибиопленочной антибактериальной активности. Степень активности не определена. При удалении тяжелых металлов из спиртовых экстрактов прополиса снижается их токсичность для клеток млекопитающих [14].

В исследовании концентрации токсичных металлов (свинец, олово, никель, хром, кадмий и ртуть) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии бразильского сырого прополиса установлено наличие в прополисе этих элементов. Исследование спиртовых экстрактов, приготовленных из образцов прополиса, показало снижение содержания токсичных элементов в экстрактах, что делает продукт безопасным для использования [15].

Этанольные экстракты прополиса показали восстанавливающие свойства и содержание фенольных соединений, исследования обосновывают необходимость баланса между потенциальными рисками от содержания токсичных элементов и антиоксидантными свойствами [16].

В зависимости от степени окисления хром считается либо незаменимым элементом, либо канцерогенным. Прополис накапливает хром в результате промышленной деятельности.

Свинец токсичен для детей и взрослых, вызывает анемию, гипертонию, когнитивные нарушения, иммунодефицит, бесплодие, задержки развития костей и зубов, дефицит витамина D, а также печеночные и почечные эффекты.

Коэффициент переноса хрома в этанольный экстракт прополиса составил от 8,73 до 30,4 %. Наибольшее количество хрома извлекается 80 % этанолом. Несмотря на достаточно высокое содержание кадмия в нативном прополисе, у него небольшой коэффициент переноса в экстракт.

Экстракты прополиса применяются в небольших количествах, несколько миллилитров в день, потенциально токсичные элементы поступают в организм в количестве наногرامмов, что делает прием экстрактов прополиса безопасным [1, 17].

При сравнении методов экстракции прополиса этанолом и сверхкритической флюидной экстракции установили, что содержание свинца, кадмия и мышьяка при сверхкритической экстракции ниже, чем в этанольной. С точки зрения безопас-

ности пищевых продуктов от токсичных элементов сверхкритическая флюидная экстракция превосходит этанольную [18].

Цель исследования — определение содержания тяжелых металлов в нативном прополисе и его экстрактах: спиртовом 5%-м, спиртовом 20%-м и спиртовом концентрированном 70%-м, приготовленных разными способами водных экстрактах для оптимизации технологии производства прополиса и минимизации поступления в конечный продукт токсичных металлов.

Материалы и методы исследования

Исследования прополиса и экстрактов на его основе проводили в лаборатории ФНЦ пчеловодства в течение 2020–2025 гг.

Образцы прополиса для приготовления экстрактов были получены с пасек Рязанской области, Кадомского, Сасовского, Сараевского, Рыбновского и Рязского районов.

Подготовка прополиса. Прополис предварительно охлаждали в морозильной камере при $t = -6 \pm 2$ °С в течение 60 минут, после замораживания измельчали на лабораторной мельнице до состояния порошка с размером частиц 1–3 мм. Порошок прополиса просеивали через сито.

Спиртовая экстракция прополиса. Навеску прополиса для приготовления спиртового экстракта прополиса рассчитывали по формуле

$$H = \frac{5 \cdot 1000}{100 - (M.P. + B)} \text{ или } H = \frac{20 \cdot 1000}{100 - (M.P. + B)}, \quad (1)$$

где м.п. — массовая доля нерастворимых веществ с механическими примесями в исходном прополисе, %; в — массовая доля воска в исходном прополисе, %.

Спиртовой экстракт прополиса готовили в концентрации 5 и 20 %. Для приготовления экстракта прополиса 5%-го использовали этиловый спирт 50%-й концентрации, для экстракта прополиса 20%-го — этиловый спирт 70%-й. Экстрагирование прополиса проводили в стеклянной емкости, без доступа света.

Активные вещества прополиса извлекали методом мацерации в течение 7 дней, без доступа света.

Далее проводили отстаивание, фильтрование и промывание нерастворимого остатка. Фильтрование осуществляли через бумажный фильтр средней плотности, на который переносили нерастворившийся остаток.

Получение концентрированного экстракта прополиса. Для получения концентрированного экстракта прополиса использовали этиловый спирт 96% концентрации. Порошок прополиса экстрагировали 96%-м этиловым спиртом в стеклянной посуде без доступа света в течение 7 дней, при периодическом перемешивании. Далее проводили отстаивание, фильтрование и промывание нерастворимого остатка. Фильтровали экстракт прополиса через бумажный фильтр средней плотности, на который переносили остаток прополиса после экстракции. Экстракт прополиса концентрированный получали

сгущением спиртового экстракта прополиса. Удаление растворителя осуществляли перегонкой. Сгущение экстракта прополиса контролировали по коэффициенту рефракции. Коэффициент рефракции соответствует содержанию $n_D^{20} = 1,51\text{--}1,52$ сухих веществ в концентрате 70 %. Концентрированный экстракт прополиса содержит минимальное количество воска и не содержит механических примесей.

Получение водных экстрактов прополиса. Прополис охлаждали в морозильной камере при $t = -6 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 60 минут и измельчали на лабораторной мельнице, до порошка с размером частиц 1–3 мм. Порошок прополиса просеивали через сито.

Водный прополис экстрагировали четырьмя способами.

Способ 1. Экстракцию проводили на магнитной мешалке 5 часов при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. Порошок прополиса и вода, 1 : 10 по массе.

Способ 2. Экстракцию проводили на водяной бане с обратным холодильником, 5 часов, при $t = 93 \pm 2^\circ\text{C}$. Порошок прополиса и вода, 1 : 10 по массе.

Способ 3. Экстракцию ультразвуком проводили в режиме кавитации 60 минут непрерывно. Затем экстракцию проводили на магнитной мешалке, 5 часов, при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. Порошок прополиса и вода, 1 : 10 по массе.

Способ 4. Экстракцию ультразвуком проводили в режиме кавитации, 60 минут непрерывно. Затем экстракцию проводили на водяной бане с обратным холодильником, 5 часов, при $t = 93 \pm 2^\circ\text{C}$. Порошок прополиса и вода, 1 : 10 по массе.

Метод извлечения веществ с использованием обратного холодильника — экстракция твердого тела в жидкость с помощью кипящего растворителя, без потери летучих веществ.

Ультразвуковую экстракцию прополиса проводили на ультразвуковой установке HD 2070, GmbH & Co, Германия.

Технические параметры: ультразвуковая частота $20\text{ кГц} \pm 500\text{ Гц}$; ультразвуковой режим работы импульсный; температура экстракции $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$.

10 г прополиса переносили в колбу объемом 200 см^3 , добавляли 100 см^3 экстрагента воды и подвергали ультразвуковой обработке, опуская в стакан источник ультразвука, при частоте 20 кГц, максимальной мощности 100 Вт, амплитуде ультразвука 100 %, температуре 20°C , время обработки ультразвуком 60 мин.

Принцип метода экстракции. Ультразвук состоит из высокоинтенсивных низкочастотных звуковых волн. Таким образом, он влияет на физические, биохимические и механические свойства, что вызывает акустическую кавитацию с образованием, ростом и схлопыванием пузырьков. Этот метод является экологически чистым, имеет лучшие выходы экстракции, сокращает время процесса, является высокоселективным, не использует высокие температуры и может применяться в сочетании с другими методами, такими как экстракция с использованием сверхкритических жидкостей. Ультразвуковая обработка генерирует акустическую кавитацию в жидкой среде случайным образом и постоянно, высвобождая большое количество энергии посредством турбулентности и массопереноса, резко разрушает пузырьки и оказывает давление на прополис, способствуя взаимодействию с растворителем. Ультразвук высокой интенсивности может также вызывать образование различных свободных радикалов, которые могут реагировать с полифенолами (например,

кверцетином), что приводит к многочисленным нежелательным реакциям, таким как окисление, присоединение, полимеризация и разложение. Важно оптимизировать условия ультразвука во время экстракции полифенолов.

Количество элементов устанавливали спектрофотометрическим методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре Spectr AA 220FS. Содержание свинца, кадмия и стронция определялось с помощью воздушно-ацетиленового пламени на газовом атомизаторе; мышьяка — на графитовой печи спектрофотометра с использованием палладиевого модификатора фирмы «Мерск».

Исследования проводили в трехкратной повторности. Обработку экспериментальных данных осуществляли в программе Microsoft Excel. Результаты представляли в виде среднего значения со стандартным отклонением и дисперсии. При статистической обработке данных использовали параметрический t-критерий Стьюдента.

Результаты исследования и обсуждение

Исследования показали, что прополис, заготовленный для приготовления спиртовых экстрактов, содержал токсичные элементы: свинец, кадмий, хром (табл. 1). Значения данных элементов не превышало предельно допустимые концентрации, предусмотренные ТР ТС³, Сан ПиН⁴.

Таблица 1

Содержание токсичных элементов в прополисе исходном, n = 17

Показатель	Концентрация элементов, мг/кг		
	Pb	Cd	Cr
Среднее значение $M \pm m$	4,87 ± 0,92	0,059 ± 0,02	0,19 ± 0,12
Пределы колебаний lim	0–11,98	0–0,2	0–1,54
Стандартное отклонение σ	3,81	0,08	0,49
Норма по ТР ТС 021 / 2011	1,0	1,0	—

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

Table 1

Content of toxic elements in the original propolis, n = 17

Factor	Concentration of elements, mg/kg		
	Pb	Cd	Cr
Average value $M \pm m$	4.87 ± 0.92	0.059 ± 0.02	0.19 ± 0.12
Oscillation limits lim	0–11.98	0–0.2	0–1.54
Standard deviation σ	3.81	0.08	0.49
Standard according to TR CU 021/2011	1.0	1.0	—

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

³ ТР ТС 021 / 2011. О безопасности пищевой продукции. 2011.
⁴ Сан ПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2002.

Свинец обнаружен в 14, кадмий — в 7, хром — в 4 из 17 образцов экстракта концентрированного.

Приготовленные спиртовые экстракты прополиса (5-, 20- и 70% (концентрированный)) проанализированы на содержание в них токсичных элементов (табл. 2, 3 и 4).

Концентрация спиртового экстракта прополиса составила 5,065...5,077 %; содержание сухих веществ в спиртовом экстракте прополиса 5% составило от 3,54 до 4,67 %. Коэффициент рефракции 1,362...1,365.

Таблица 2

Содержание токсичных элементов в спиртовом прополисе, 5%-м, спирт 50%, n = 5

Показатель	Концентрация элементов, мг/кг		
	Pb	Cd	Cr
Среднее значение $M \pm m$	0,02 ± 0,1	0	0
Пределы колебаний lim	0–0,02	0	0
Стандартное отклонение σ	0	0	0
Норма по ТР ТС 021 / 2011	1,0	1,0	-

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

Table 2

Content of toxic elements in alcohol propolis 5%, alcohol 50%, n = 5

Factor	Concentration of elements, mg/kg		
	Pb	Cd	Cr
Average value $M \pm m$	0.02 ± 0.1	0	0
Oscillation limits lim	0–0.02	0	0
Standard deviation σ	0	0	0
Standard according to TR CU 021/2011	1.0	1.0	—

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

Концентрация спиртового экстракта прополиса составила 20,43 ± 1,73 %; содержание сухих веществ в 20%-м спиртовом экстракте прополиса составило в среднем 16,99 ± 1,0 % от 9,97 до 22,19 %. Коэффициент рефракции спиртового экстракта прополиса 20% — 1,3788...1,417.

Таблица 3

Содержание токсичных элементов в спиртовом прополисе
20%-м, спирт 70%, n = 16

Показатель	Концентрация элементов, мг/кг		
	Pb	Cd	Cr
Среднее значение $M \pm m$	0,17 ± 0,06	0	0,009 ± 0,001
Пределы колебаний lim	0–0,53	0	0,003–0,01
Стандартное отклонение σ	0,02	0	0,003
Норма по ТР ТС 021 / 2011	1,0	1,0	–

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

Table 3

Content of toxic elements in alcohol propolis 20%, alcohol 70%, n = 16

Factor	Concentration of elements, mg/kg		
	Pb	Cd	Cr
Average value $M \pm m$	0.17 ± 0.06	0	0.009 ± 0.001
Oscillation limits lim	0–0.53	0	0.003–0.01
Standard deviation σ	0.02	0	0.003
Standard according to TR CU 021/2011	1.0	1.0	–

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

В образцах экстракта прополиса концентрированного, коэффициент рефракции ($n_{\text{д}}^{20}$) составил 1,49...1,556. Массовая доля сухих веществ в экстракте прополиса концентрированном — от 61,28 до 79,7 %, в среднем $71,55 \pm 1,06$ %.

Свинец обнаружен в 14 образцах экстракта концентрированного (n = 21), или в 67 % от общего количества образцов.

Таблица 4

Содержание токсичных элементов в спиртовом прополисе 70%-м, n = 21

Показатель	Концентрация элементов, мг/кг		
	Pb	Cd	Cr
Среднее значение $M \pm m$	0,371 ± 0,1	0,01 ± 0,004	0,03 ± 0,01
Пределы колебаний lim	0,005–1,0	0–0,04	0,009–0,06
Стандартное отклонение σ	0,39	0,02	0,02
Норма по ТР ТС 021 / 2011	1,0	1,0	–

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

Table 4

Content of toxic elements in 70% concentrated propolis extract, $n = 21$

Factor	Concentration of elements, mg/kg		
	Pb	Cd	Cr
Average value $M \pm m$	0.371 ± 0.1	0.01 ± 0.004	0.03 ± 0.01
Oscillation limits lim	0.005–1.0	0–0.04	0.009–0.06
Standard deviation σ	0.39	0.02	0.02
Standard according to TR CU 021/2011	1.0	1.0	–

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

Кадмий обнаружен в 7 образцах экстракта концентрированного ($n = 21$), или в 33 % от общего количества образцов.

Хром обнаружен в 4 образцах экстракта ($n = 21$), т.е. в 19 % образцов.

Установлено:

– в 5% спиртовой экстракт переходит 0,41 % свинца; в 20% спиртовой экстракт прополиса из исходного прополиса экстрагируется 3,49 % свинца, 67,79 % кадмия, 4,73 % хрома;

– в концентрированный экстракт прополиса переходит 7,62 % свинца, 67,8 % кадмия, 15,78 % хрома из исходного материала;

– при увеличении концентрации экстракта прополиса с 5 до 20 % содержание свинца в них возрастает в 8,5 раз, кадмия в 8 раз, хрома в 9 раз;

– при 70% концентрации содержание свинца в экстрактах прополиса в 2,17 раза выше, чем в 20% экстрактах, и в 18,5 раз выше, чем в 5% экстрактах прополиса;

– содержание кадмия при увеличении концентрации прополиса с 20 до 70 % не меняется;

– содержание хрома в экстрактах прополиса при 70% концентрации в 3,33 раза выше, чем в 20% экстрактах и в 30 раз выше, чем в 5% экстрактах прополиса (рис. 1).

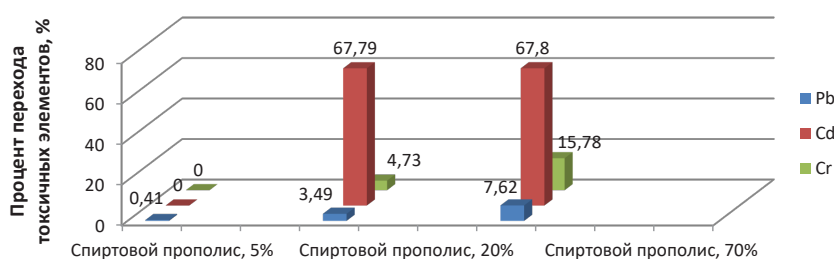


Рис. 1. Процент перехода свинца, кадмия и хрома в спиртовые экстракты прополиса 5, 20 и 70%

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

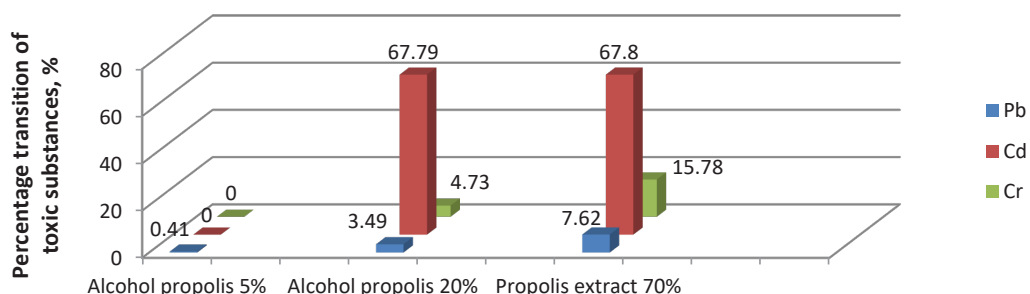


Fig. 1. Percentage of lead, cadmium and chromium transition in alcohol extracts of propolis of 5, 20, and 70%

Source: compiled by E.A. Vakhonina and E.P. Romanova.

Обобщая результаты, можно отметить, что с увеличением концентрации экстрактов прополиса растет содержание в них токсичных элементов.

Метод основан на высушивании навески водного экстракта прополиса до постоянной массы при определенной температуре и расчете потери массы после высушивания по отношению к массе навески до высушивания.

Количество сухих веществ в водном экстракте прополиса, приготовленном при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, составляет $0,26 \pm 0,02\text{ }\%$, при $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $0,59 \pm 0,04\text{ }\%$. Количество сухих веществ в водных экстрактах прополиса, приготовленных с применением обработкой ультразвуком при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, (ультразвуковая экстракция) составляет $0,28 \pm 0,09$, при $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ультразвуковая экстракция) — $0,49 \pm 0,05\text{ }\%$.

Таблица 5

Содержание токсичных элементов в водном экстракте прополиса, $n = 21$

Показатель	Концентрация элементов, мг/кг		
	Pb	Cd	Cr
Водный раствор прополиса, $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$			
Среднее значение $M \pm m$	$0,06 \pm 0,01$	$0,0005 \pm 0$	$0,0009$
Пределы колебаний $\lim$	$0-0,15$	$0-0,0005$	$0-0,0009$
Стандартное отклонение σ	$0,05$	0	0
Водный раствор прополиса, $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$			
Среднее значение $M \pm m$	$0,1 \pm 0,02$	$0,002 \pm 0,0009$	0
Пределы колебаний $\lim$	$0-0,29$	$0-0,005$	0
Стандартное отклонение σ	$0,07$	$0,002$	0
Норма по ТР ТС 021 / 2011	$1,0$	$1,0$	–

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

Table 5

Content of toxic elements in aqueous extract of propolis, $n = 21$

Factor	Concentration of elements, mg/kg		
	Pb	Cd	Cr
Aqueous solution of propolis, $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$			
Average value $M \pm m$	0.06 ± 0.01	0.0005 ± 0	0.0009
Oscillation limits lim	0–0.15	0–0.0005	0–0.0009
Standard deviation σ	0.05	0	0
Aqueous solution of propolis, $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$			
Average value $M \pm m$	0.1 ± 0.02	0.002 ± 0.0009	0
Oscillation limits lim	0–0.29	0–0.005	0
Standard deviation σ	0.07	0.002	0
Standard according to TR CU 021/2011	1.0	1.0	–

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

Кадмий и хром обнаружены в одном образце из $n = 21$.

Таблица 6

Содержание токсичных элементов в водном экстракте прополиса, ультразвук, $n = 21$

Показатель	Концентрация элементов, мг/кг		
	Pb	Cd	Cr
Водный раствор прополиса, $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ультразвук			
Среднее значение $M \pm m$	$0,018 \pm 0,01$	0	0
Пределы колебаний lim	0,005–0,06	0	0
Стандартное отклонение σ	0,02	0	0
Водный раствор прополиса, $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$, ультразвук			
Среднее значение $M \pm m$	$0,04 \pm 0,007$	$0,0012 \pm 0,001$	0
Пределы колебаний lim	0,013–0,066	0–0,005	0
Стандартное отклонение σ	0,02	0,002	0
Норма по ТР ТС 021 / 2011	1,0	1,0	–

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

Table 6

Content of toxic elements in aqueous extract of propolis, ultrasound, $n = 21$

Factor	Concentration of elements, mg/kg		
	Pb	Cd	Cr
Aqueous solution of propolis, $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ultrasound			
Average value $M \pm m$	0.018 ± 0.01	0	0
Oscillation limits lim	0.005–0.06	0	0
Standard deviation σ	0.02	0	0
Aqueous solution of propolis, $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$, ultrasound			
Average value $M \pm m$	0.04 ± 0.007	0.0012 ± 0.001	0
Oscillation limits lim	0.013–0.066	0–0.005	0
Standard deviation σ	0.02	0.002	0
Standard according to TR CU 021/2011	1.0	1.0	–

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

Определено, что в водный экстракт прополиса, приготовленный при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, переходит 1,23 % свинца из исходного прополиса, в приготовленный при $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 2,05 %. В водные экстракты прополиса, приготовленные с применением ультразвука при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, переходит 0,37 % свинца из исходного прополиса, и при $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 0,82 % свинца (рис. 2).

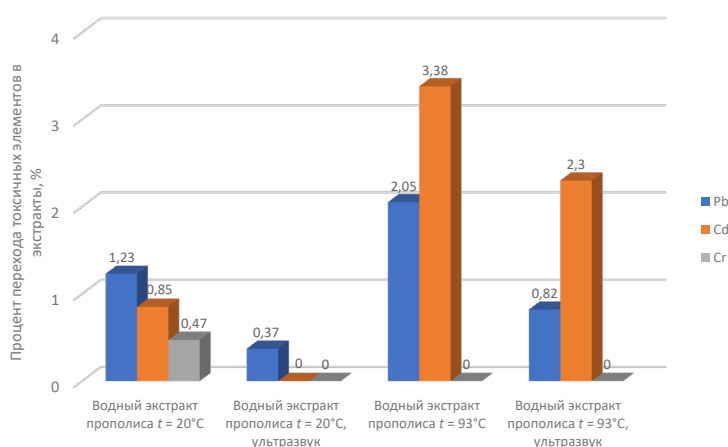


Рис. 2. Процент перехода свинца, кадмия и хрома в водные экстракты прополиса

Источник: выполнено Е.А. Вахониной, Е.П. Романовой.

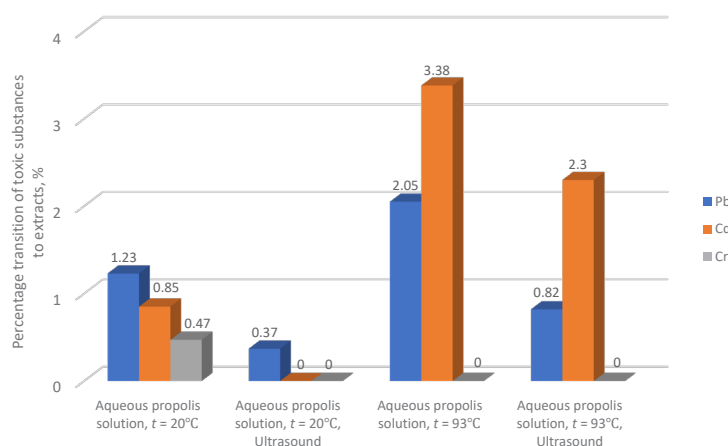


Fig. 2. Percentage of lead, cadmium and chromium transfer into aqueous extracts of propolis

Source: compiled by E.A. Vakhonina, E.P. Romanova.

Кадмий в водном экстракте прополиса, приготовленном при $t = 20^{\circ}\text{C}$ с применением ультразвука, не обнаружен, в водных экстрактах прополиса, приготовленных при $t = 20^{\circ}\text{C}$ и $t = 93^{\circ}\text{C}$ без применения ультразвука, доля перехода из исходного прополиса составила 0,85 и 3,38 % соответственно. Доля перехода в водный экстракт, приготовленный при $t = 93^{\circ}\text{C}$ с применением ультразвука, составила 2,3 %. Хром не обнаружен в водных экстрактах прополиса, приготовленных при $t = 20^{\circ}\text{C}$ и $t = 93^{\circ}\text{C}$ с применением ультразвука и при $t = 93^{\circ}\text{C}$ без использования ультразвука. В водных экстрактах прополиса, приготовленных при $t = 20^{\circ}\text{C}$ без применения ультразвука, содержание хрома составило 0,47 % от содержания в исходном прополисе.

Заключение

Оценка токсичности прополиса и экстрактов прополиса при помощи атомно-адсорбционного спектрофотометра помогла выявить содержание токсичных элементов в образцах прополиса Рязанской области, спиртовых экстрактах прополиса 5% и 20% и концентрированном 70%, водных экстрактах прополиса, приготовленных разными способами.

Установлено, что наименьшее количество токсичных элементов переходит в 5%-е спиртовые экстракты и водные экстракты при $t = 20^{\circ}\text{C}$.

Увеличение концентрации спиртовых экстрактов прополиса приводит к повышению процента перехода токсичных металлов в экстракты.

Ультразвуковая обработка повышает процент перехода кадмия из исходного материала в водные экстракты прополиса.

Среднее содержание свинца в прополисе Рязанской области составляет $4,87 \pm 0,92$ мг/кг. Превышение предельно допустимой концентрации свинца в нативном прополисе составило от 0 до 11,9 раза. В действующей нормативной доку-

ментации (СанПиН 2.3.2. 1078–01; ТР ТС 021/2011) содержание свинца в прополисе нормируется 1,0 мг/кг.

При исследовании спиртовых экстрактов прополиса установлено, что содержание свинца составило 0,02 мг/кг (0,41 % от содержания в прополисе). Кадмий и хром в 5% спиртовом экстракте прополиса не обнаружены.

В 20% спиртовом экстракте прополиса содержание свинца составило 0,17 мг/кг (3,49 % от содержания в исходном прополисе), хрома — 0,04 мг/кг (67,79 %), кадмия — 0,009 мг/кг (4,73 %). С повышением концентрации спиртовых экстрактов прополиса увеличивается степень перехода токсичных металлов.

Исследование содержания тяжелых металлов в концентрированном экстракте прополиса 70% показало: свинца содержится 0,37 мг/кг (переход 7,62 %), кадмия — 0,04 мг/кг (67,8 %), хрома — 0,03 мг/кг (15,78 %). Определенные количества тяжелых металлов в концентрированном экстракте прополиса 70% меньше ПДК (СанПиН 2.3.2. 1078–01; ТР ТС 021/2011), что делает безопасным применение экстракта.

В водных экстрактах прополиса, приготовленных разными способами: при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) без ультразвука и с применением ультразвука (2), при $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ без ультразвука (3) и с применением ультразвука (4), содержание свинца составило 0,06 мг/кг (1); 0,018 мг/кг (2); 0,1 мг/кг (3) и 0,04 мг/кг (4). Процент перехода от 0,37 до 2,05 %.

Хром в водных экстрактах прополиса не обнаружен. Содержание кадмия в водном экстракте прополиса, приготовленном при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, составило 0,0005 мг/кг, в экстракте прополиса, приготовленном при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ с применением ультразвука кадмий не обнаружен. Содержание кадмия в водных экстрактах прополиса, приготовленных при $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$ без и с применением ультразвука, составило 0,002 и 0,012 мг/кг соответственно.

Необходимо совершенствовать технологию приготовления экстрактов прополиса для уменьшения количества токсичных элементов в них.

Экстракты прополиса применяются в небольших количествах, несколько миллилитров в день, потенциально токсичные элементы поступают в организм в количестве наногرامмов, что делает прием экстрактов прополиса безопасным.

Наличие токсичных тяжелых металлов делает необходимым проверку качества продуктов пчеловодства перед их использованием в качестве пищевых добавок. Учитывая, что продукты пчеловодства весьма неоднородны и в зависимости от факторов окружающей среды различаются по содержанию элементов, необходимо разработать стандарты, регулирующие допустимые уровни неорганических загрязняющих веществ.

Список литературы / References

1. Matuszewska E, Klupczynska A, Maciołek K, Kokot ZJ, Matysiak J. Multielemental analysis of bee pollen, propolis, and royal jelly collected in West-Central Poland. *Molecules*. 2021;26(9):2415. doi: 10.3390/molecules26092415 EDN: OHEAVG
2. Balderrama-Carmona AP, Ramos-García V, Ruiz-López L, Felipe-Ortega-Fonseca X. Propolis as a bioindicator of contamination with toxic metals. In: *Heavy Metal Remediation: Sustainable Nexus Approach*. Cham: Springer Nature Switzerland; 2024:289–317. doi: 10.1007/978-3-031-53688-5_13

3. Bogdanova Popov B, Hristova VK, Presilski S, Shariati MA, Najman S. Assessment of heavy metals in propolis and soil from Pelagonia region, Republic of Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2017;36(1):23–33. doi: 10.20450/mjce.2017.1004 EDN: XMZKJH
4. Hodel KVS, Machado BAS, Santos NR, Costa RG, Menezes-Filho JA, Umsza-Guez MA. Metal content of nutritional and toxic value in different types of Brazilian propolis. *The Scientific World Journal*. 2020;2020:4395496. doi: 10.1155/2020/4395496 EDN: QHJTHB
5. Matin G, Kargar N, Buyukisik HB. Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*. 2016;90:331–335. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.035
6. Borg D, Attard E. Honeybees and their products as bioindicators for heavy metal pollution in Malta. *Acta Brasiliensis*. 2020;4(1):60–69. doi: 10.22571/2526-4338282 EDN: YYVGAK
7. Maragou NC, Pavlidis G, Karasali H, Hatjina F. Determination of arsenic in honey, propolis, pollen, and honey bees by microwave digestion and hydride generation flame atomic absorption. *Analytical Letters*. 2017;50(11):1831–1838. doi: 10.1080/00032719.2016.1244542
8. Lazareva OI. Investigation of propolis toxicity. *Perm Agrarian Journal*. 2023;(3):89–93. (In Russ.). doi: 10.47737/2307-2873_2023_43_89 EDN: UJEPFR
Лазарева О.И. Исследование токсичности прополиса // Пермский аграрный вестник. 2023. № 3 (43). С. 89–93. doi: 10.47737/2307-2873_2023_43_89 EDN: UJEPFR
9. Mutlu C, Özer-Atakoğlu Ö, Erbaş M, Yalçın MG. Advances in the elemental composition analysis of propolis samples from different regions of Turkey by X-ray fluorescence spectrometry. *Biological Trace Element Research*. 2023;201(1):435–443. doi:10.1007/s12011-022-03152-3 EDN: IHDNDS
10. Végh R, Csóka M, Mednyánszky Z, Sipos L. Potentially toxic trace elements in bee bread, propolis, beeswax and royal jelly — a review of the literature and dietary risk assessment. *Chemosphere*, 2023;339:139571. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.139571 EDN: LVQCUQ
11. Ayhan H, Adiguzel C, Bayram KK, Akin AT, Apaydin FG, Kalender Yu. Effect of propolis supplementation on cadmium toxicity associated with renal and hepatic dysfunction in rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2025;87:127587. doi: 10.1016/j.jtemb.2024.127587 EDN: TMPGWR
12. Evran E, Durakli-Velioglu S, Velioglu HM, Boyaci IH. Effect of wax separation on macro- and micro-elements, phenolic compounds, pesticide residues, and toxic elements in propolis. *Food Science and Nutrition*. 2024;12(3):1736–1748. doi: 10.1002/fsn3.3866 EDN: PHYCZZ
13. Contieri LS, De Souza Mesquita LM, Sanches VL, Chaves JA, Pizani RS, Da Silva LC, Viganó JU, Ventura SPM, Rostagno MA. Recent progress on the recovery of bioactive compounds obtained from propolis as a natural resource: processes, and applications. *Separation and Purification Technology*. 2022;298:121640. doi: 10.1016/j.seppur.2022.121640 EDN: MAJUJL
14. Ambi A, Bryan J, Borbon K, Centeno D, Liu T, Chen TP, Cattabiani T, Traba C. Are Russian propolis ethanol extracts the future for the prevention of medical and biomedical implant contaminations? *Phytomedicine*. 2017;30:50–58. doi: 10.1016/j.phymed.2017.03.006
15. Orsi RO, Barros DCB, Silva RCM, Queiroz JV, Araújo WLP, Shinohara AJ. Toxic metals in the crude propolis and its transfer rate to the ethanolic extract. *Sociobiology*. 2018;65(4):640–644. doi: 10.13102/sociobiology.v65i4.3379 EDN: XKUPME
16. Gümrükçü S, Caner C, Balcioglu S, Altundag H. Comprehensive analysis of heavy metals and antioxidant properties in various spices and propolis. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2025;105(18):6614–6629. doi: 10.1080/03067319.2024.2425993
17. Soós Á, Bódi É, Várallyay S, Molnár S, Kovács B. Element composition of propolis tinctures prepared from Hungarian raw propolis. *LWT*. 2022;154:112762. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112762 EDN: QEEAKB

18. Xu LX, Lv B, Ye H. Analysis and comparison of heavy metal content in propolis with different processing technologies. *Journal of Food Safety and Quality*. 2020;11(15):5040–5046.

Об авторах:

Вахонина Елена Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела химико-биологических исследований продуктов пчеловодства, ФГБНУ «ФНИЦ пчеловодства», Российская Федерация, 391110, Рязанская область, г. Рыбное, ул. Почтовая, д. 22; e-mail: landych899@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8159-5856 SPIN-код: 1986-9523

Романова Елена Петровна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и молекулярно-генетических исследований медоносных пчел, ФГБНУ «ФНИЦ пчеловодства», Российская Федерация, 391110, Рязанская область, г. Рыбное, ул. Почтовая, д. 22, e-mail: elena.p56@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6473-1393 SPIN-код: 4089-5972

About the authors:

Vakhonina Elena Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Department of Chemical and Biological Studies of Beekeeping Products, Federal Beekeeping Research Centre, 22 Pochtovaya St., Rybnoye, Ryazan Region, 391110, Russian Federation; e-mail: landych899@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8159-5856 SPIN-code: 1986-9523

Romanova Elena Petrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Selection and Molecular Genetic Studies of Honey Bees, Federal Beekeeping Research Centre, 22 Pochtovaya St., Rybnoye, Ryazan Region, 391110, Russian Federation; e-mail: elena.p56@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6473-1393 SPIN-code: 4089-5972