



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2026 Том 21 № 1

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1
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 Агробиотехнологического
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 Тушии, Витербо, Италия
Васильев А.А., д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Гисн 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
Кощаев А.Г., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., КубГАУ, Краснодар, РФ
Котарев В.И., д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВНИВИПФиТ», Воронеж, РФ
Кузяков Я.В., д-р биол. наук, проф., Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Геттинген, Германия
Ленченко Е.М., д-р вет. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГУПП», Москва, РФ
Мохаммади-Недждат 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
Сычѳев 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, МГУПП, Москва, РФ
Юдишбаев Ю.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Юсефи М., канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

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

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

4 выпуска в год (ежеквартально)

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

Языки: русский, английский.

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

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

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

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.3. Агротехника, 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 30.03.2026. Выход в свет 31.03.2026. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитуры Tinos, Roboto.

Усл. печ. л. 17,67. Тираж 500 экз. Заказ № 13. 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. 1

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1

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, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

Aims and Scope

RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries is a 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

Острошенко В.Ю. Эффективность применения стимуляторов роста Циркон и НВ-101 при выращивании четырехлетних сеянцев сосны густоцветковой *Pinus densiflora* Siebold et Zucc.9

Зеленев А.В., Капранов В.Н., Тегесов Д.С., Мамедов Р.З., Киселев Е.Ф. Моделирование продуктивности агроценоза озимой пшеницы по принципу многофакторности25

Генетика и селекция растений

Walli M.H., Duksi F., Al-jubouri Z., Zargar M., Alhasnawi A. Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum* L. genetic resources using molecular markers (Идентификация генетических ресурсов засухоустойчивости продовольственной пшеницы *Triticum aestivum* L. с использованием молекулярных маркеров)41

Бутовец Е.С. Параметры адаптивности сортов сои в условиях степной зоны Приморского края55

Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Сортовые особенности прорастания семян облепихи в зависимости от сроков хранения71

Куколева С.С., Кибальник О.П., Семин Д.С., Ефремова И.Г. Оценка линий сахарного сорго по продуктивности, содержанию, сбору сахаров в соке стебля и выходу биоэтанола.....84

Защита растений

Цветкова Ю.В., Смирнова А.В., Петрухина А.А., Доморацкая Д.А., Яремко А.Б. Перспективы применения штаммов-антагонистов для подавления возбудителя антракноза земляники.....96

Почвоведение и агрохимия

Миллер Г.Ф., Филимонова Д.А., Безбородова А.Н., Соловьев С.В. Трансформация параметров структурно-агрегатного состава почв залежей юго-востока Западной Сибири108

Животноводство

Карамушкина С.В., Митькин Ф.А., Вайнберг М.А., Агаркова А.А., Просекова Е.А. Морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при введении в рацион соевого фуража.....122

Ветеринария

- Люст В.А., Ватников Ю.А., Семёнова В.И., Куликов Е.В.** Эзофагостомальное кормление в ранний постоперационный период у кошек после уретротомии при обструкции мочеточника..... 137
- Албадан М.М.К., Ткачев А.В., Ткачева О.Л., Нотина Е.А.** Сравнение способов лечения углеводно-ассоциированного ламинита лошадей..... 146
- Белоусов Е.А., Белоусова О.В., Новикова Е.О., Новикова М.Ю., Кротова Е.А., Новиков О.О.** Исследование ассортимента лекарственных средств в виде мягких лекарственных форм для ветеринарного использования 156
- Чечнева А.В., Вильмис Д.А.** Диагностика хронического отита у крысы с применением компьютерной томографии..... 167
- Козляков К.А., Ягников С.А., Трухачев А.Д., Барсегян Л.С.** Возрастная и половая предрасположенность к разрыву передней крестовидной связки у собак карликовых пород..... 175
- Баннуд Ж., Ибрагимова А.Н., Мас-Кома С., Трошина Н.И., Карамян А.С.** Анализ фармакологической эффективности применения метилпреднизолона у животных при адресной доставке на биodeградируемых носителях 195

Contents

Crop production

- Ostroshenko V.Y.** Effectiveness of growth stimulators Zircon and HB-101 in cultivation of four-year-old seedlings of Japanese red pine *Pinus densiflora* Siebold et Zucc.....9
- Zelenev A.V., Kapranov V.N., Tegesov D.S., Mamedov R.Z., Kiselev E.F.** Modeling winter wheat agrocenosis productivity based on multifactorial principle25

Genetics and plant breeding

- Walli M.H., Duksi F., Al-jubouri Z., Zargar M., Alhasnawi A.** Alhasnawi A. Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum* L. genetic resources using molecular markers.....41
- Butovets E.S.** Adaptation parameters of soybean cultivars in the Steppe Zone of Primorsky Krai.....55
- Zubarev Y.A., Gunin A.V., Vorobjeva A.V.** Variety peculiarities of seabuckthorn seeds germination depending on storage time71
- Kukoleva S.S., Kibalnik O.P., Semin D.S., Efremova I.G., Stepanchenko D.A.** Evaluation of sweet sorghum for productivity, sugar content and yield in stem juice, and bioethanol output84

Plant protection

- Tsvetkova Y.V., Smirnova A.V., Petrukhina A.A., Domoratskaya D.A., Yaremko A.B.** Prospects of using antagonist strains for suppression of strawberry anthracnose pathogen....96

Soil science and agrochemistry

- Miller G.F., Filimonova D.A., Bezborodova A.N., Solovyev S.V.** Transformation of structural and aggregate composition parameters of fallow soils in the South-East of Western Siberia..... 108

Animal breeding

- Karamushkina S.V., Mitkin F.A., Weinberg M.A., Agarkova A.A., Prosekova E.A.** Morphofunctional adaptations of the rumen wall in Edilbaev sheep with introduction of soy feed in the diet 122

Veterinary science

- Lyust V.A., Vatnikov Yu.A., Semenova V.I., Kulikov E.V.** Esophagostomy feeding in the early postoperative period in cats after ureterotomy for ureteral obstruction..... 137
- Albadan M.M.K., Tkachev A.V., Tkacheva O.L., Notina E.A.** Comparison of treatment methods for carbohydrate-associated laminitis in horses..... 146
- Belousov E.A., Belousova O.V., Novikova E.O., Novikova M.Yu., Krotova E.A., Novikov O.O.** Study of the range of drugs in the form of soft dosage forms for veterinary use 156
- Chechneva A.V., Vilmis D.A.** Diagnostics of chronic otitis in rats using computer tomography 167
- Kozlyakov K.A., Yagnikov S.A., Trukhachev A.D., Barsegyan L.S.** Age and sex predisposition to cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs 175
- Bannoud G., Ibragimova A.N., Mas-Koma S., Troshina N.I., Karamyan A.S.** Analysis of the pharmacological efficacy of methylprednisolone in targeted delivery using biodegradable carriers in animals..... 195



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-9-24

EDN DUZGZO

УДК 581.14:631.8

Научная статья / Research article

Эффективность применения стимуляторов роста Циркон и НВ-101 при выращивании четырехлетних сеянцев сосны густоцветковой *Pinus densiflora* Siebold et Zucc.

В.Ю. Острошенко 

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Российская
Федерация

✉ OstroshenkoV@mail.ru

Аннотация. Сосна густоцветковая (*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.) — редкий и исчезающий вид, встречающийся на юге Приморского края, имеющий большое народнохозяйственное значение. Высокая значимость растения и небольшая занимаемая им площадь требуют принятия мер по охране и активному воспроизводству. Приведены результаты по изучению пролонгированного влияния двух стимуляторов роста натурального происхождения (Циркон и НВ-101) на биометрические показатели четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*. Семена, собранные в дендрарии села Горно-Таежного (Приморский край, Уссурийский городской округ) в конце 2018 г., высеивались в гряды питомника. В течение первого года роста сеянцы подвергали корневой подкормке препаратом Циркон в концентрации 0,01 %. Во второй год вегетации применяли стимулятор НВ-101 в концентрациях 0,01 и 0,005 %, на третий год стимуляторы не использовали. В контрольной группе стимуляторы не применяли. После окончания периода вегетации в конце четвертого года роста у сеянцев измеряли биометрические показатели (высоту, прирост по высоте, диаметр шейки корня, длину корней и сухую массу частей растения). Выявлено, что применение стимуляторов Циркон и НВ-101 оказывало положительное воздействие на биометрические параметры четырехлетних сеянцев сосны. Применение НВ-101 в концентрации 0,01 % более эффективно и по сравнению с контрольной группой увеличивало высоту растения на 16,8 %, диаметр шейки корня — на 71,4 %, длину корней — на 45,5 % и сухую массу сеянца — на 177,5 %. Полученные результаты позволяют рекомендовать такие сеянцы для использования в ландшафтном озеленении.

© Острошенко В.Ю., 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: пролонгированное влияние, концентрации, питомник, биометрические показатели, контрольная группа, корневая подкормка, ландшафтное озеленение

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012200183–8).

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

История статьи: поступила в редакцию 17 марта 2025 г., принята к публикации 3 октября 2025 г.

Для цитирования: Острошенко В.Ю. Эффективность применения стимуляторов роста Циркон и HB-101 при выращивании четырехлетних сеянцев сосны густоцветковой *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 21. № 1. С. 9–24. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-9-24 EDN: DUZGZO

Effectiveness of growth stimulators Zircon and HB-101 in cultivation of four-year-old seedlings of Japanese red pine *Pinus densiflora* Siebold et Zucc.

Valentina Y. Ostroshenko 

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
✉ OstroshenkoV@mail.ru

Abstract. Japanese red pine (*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.) is a rare and endangered species found in the south of Primorsky Krai, having significant economic importance. The high value of the plant and its limited distribution area necessitate measures for protection and active reproduction. In the article, the prolonged effect of two growth stimulants of natural origin (Zircon and HB-101) on biometric indicators of four-year-old seedlings of *Pinus densiflora* were studied. Seeds of *Pinus densiflora*, collected from the arboretum of Gorno-Taezhnoye village (Primorsky Krai, Ussuriysky urban district) at the end of 2018, were sown in nursery beds. During the first year, the seedlings were subjected to root fertilization with Zircon at a concentration of 0.01%. In the second growing season, HB-101 stimulator was applied at concentrations of 0.01 and 0.005%, in the third growing season, the stimulants were not used. In the control group the stimulants were not applied. After the end of the fourth growing season, biometric indicators (height, height increment, root collar diameter, root length, and dry weight of plant parts) were measured in seedlings. The study revealed that application of Zircon and HB-101 growth stimulators positively affected biometric parameters of four-year-old pine seedlings. The use of HB-101 at 0.01% concentration was more effective and increased the plant height by 16.8 %, root neck diameter — by 71.4%, root length — by 45.5% and seedling dry weight — by 177.5%, compared to the control group. These results suggest that such seedlings are suitable for use in landscape planting.

Keywords: prolonged effect, concentrations, nursery, biometric indicators, control group, root fertilization, landscape gardening

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

Acknowledgments. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 124012200183–8).

Article history: received 17 March 2025; accepted 3 October 2025.

For citation: Ostroshenko VY. Effectiveness of growth stimulators Zircon and HB-101 in cultivation of four-year-old seedlings of Japanese red pine *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):9–24. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-9-24 EDN: DUZGZO

Введение

Приморский край, занимающий значительную часть Российского Дальнего Востока, является одним из крупнейших лесных регионов страны, богатство которого определяется не только масштабами, но и биологическим разнообразием лесных массивов. Данные лесосчетных работ 2024 г. демонстрируют, что хвойные породы занимают доминирующее положение, составляя 51,5 % от общей площади лесного фонда и 60,2 % его запаса¹. Однако доля сосновых лесов в крае крайне незначительна, что связано с более специфическими требованиями этой породы к условиям произрастания — хорошо дренированным почвам и большому количеству солнечного света.

В Приморье сосна встречается преимущественно на юге края, формируя небольшие, часто смешанные с другими породами, массивы. Один из представителей семейства Pinaceae в крае — сосна густоцветковая *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. Это редкий и исчезающий вид, встречающийся преимущественно в Хасанском, Шкотовском и Владивостокском районах Приморского края. Общая площадь естественного произрастания крайне ограничена и оценивается приблизительно в 4000 гектаров.

Исторически сложившаяся ситуация, включая масштабные лесные пожары, часто спровоцированные антропогенными факторами (например, неосторожным обращением с огнем или неконтролируемым выжиганием растительности), и интенсивные, зачастую нерегулируемые рубки леса в прошлом привели к резкому сокращению ареала *Pinus densiflora*. В результате этот вид находится на грани исчезновения в пределах российского Дальнего Востока², занесен в Красные книги Приморского края³ и Российской Федерации⁴.

Ареал произрастания *Pinus densiflora* охватывает горные территории. В условиях горных ландшафтов, которые характеризуются уязвимостью и затрудненностью восстановления, эта древесная порода занимает важное место среди лесомелиоративных видов. Она особенно эффективна для укрепления оврагов, склонов, а также для создания полезащитных и придорожных полос. Кроме того, *Pinus densiflora* активно применяется в озеленении.

Биологические и экологические характеристики *Pinus densiflora*, высокая значимость для народного хозяйства и небольшая занимаемая площадь требуют принятия мер по охране и активному воспроизводству.

Семенные годы в лесах региона наступают каждые три-четыре года. При таких интервалах хранения семена теряют энергию прорастания и всхожесть. Для того чтобы улучшить посевные характеристики семян и обеспечить восстановление этой ценной породы деревьев, возможно использовать стимуляторы роста. Эти вещества активизируют или подавляют процессы роста и развития растений.

¹ Официальный сайт Правительства Приморского края. Режим доступа: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/deartments/forestry/informatsiya-po-forme-ot-krytykh-dannykh.php> (дата обращения: 20.01.2023)

² Урусов В.М., Лобанова И.И., Варченко А.И. Хвойные российского Дальнего Востока — ценные объекты изучения, охраны, разведения и использования. Владивосток : Дальнаука, 2007. 440 с

³ Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток : Апельсин, 2008. 688 с.

⁴ Красная книга РСФСР. Растения. М. : Росагропромиздат, 1988. 590 с.

В лесном хозяйстве среди новых методов выращивания посадочного материала находят применение экологически безопасные синтетические и природные препараты с росторегулирующим действием.

Результаты многих исследований показывают их эффективность: наблюдаются улучшение лабораторной и грунтовой всхожести семян, а также высокая сохранность и рост сеянцев и саженцев [1–18].

В нашем исследовании рассмотрено влияние стимуляторов роста на выращивание сеянцев *Pinus densiflora* в условиях Приморского края.

Цель исследования — изучение пролонгированного влияния стимуляторов роста Циркон и НВ-101 на биометрические показатели четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*.

Материалы и методы исследования

Опытные работы проведены в Уссурийском городском округе (Приморский край) в рамках деятельности Горнотаежной станции имени В.Л. Комарова (подразделение ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН) с 2019 по 2023 г. Характерные особенности местности заключаются в высокой влажности почвы и преобладании оглеенных серых рыхлых осадочных пород с высоким содержанием мелких частиц, таких как песок и пыль, а также заметным количеством глины. Почвенный покров представлен бурым подзолом с плотной глинистой структурой, переходящей в лугово-бурый тип в нижнем слое. Несмотря на окультуривание, плодородие осталось на среднем уровне. Кислотность почвы составляет около 6,5 рН, а содержание гумуса — 2,83 %. Концентрация фосфора достигает 20,5 мг на 100 г почвы, тогда как калия — 7,3 мг. Рельеф территории характеризуется плавными волнами с небольшим уклоном.

Семена *Pinus densiflora* собрали в дендрарии села Горнотаежного в конце 2018 г. и высевали в трех повторностях, по 100 шт. семян, с расстоянием в 18...20 см между рядами. Глубина заделки варьировала от 1 до 2 см. Поверхность почвы покрывали древесными опилками. В течение первого года роста сеянцы подвергали корневой подкормке препаратом Циркон концентрацией раствора 0,01 %, контрольная группа — без стимуляторов.

На втором году вегетации применялся стимулятор НВ-101 в различных концентрациях, а контрольная группа не получала подкормок (табл. 1). С третьего года стимуляторы не использовали.

Таблица 1

Схема опытов

Варианты опытов	Концентрации растворов, %	
Контроль	Без обработки стимуляторами	
Циркон + НВ-101	0,01	0,005

Источник: составлено В.Ю. Острошенко.

Table 1

Experiment scheme

Variants	Solution concentrations, %	
Control	seedlings without stimulants treatment	
Zircon + HB-101	0.01	0.005

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

Циркон — биостимулятор, созданный на основе экстракта эхинацеи пурпурной, содержит в качестве активных компонентов гидроксикоричные кислоты — фенольные соединения, играющие ключевую роль в дыхательных процессах растений. Эти кислоты обладают антиоксидантными свойствами, защищая клетки растений от повреждений, вызванных стрессовыми факторами (засуха, заморозки, болезни). Кроме того, Циркон стимулирует развитие корневой системы, что способствует лучшему усвоению питательных веществ из почвы. Его применение показано для широкого спектра культур, включая овощные, плодовые, декоративные растения и цветы. Важно отметить, что эффективность Циркона зависит от концентрации рабочего раствора и способа применения. Необходимо строго следовать инструкции производителя [11, 12].

Японский биостимулятор HB-101 представляет собой сложный комплекс экстрактов гималайского кедра, сосны, подорожника и кипариса. В его состав входят белковые комплексы, антиоксиданты и минералы, что обеспечивает комплексное воздействие на растение. HB-101 стимулирует рост и развитие растений, повышает устойчивость к заболеваниям и неблагоприятным условиям среды. Он способствует эффективному использованию растениями собственных ресурсов, активируя их природные защитные механизмы. Как и Циркон, HB-101 применяется для различных культур, включая сельскохозяйственные, лесные и декоративные растения, а также грибы и газоны [14, 15].

Оба биостимулятора позиционируются как экологически безопасные продукты, но перед применением необходимо ознакомиться с инструкцией производителя.

Для ухода за сеянцами проводились агротехнические мероприятия: рыхление между рядами, полив в соответствии с климатическими условиями, защита от вредителей и болезней.

В конце четвертого года роста у сеянцев проводили замеры биометрических показателей (высота, прирост по высоте, диаметр шейки корня, длина корней и сухая масса частей растения). Измерение высоты, прироста по высоте и длины корней четырехлетних сеянцев проводили с использованием линейки. Для измерения диаметра шейки корня применяли электронный штангенциркуль, для определения сухой массы — электронные весы. Результаты эксперимента обработали с помощью программы Microsoft Excel 2007, а значимость различий определяли критерием Стьюдента. Для определения существенности различий по показателям высоты также применяли критерий Фишера.

Общий вид четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora* приведен на рис. 1.



Рис. 1. Четырехлетние сеянцы *Pinus densiflora* (фрагмент)
Источник: выполнено В.Ю. Острошенко.

Fig. 1. The four-year-old seedlings of *Pinus densiflora* (fragment)
Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

Результаты исследования и обсуждение

Одна из важнейших задач лесного хозяйства — ускорение роста и развития посадочного материала, особенно ценных пород, таких как *Pinus densiflora*. Проведенные исследования показали высокую эффективность применения корневой подкормки стимуляторами роста Циркон и НВ-101 для достижения этой цели. Результаты, полученные на четырехлетних сеянцах, свидетельствуют о значительном повышении показателей роста и развития по сравнению с контрольной группой (без обработки стимуляторами).

Положительное влияние указанных препаратов отмечено для различных культур в сельском хозяйстве. Так, Н.Б. Рябчикова, Т.Г. Колебошина и В.А. Суслова установили, что стимулятор роста НВ-101 способствует повышению урожайности плодов арбуза столового (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) на 34 % [19]. А.В. Горынцев и И.Н. Бондарева выявили увеличение продуктивности картофеля на 60 % и количества клубней до 98 % [20]. А.В. Патшина и Е.В. Петрова доказали эффективность применения стимулятора роста НВ-101 для нарастания биометрических показателей и урожайности люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) [21].

Н.В. Тютюма и Н.И. Кудряшова документировали значительное его влияние на рост, развитие и продуктивность томатов [22].

Выявлено, что обработка стимулятором Циркон озимой ржи (*Secale cereale* L.) существенно повышает урожайность зерна [23]. Отмечено положительное влияние Циркона на продуктивность яровой (*Ver triticum*), озимой пшеницы обычной (*Triticum aestivum*) и ярового ячменя (*Hordeum vulgare annua* L.). Наблюдалось существенное улучшение качества зерна и его хлебопекарных свойств за счет увеличения содержания белка и клейковины. Кроме того, Циркон повлиял на повышение урожая гречихи (с 10,2 до 15,3 ц/га), а также на качество продукции сои [24].

Наряду с использованием указанных препаратов в сельском хозяйстве началось их применение в лесной отрасли.

Так, установлена высокая степень влияния препарата НВ-101 на энергию прорастания и всхожесть семян *Pinus densiflora* [14]. Выявлен стимулирующий эффект препарата НВ-101 на рост двухлетних сеянцев сосны обыкновенной *P. silvestris* L. Отмечено повышение всхожести семян и устойчивости всходов к грибным болезням [1, 15]. Доказан положительный эффект стимулятора НВ-101 на увеличение темпов линейного роста сеянцев дуба черешчатого *Quercus robur* L. [13]. Отмечено активное влияние стимулятора НВ-101 на нарастание биометрических показателей четырехлетних саженцев пихты белокорой (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) [8]. К.А. Игонина и В.Б. Троц показали, что применение стимулятора НВ-101 увеличивает темпы роста сеянцев и выход стандартного посадочного материала ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) [2].

Доказано положительное влияние Циркона на рост и развитие корневой системы, а также повышение зимостойкости саженцев различных хвойных пород [11]. Выявлено активное действие Циркона на увеличение всхожести, сохранности и развитие надземной и подземной части сосны обыкновенной [12]. Н.В. Пентелькина, Ю.С. Пентелькина отметили значительный эффект внекорневой подкормки стимулятором Циркон на рост и развитие сеянцев сосны крымской (*P. nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour). Наблюдалось увеличение биомассы надземной части растений и длины корней [9, 10]. Выявлен положительный эффект стимулятора Циркон при выращивании пихты белокорой [5].

Наши исследования продемонстрировали впечатляющий прирост высоты сеянцев *Pinus densiflora* после обработки стимуляторами Циркон и НВ-101. Средняя высота обработанных растений достигла 40,9...41 см, что на 16,5...16,8 % превышает показатели контрольной группы (табл. 2, рис. 2).

При обработке сеянцев стимулятором НВ-101 концентрацией 0,01 % статистическая обработка данных (t-критерий Стьюдента и дисперсионный анализ) подтвердила достоверность полученных результатов на 5%-м уровне значимости ($p < 0,05$ %). Это означает, что наблюдаемые различия в росте не случайны, а обусловлены воздействием стимуляторов (табл. 2, 3).

Таблица 2

Исследование влияния корневой подкормки одно-двулетних сеянцев *Pinus densiflora* стимуляторами роста Циркон и НВ-101 на их морфометрические показатели в возрасте четырех лет

Стимулятор роста и концентрация раствора	Высота $M \pm m$, см	Прирост по высоте, см	Диаметр шейки корня, мм	Длина корней, см
Контроль	35,1 ± 1,2	17,2 ± 2,5	0,7 ± 0,1	16,7 ± 2,6
Циркон + НВ-101 0,01 %	41,0 ± 3,6*	24,7 ± 2,7	1,2 ± 0,3	24,3 ± 1,8
Процент к контролю	+16,8	+43,6	+71,4	+45,5
Циркон + НВ-101 0,005 %	40,9 ± 4,5	27,5 ± 1,0*	1,1 ± 0,1	19,3 ± 1,9
Процент к контролю	+16,5	+59,9	+57,1	+15,6

Примечание.* – различия с контролем достоверны по t-критерию Стьюдента при $p = 0,05$ %.

Источник: составлено В.Ю. Острошенко.

Table 2

Study of the effect of root fertilization of one- and two-year-old seedlings of *Pinus densiflora* with growth stimulants Zircon and HB-101 on their morphometric parameters at the age of four years

Growth stimulator and solution concentration	Height $M \pm m$, cm	Height gain, cm	Diameter of root collar, mm	Length of roots, cm
Control	35.1 ± 1.2	17.2 ± 2.5	0.7 ± 0.1	16.7 ± 2.6
Zircon + HB-101, 0.01 %	41.0 ± 3.6*	24.7 ± 2.7	1.2 ± 0.3	24.3 ± 1.8
Percentage to control	+16.8	+43.6	+71.4	+45.5
Zircon + HB-101, 0.005 %	40.9 ± 4.5	27.5 ± 1.0*	1.1 ± 0.1	19.3 ± 1.9
Percentage to control	+16.5	+59.9	+57.1	+15.6

Note.*differences with the control are significant according to the Student's t-test at $p = 0.05$ %.

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

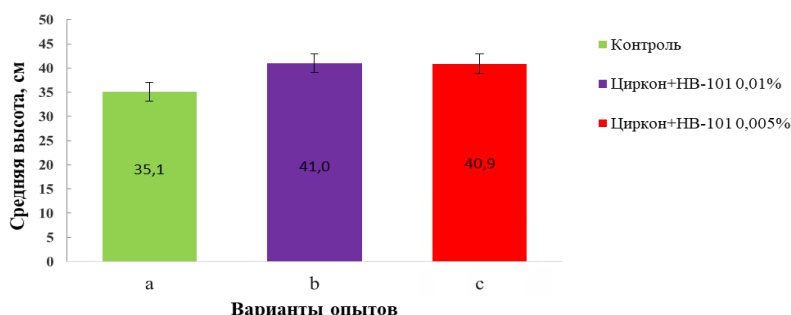


Рис. 2. Влияние стимуляторов роста Циркон и НВ-101 на нарастание высоты четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*

Источник: выполнено В.Ю. Острошенко.

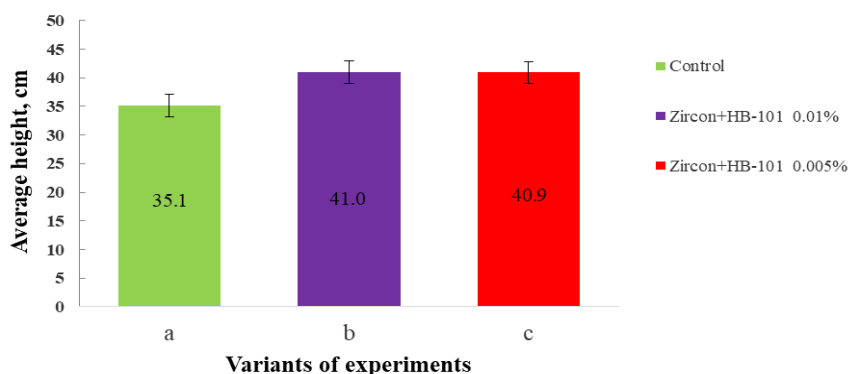


Fig. 2. Effect of growth stimulants Zircon and HB-101 on height increment of four-year-old seedlings of *Pinus densiflora*

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

Таблица 3

Анализ дисперсии воздействия стимуляторов роста Циркон и HB-101 на рост *Pinus densiflora* в возрасте четырех лет

Показатели	df (степени свободы)	SS (суммы квадратов)	MS (средние квадраты)	Fstat (расчетное значение F-статистики)	Ftabl (Табличное (критическое) значение F-критерия)
Между группами	1	639,7952	639,7952	3,8102	0,0544
Внутри групп	81	13601,1161	167,915		
Общее	82	14240,9113			

Источник: составлено В.Ю. Острошенко.

Table 3

Analysis of variance of the effect of Zircon and HB-101 growth stimulants on growth of *Pinus densiflora* at the age of four years

Indicators	df (degrees of freedom)	SS (sum of squares)	MS (mean square)	Fstat	Ftabl
Between groups	1	639.7952	639.7952	3.8102	0.0544
Inside groups	81	13601.1161	167.915		
Total	82	14240.9113			

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

Наиболее значительный эффект на прирост по высоте наблюдался при применении стимулятора HB-101 в концентрации 0,005 %. В этом случае его показатель составил 27,5 см, что на 59,9 % больше, чем в контрольной группе.

Различия с контролем достоверны: $t_{\text{fact}} \geq t_{\text{tabl}}$ при $p = 0,05$ %. При более высокой концентрации НВ-101 (0,01 %) прирост был меньше (43,6 % по сравнению с контролем) (табл. 2, рис. 3).

Помимо увеличения высоты, стимуляторы Циркон и НВ-101 существенно повлияли на развитие корневой системы сеянцев. Средний диаметр шейки корня у обработанных растений увеличился на 57,1...71,4 % по сравнению с контролем (1,1...1,2 см против контрольного значения), что свидетельствует об улучшении общего состояния и жизнеспособности растений (табл. 2, рис. 4).

Наибольший прирост длины корней (24,3 см, что на 45,5 % больше, чем в контроле) был достигнут при комбинированном применении Циркона и — НВ-101 в концентрации 0,01 %. Применение НВ-101 в концентрации 0,005 % также показало положительный эффект, хотя и менее выраженный (прирост длины корней на 15,5 %) (табл. 2, рис. 5).

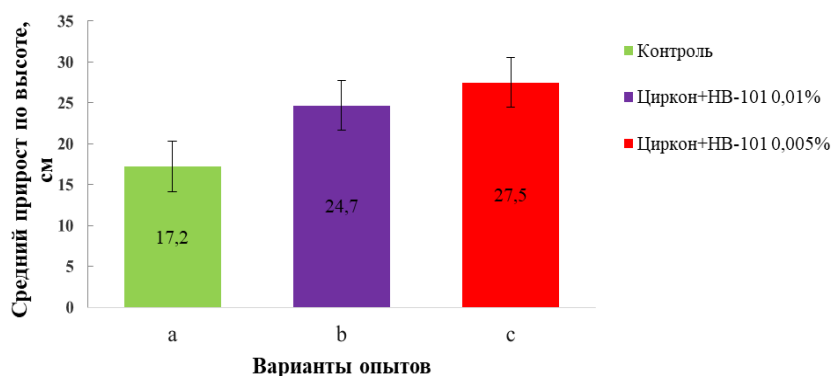


Рис. 3. Влияние стимуляторов роста Циркон и НВ-101 на прирост по высоте у четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*

Источник: выполнено В.Ю. Острошенко.

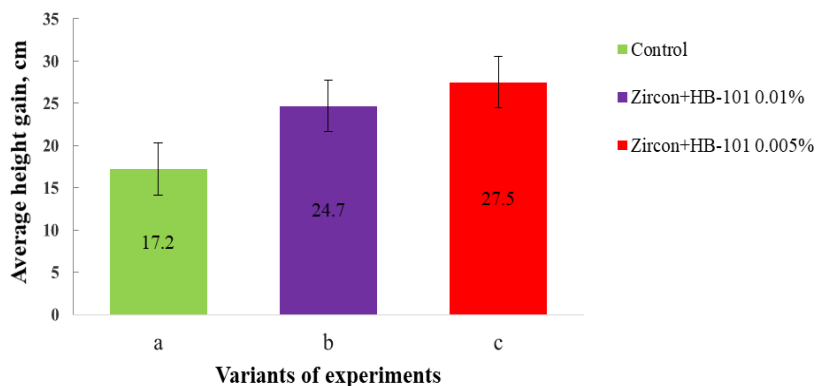


Fig. 3. Effect of growth stimulants Zircon and HB-101 on height increment in four-year-old seedlings of *Pinus densiflora*

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

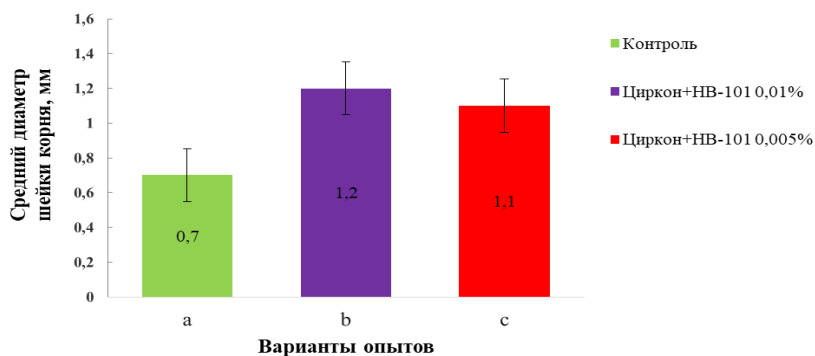


Рис. 4. Влияние стимуляторов роста Циркон и НВ-101 на прирост диаметра шейки корня у четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*
 Источник: выполнено В.Ю. Острошенко.

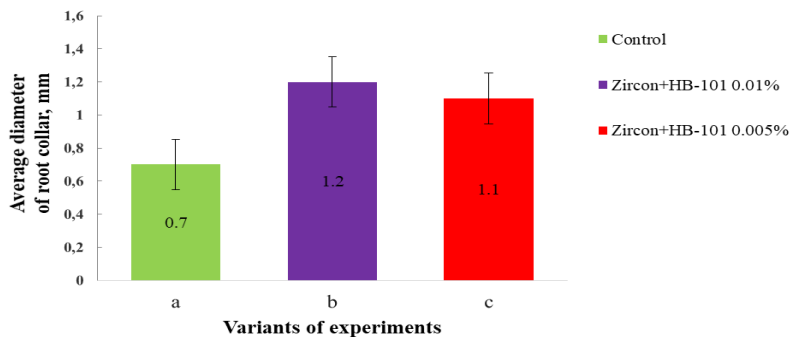


Fig. 4. Effect of growth stimulants Zircon and HB-101 on root collar diameter increment in four-year-old seedlings of *Pinus densiflora*
 Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

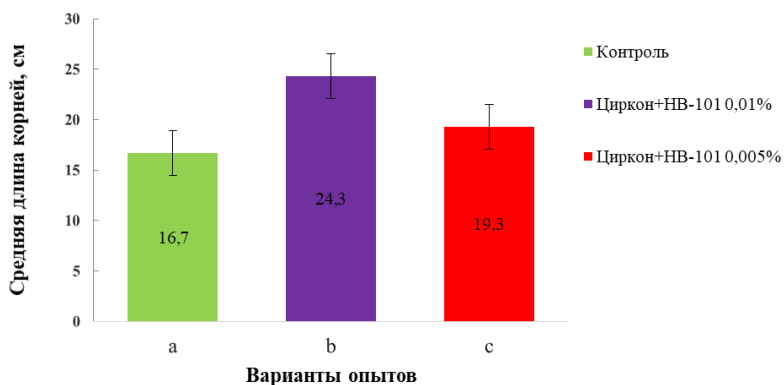


Рис. 5. Влияние стимуляторов роста Циркон и НВ-101 на прирост длины корней у четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*
 Источник: выполнено В.Ю. Острошенко.

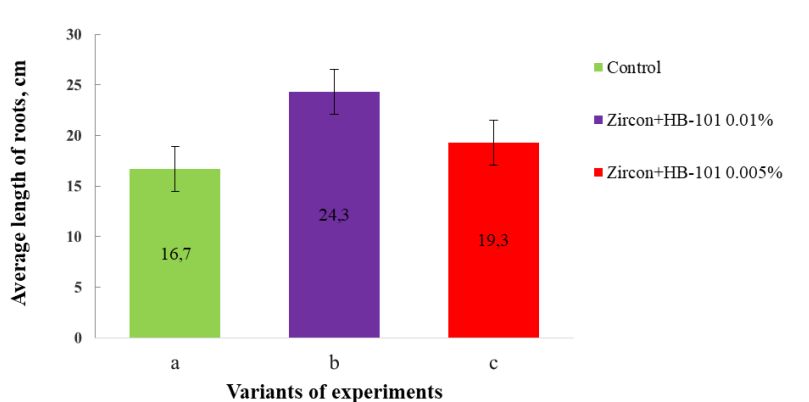


Fig. 5. Effect of growth stimulants Zircon and HB-101 on root length increment in four-year-old seedlings of *Pinus densiflora*

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

Результаты исследования показали, что обработка стимуляторами Циркон и HB-101 также положительно влияет на величину сухой массы сеянцев, что указывает на более интенсивные процессы фотосинтеза и общего метаболизма. Подкормка сеянцев *Pinus densiflora* стимуляторами Циркон и HB-101 в концентрации 0,01 % существенно повысила сухую массу на 177,5 % по сравнению с контрольным образцом, достигая показателя 55,5 г (табл. 4).

Таблица 4

Исследование влияния корневой подкормки одно-двулетних сеянцев *Pinus densiflora* стимуляторами роста Циркон и HB-101 на их сухую массу в возрасте четырех лет, г

Вариант опыта	Количество боковых веточек, шт.	Сухая масса сеянца в воздушно-сухом состоянии $M \pm m$, г					
		Стволик	Веточки	Хвоя	Итого надземная часть	Корневая система	Общая масса
Контроль	8,3 ± 2,4	4,6 ± 1,1	2,4 ± 1,0	9,3 ± 3,6	16,3 ± 4,1	3,7 ± 1,4	20,0 ± 5,6
Циркон- HB-1010,01 %	17,3 ± 6,1	9,5 ± 4,1	9,1 ± 4,6	23,4 ± 9,0	42,0 ± 17,6	13,5 ± 5,5	55,5 ± 17,2
Процентк контролю	+108,4	+106,5	+279,2	+151,6	+157,7	+264,9	+177,5
Циркон- HB-1010,005 %	12,3 ± 2,2	12,7 ± 2,3*	6,5 ± 0,6*	20,3 ± 2,5	39,5 ± 4,4*	5,8 ± 1,2	45,3 ± 5,6
Процентк контролю	+48,2	+176,1	+170,8	+118,3	+142,3	+56,8	+126,5

Источник: составлено В.Ю. Острошенко.

Table 4

Study of the effect of root fertilization of one- and two-year-old seedlings of *Pinus densiflora* with growth stimulants Zircon and HB-101 on their dry weight at the age of four years, g

Variant	Number of lateral branches	Dry weight of a seedling in an air-dry state $M \pm m$, g					
		Stem	Branches	Needles	Total aboveground part	Root system	Total weight
Control	8.3 ± 2.4	4.6 ± 1.1	2.4 ± 1.0	9.3 ± 3.6	16.3 ± 4.1	3.7 ± 1.4	20.0 ± 5.6
Zircon+ HB-1010.01 %	17.3 ± 6.1	9.5 ± 4.1	9.1 ± 4.6	23.4 ± 9.0	42.0 ± 17.6	13.5 ± 5.5	55.5 ± 17.2
Percentage to control	+108.4	+106.5	+279.2	+151.6	+157.7	+264.9	+177.5
Zircon+ HB-1010.005 %	12.3 ± 2.2	12.7 ± 2.3*	6.5 ± 0.6*	20.3 ± 2.5	39.5 ± 4.4*	5.8 ± 1.2	45.3 ± 5.6
Percentage to control	+48.2	+176.1	+170.8	+118.3	+142.3	+56.8	+126.5

Source: compiled by V.Y. Ostroshenko.

Особенно отмечается значительное увеличение массы надземной части на 157,7 % и корней — на 264,9 %.

При использовании стимулятора HB-101 в концентрации 0,005 % наблюдался менее выраженный эффект: общая масса составила 45,3 г, что превышает контрольные значения на 126,5 % (табл. 4).

Заключение

Исследование показало, что совместное применение стимуляторов Циркон и HB-101 оказывает положительное воздействие на биометрические параметры четырехлетних сеянцев *Pinus densiflora*. Применение HB-101 в концентрации 0,01 % особенно эффективно. Так средняя высота сеянцев сосны составила 41,0 см, диаметр корневой шейки — 1,2 см, длина корней — 24,3 см и общая сухая масса — 55,5 г. Превышения по отношению к контролю по данным показателям составили 16,8; 71,4; 45,5 и 177,5 % соответственно. Обработка сеянцев препаратом HB-101 в концентрации 0,005 % оказывает менее выраженный эффект. Выращенные сеянцы обладают высокой декоративностью и могут использоваться в ландшафтном озеленении.

Список литературы

1. Бродников С.Н. Влияние стимуляторов роста на всхожесть семян и сохранность всходов *Pinus sylvestris* L. // Повышение эффективности лесного комплекса : материалы третьей Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Петрозаводск, 30 мая 2017 г.). Петрозаводск, 2017. С. 24–26.

2. Игонина К.А. Эффективность регуляторов роста при выращивании семян ясеня обыкновенного // Вклад молодых ученых в аграрную науку : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Самара, 07 апреля 2021 г.). Самара, 2021. С. 41–43.
3. Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н. Опыт интенсивного выращивания од-нолетних семян сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6 (372). С. 104–117. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.104 EDN: SNWZDI
4. Кириченко М.А., Гончарова И.А. Пролонгированное влияние стимуляторов роста на морфометри-ческие показатели трехлетних семян основных лесообразующих видов Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2018. № 1. С. 65–70. doi: 10.15372/SJFS20180107 EDN: YSUNUX
5. Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Острошенко В.Ю. Влияние кор-невой подкормки стимуля-торами роста одно-двулетних семян пихты почкочешуйной на их дальнейший рост // Вестник КрасГАУ. 2015. № 10 (109). С. 160–167. EDN: ULXDBL
6. Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 4 (394). С. 93–104. doi: 10.37482/0536-1036-2023-4-93-104 EDN: BZZEAL
7. Острошенко В.Ю. Пролонгированное влияние стимуляторов роста на выращивание посадоч-ного материала ели корейской *Picea koraiensis* Nakai // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 3. С. 309–319. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-309-319 EDN: MJEOMV
8. Острошенко В.Ю. Влияние стимуляторов роста на биометрические показатели четырехлетних саженцев пихты почкочешуйной (белокорой) (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 110–115. doi: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-110-115 EDN: MNPJVV
9. Пентелькина Н.В., Пентелькина Ю.С. Стимулирующее действие циркона на рост семян хвойных интродуцентов // Лесной вестник. 2002. № 2. С. 24–28. EDN: HVSFDF
10. Пентелькина Ю.С. Использование стимуляторов роста при выращивании ценного интродуцента // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. № 10. С. 121–125. EDN: UAACAH
11. Резвякова С.В., Гурин А.Г., Резвякова Е.С. Размножение хвойных пород зелеными черенками с использованием новых биопрепаратов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (65). С. 9–14. doi: 10.15217/48484 EDN: YMVQZV
12. Скозарева И.А., Чернодубов А.И. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании семян сосны обыкновенной // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 3 (35). С. 87–95. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8 EDN: HMLCWZ
13. Троц В.Б. Применение биологически активных веществ при выращивании семян дуба череш-чатого // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 49–51. EDN: XSLAFR
14. Усов В.Н., Ефремов А.С. Эффективность применения стимуляторов роста для повышения всхоже-сти и энергии роста семян сосны густоцветковой (*Pinus densiflora* Siebold. et Zucc.) // Аграрный вестник Приморья. 2020. № 1 (17). С. 37–38. EDN: ZKYRTK
15. Устинова Т.С. Влияние биостимулятора НВ-101 на рост семян сосны обыкновенной // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Брянск, 06–07 апреля 2016 г.). Брянск, 2016. С. 316–321. EDN: YJYRGT
16. Fraga H.P.F., Vieira L.N., Heringer A.S., Puttkammer C.C., Silveira V., Guerra M.P. DNA methylation and proteome profiles of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze embryogenic cultures as affected by plant growth regulators supplementation // Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2016. Vol. 125. № 2. P. 353–374. doi: 10.1007/s11240-016-0956-y EDN: ZWUIZH
17. Kuneš I., Baláš M., Linda R., Gallo J., Nováková O. Effects of brassinosteroid application on seed germination of Norway spruce, Scots pine, Douglas fir and English oak // iForest — Biogeosciences and Forestry. 2016. Vol. 10. № 1. P. 121–127. doi: 10.3832/ifer1578-009
18. Truța A.M., Viman O., Dohotar V.D., Sîngeorzan S., Truța P., Holonec L. The influence of certain types of substrate and biochemical substances in seed germination and plant development of spruce (*Picea abies*) // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture. 2020. Vol. 77. № 1. P. 128–135. doi: 10.15835/buasvmcn-hort:2020.0010 EDN: NKWNNL
19. Рябчикова Н.Б., Колебошина Т.Г., Сулова В.А. Влияние стимуляторов роста на урожайность и ка-чество плодов арбуза в условиях открытого грунта Волгоградского Заволжья // Труды Кубанского государ-

ственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 315–320. doi: 10.21515/1999–1703–72–315–320 EDN: ХУНPNR

20. Горынцева А.В., Бондарева И.Н. Эффективность применения стимуляторов роста при возделывании картофеля // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия № 2. Физико-математические и естественные науки. 2017. № 2. С. 27–33. EDN: GACRSC

21. Патшина А.В., Петрова Е.В. Применение стимуляторов роста НВ-101 и Энерген Экстра при возделывании люпина узколистного // Студенческая наука — первый шаг в академическую науку : материалы Всерос. студ. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 02–03 марта 2023 г.). Чебоксары, 2023. С. 354–358.

22. Тютюма Н.В., Кудряшова Н.И. Влияние стимуляторов роста растений на структуру урожая и продуктивность томатов в условиях севера Астраханской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (41). С. 101–108. EDN: VVTCDX

23. Кузьминых А.Н., Пашкова Г.И. Урожайность и качество зерна озимой ржи в зависимости от применения стимуляторов роста // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2016. Т. 2. № 1 (5). С. 26–30. EDN: VZSEHT

24. Вакуленко В.В. Эпин-Экстра, Циркон и Силиплант повысят качество урожая // Защита и карантин растений. 2017. № 3. С. 34. EDN: YHODWJ

References

1. Brodnikov SN. The effect of growth stimulants on seed germination and seedling safety of *Pinus sylvestris* L. In: *Improving efficiency of forestry complex: conference proceedings*. Petrozavodsk; 2017. p.24–26. (In Russ.).

2. Igonina KA. Efficiency of growth regulators in growing seedlings of common ash. In: *Contribution of young scientists to agricultural science: conference proceedings*. Samara; 2021. p.41–43. (In Russ.).

3. Kabanova SA, Danchenko MA, Kochegarov IS, Kabanov AN. The experience of intensive cultivation of one-year-old seedlings of *Pinus sylvestris* L. in Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan. *Russian Forestry Journal*. 2019;(6):104–117. (In Russ.). doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.104 EDN: SNWZDI

4. Kirienko MA, Goncharova IA. The prolonged influence of growth stimulants on morphometric indicators of three-year seedlings of main forest forming species of Central Siberia. *Siberian Forest Journal*. 2018;(1):65–70. (In Russ.). doi: 10.15372/SJFS20180107 EDN: YSUNUX

5. Ostroshenko VV, Ostroshenko LY, Ostroshenko VY. The influence of the root additional fertilizing by the growth stimulants of the annual-biennial Khingam fir seedlings on their following growth. *Bulletin of KSAU*. 2015;(10):160–167. (In Russ.). EDN: ULXDBL

6. Ostroshenko VY, Ostroshenko LY. Influence of growth stimulants on seed germination and seedlings growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Russian Forestry Journal*. 2023;(4):93–104. (In Russ.). doi: 10.37482/0536-1036-2023-4-93-104 EDN: BZZEAL

7. Ostroshenko VY. Prolonged effect of growth stimulants on cultivation of planting material of Koyama spruce *Picea koraiensis* Nakai. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023;18(3):309–319. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-309-319 EDN: MJEOMV

8. Ostroshenko VY. Influence of growth stimulants on the biometric indicators of four-year-old Khingam fir (white-bark) (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) seedlings. *Agrarian Science*. 2023;(9):110–115. (In Russ.). doi: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-110-115 EDN: MNPJVZ

9. Pentelkina NV, Pentelkina YS. Stimulating effect of zircon on the growth of seedlings of introduced conifers. *Forestry Bulletin*. 2002;(2):24–28. (In Russ.). EDN: HVSFDF

10. Pentelkina YS. Use of growth stimulants in growing valuable introduced species. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2005;(10):121–125. (In Russ.). EDN: UAACAH

11. Rezyakova SV, Gurin AG, Rezyakova ES. Reproduction of conifers green cuttings with the use of new biological products. *Vestnik OrelGAU*. 2017;(2):9–14. (In Russ.). doi: 10.15217/48484 EDN: YMVQZV

12. Skozareva IA, Chernodubov AI. Efficiency of growth stimulant application growing seeds of Scots pine. *Forestry Engineering Journal*. 2019;9(3):87–95. (In Russ.). doi: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8 EDN: HMLCWZ

13. Trots VB. Application of biologically active substances in growing of oak tree seedlings. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2016;(6):49–51. (In Russ.). EDN: XSLAFR

14. Usov VN, Efremov AS. Efficiency of the growth stimulator influence on growth of *Pinus densiflora* seeds. *Agrarian Bulletin of Primorye*. 2020;(1):17. EDN: ZKYRTK
15. Ustinova TS. Influence of the biostimulator HB-101 on the growth of Scotch pine seedlings. In: *Actual problems of the development of the forest complex and landscape architecture: conference proceedings*. 2016. p.316–321. (In Russ.). EDN: YJYRGT
16. Fraga HPF, Vieira LN, Heringer AS, Puttkammer CC, Silveira V, Guerra MP. DNA methylation and proteome profiles of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze embryogenic cultures as affected by plant growth regulators supplementation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2016;125(2):353–374. doi: 10.1007/s11240-016-0956-y EDN: ZWUIZH
17. Kuneš I, Baláš M, Linda R, Gallo J, Nováková O. Effects of brassinosteroid application on seed germination of Norway spruce, Scots pine, Douglas fir and English oak. *iForest — Biogeosciences and Forestry*. 2016;10:121–127. doi: 10.3832/for1578-009
18. Truța AM, Viman O, Dohotar VD, Sîngeorzan S, Truța P, Holonec L. The influence of certain types of substrate and biochemical substances in seed germination and plant development of spruce (*Picea abies*). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*. 2020;77(1):128–135. doi: 10.15835/buasvmcn-hort:2020.0010 EDN: NKWNNL
19. Ryabchikova NB, Koleboshina TG, Suslova VA. The influence of growth stimulators on yield and fruit quality of watermelon in the open ground of the Volgograd Trans-Volga region. *Works of the Kuban State Agrarian University*. 2018;(72):315–320. doi: 10.21515/1999-1703-72-315-320. (In Russ.). EDN: XYNPNR
20. Goryntsev AV, Bondareva IN. The effectiveness of applying growth promoters in the cultivation of potatoes. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya № 2. Fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki*. 2017;(2):27–33. (In Russ.). EDN: GACRSC
21. Patshina AV, Petrova EV. Application of growth stimulants HB-101 and Energen-Extra in growth stimulators narrow-leaved lupine. In: *Student science — the first step into academic science: conference proceedings*. Cheboksary; 2023. p.354–358. (In Russ.). EDN: KZXLQX
22. Tyutyuma NV, Kudryashova NI. Plant growth promoters influence on tomatoes yield structure and productivity in Astrakhan region north conditions. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2016;(1):101–108. EDN: VVTCDX
23. Kuzminykh AN, Pashkova GI. Grain yield and quality of winter rye depending on the use of growth stimulants. *Vestnik of Mari State University. Chapter Agriculture. Economics*. 2016;2(5):26–29. EDN: VZSEHT
24. Vakulenko VV. Epin-Extra, Zircon and Siliplant will improve the crop quality. *Plant Protection and Quarantine*. 2017;(3):34. EDN: YHODWJ

Об авторе:

Острошенко Валентина Юрьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 690022, г. Владивосток, пр-т. 100-летия Владивостоку, д. 159; e-mail: OstroshenkoV@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1970-9293 SPIN-код: 9657-6098







About the author:

Ostroshenko Valentina Yurevna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior researcher, Dendrology Laboratory, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, 159 100-letiya Vladivostoku ave., Vladivostok, 690022, Russian Federation; e-mail: OstroshenkoV@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1970-9293 SPIN-code: 9657-6098

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-25-40
EDN DWETFK
УДК 57.087:631.526.32:633.11


Научная статья / Research article

Моделирование продуктивности агроценоза озимой пшеницы по принципу многофакторности

А.В. Зеленев^{1,2}  , В.Н. Капранов¹ , Д.С. Тегесов¹ ,
Р.З. Мамедов¹ , Е.Ф. Киселев¹ 

¹Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», г. Москва, Российская Федерация

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

 zelenev-av@rudn.ru

Аннотация. Для объяснения взаимосвязи продуктивности зерновых культур с элементами, непосредственно влияющими на ее величину, широко используются аналитические и математические алгоритмы анализа, с помощью которых фиксируется зависимость урожайности от параметров активной жизнедеятельности. Задействование таких статистических и математических методов способствует основательному обеспечению потенциальной эффективности агрокультур. На основании множественного корреляционно-регрессионного анализа установлены прогнозируемые модели формирования потенциальной урожайности сортов озимой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка» Московская 40 и Немчиновская 85, возделываемых по технологиям с разным уровнем интенсификации. Анализ метеоданных показал однородность изменчивости за годы исследований суммы положительной температуры и выпавших осадков. Обнаружена линейная множественная регрессия. Доминирующими источниками, оказывающими непосредственное влияние на формирование урожайности сельскохозяйственных культур, являются густота продуктивных стеблей и прирост листовой поверхности растений, выражаемые величиной фотосинтетического потенциала, а также влагообеспеченность, т.е. суммарное количество осадков за период с температурой выше +10 °С. Биологическая урожайность по базовой технологии была определена как 5 т/га, интенсивной — 8 т/га и высокоинтенсивной — 10 т/га. При возделывании сорта Московская 40 минимальное количество продуктивных стеблей при решении уравнения множественной регрессии по базовой технологии составляла 310...315 шт./м², по интенсивной — 615...620 шт./м², по высокоинтенсивной технологии — 890...900 шт./м². Для сорта Немчиновская 85 густота стояния равнялась соответственно 330...340, 590...600 и 790...800 шт./м². С увеличением интенсивности технологии фотосинтетический потенциал для сорта Московская 40 равнялся 2,8; 4,2 и 5,3 млн м²/га в сутки, сорта Немчиновская 85 — 3,6; 4,7 и 6,2 млн м²/га в сутки. В результате адекватность уравнений множественной регрессии и такие факторы влияния как фотосинтетический потенциал и густота стояния растений озимой пшеницы подтверждают величину биологической урожайности, и, в конечном итоге, модели множественной регрессии обеспечили надежный и интерпретируемый результат прогноза с учетом специфики сорта и технологии.

© Зеленев А.В., Капранов В.Н., Тегесов Д.С., Мамедов Р.З., Киселев Е.Ф., 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: сорт, множественная регрессия, фотосинтетический потенциал, густота стояния растений, прогноз урожайности

Вклад авторов: В.Н. Капранов — концепция, написание первой версии; Р.З. Мамедов — методология, визуализация результатов; Е.Ф. Киселев — методология, валидация; А.В. Зеленев — работа с данными, ревизия и редактирование текста; Д.С. Тегесов — работа с данными, написание первой версии. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.





Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Минсельхоза России в рамках Государственного задания ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (тема № FGGE 2022–0005).

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

История статьи: поступила в редакцию 24 сентября 2025 г., принята к публикации 7 ноября 2025.


Для цитирования: Зеленев А.В., Капранов В.Н., Тегесов Д.С., Мамедов Р.З., Киселев Е.Ф. Моделирование продуктивности агроценоза озимой пшеницы по принципу многофакторности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 21. № 1. С. 25–40. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-25-40 EDN: DWETFK

Modeling winter wheat agroecosystem productivity based on multifactorial principle

Alexander V. Zelenev^{1,2}  , Vladimir N. Kapranov¹ , Dolgan S. Tegesov¹ ,
Ramin Z. Mamedov¹ , Eugene F. Kiselev¹ 

¹Federal Research Center “Nemchinovka”, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 zelenev-av@rudn.ru

Abstract. Analytical and mathematical algorithms are widely used to explain the relationship between grain crop productivity and the elements directly influencing it, capturing the dependence of yield on parameters of active life activity. The application of such statistical and mathematical methods contributes to a thorough assessment of the potential efficiency of agricultural crops. Based on multiple correlation-regression analysis, predictive models for the formation of potential yield were established for the winter wheat cultivars Moskovskaya 40 and Nemchinovskaya 85, bred by the Federal Research Center “Nemchinovka” and cultivated using technologies with different levels of intensification. Analysis of meteorological data revealed uniform variability in the sum of positive temperatures and precipitation over the research years. A linear multiple regression was identified. The dominant sources that have a direct impact on formation of crop yields are the density of productive stems and the increase in leaf surface area, expressed as the value of the photosynthetic potential, as well as water availability, i.e., the total amount of precipitation during the period with temperatures above +10 °C. The biological yield under the basic technology was determined as 5 t/ha, under intensive technology — 8 t/ha, and under high-intensity technology — 10 t/ha. When cultivating Moskovskaya 40 cultivar, the minimum number of productive stems according to the multiple regression equation solution was 310...315 stems/m² for the basic technology, 615...620 stems/m² for the intensive technology, and 890...900 stems/m² for the high-intensity technology. For the Nemchinovskaya 85 cultivar, the plant density was 330...340, 590...600, and 790...800 stems/m², respectively. With increasing technology intensity, the photosynthetic potential for the Moskovskaya 40 cultivar was 2.8, 4.2, and 5.3 million m²/ha per day, and for the Nemchinovskaya 85 cultivar — 3.6, 4.7, and 6.2 million m²/ha per

day. As a result, the adequacy of the multiple regression equations and such influencing factors as photosynthetic potential and plant density of winter wheat confirm the magnitude of biological yield. Ultimately, the multiple regression models provided a reliable and interpretable forecast result, taking into account the specifics of the cultivar and technology.

Keywords: variety, multiple regression, photosynthetic potential, plant density, yield forecast

Authors' contribution: concept — Kapranov V.N.; methodology — Mamedov R.Z., Kiselev E.F.; validation — Kiselev E.F.; data processing — Zelenev A.V., Tegesov D.S.; writing the first version — Kapranov V.N., Tegesov D.S.; revision and editing of the text — Zelenev A.V.; visualization of results — Mamedov R.Z. All authors reviewed the final version of the manuscript and approved it.

Acknowledgments. The study was supported by the Ministry of Agriculture of Russia within the framework of the State Assignment of the “Nemchinovka” Federal Research Center (No. FGGE 2022–0005).

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

Article history: received 24 September 2025; accepted 7 November 2025.

For citation: Zelenev AV, Kapranov VN, Tegesov DS, Mamedov RZ, Kiselev EF. Modeling winter wheat agrocenosis productivity based on multifactorial principle. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):25–40. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-25-40 EDN: DWETFK

Введение

Сельскохозяйственное производство относится к наиболее нестабильным видам хозяйственной деятельности, что обусловлено высокой зависимостью от абиотических, агрометеорологических и техногенных факторов. Эффективность производства продуктов питания в большинстве случаев определяется факторами среды обитания выращиваемых культур [1–4]. В результате на данном этапе развития современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур на первый план выходит получение достоверной информации о степени влияния абиотических, главным образом агрометеорологических (случайных), а также техногенных (фиксированных) факторов, таких как применение средств защиты растений (СЗР) и минеральных удобрений (МУ), на продуктивность агрокультур в интересах наиболее результативной координации продукционного цикла в агроэкосистемах [5–7].

Взаимосвязь продуктивности зерновых культур с элементами, непосредственно влияющими на ее величину, объясняется с использованием аналитических и математических алгоритмов анализа, с их помощью фиксируется зависимость урожайности от параметров активной жизнедеятельности. Актуальность исследования определяется, прежде всего, применением различных средств моделирования, позволяющих в полной мере реализовать продуктивный потенциал агрокультур. Наряду с этим, величина координации совокупных показателей, оказывающих влияние на развитие агрокультур, считается предметом многочисленных дискуссий. С практического и научного умозрения данный вопрос до конца не решен и остается крайне привлекательным [8–11].

Цель исследования — оценить влияние случайных и фиксированных факторов на формирование биологической урожайности с использованием линейной множественной регрессии, а также верификация гипотезы о линейной зависимости

между переменными. Научная новизна работы заключается в комбинированном анализе факторов, традиционно рассматриваемых изолированно, и разработке модели, оптимизированной для прогнозирования в условиях мультиколлинеарности.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены за период с 2016 по 2024 г. на полях ФИЦ «Немчиновка» в стационарных опытах, размещаемых в четырехпольном севообороте (занятый пар — озимые зерновые — яровые зерновые — зернобобовые), в которых изучали реакцию сортов озимой пшеницы на применяемые технологии — базовую, интенсивную и высокоинтенсивную, отличающиеся уровнем применения минеральных удобрений и средств защиты растений.

Почва в стационарном опыте — дерново-подзолистая среднесуглинистая, имеющая следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} — 5,3...5,8; гумус — 1,7...1,9 %; N_g — 1,18...1,33 ммоль/100 г; содержание подвижного фосфора 267...324 и калия 108...125 мг/кг почвы (по Кирсанову). Мощность пахотного горизонта — 22 см. Плотность сложения почвы в равновесном состоянии — 1,22...1,35 г/см³. Система обработки почвы — комбинированная.

В качестве объекта изучения и проведения корреляционно-регрессионного анализа и построения модели прогнозирования урожайности использованы сорта озимой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка»: Московская 40 (9 лет изучения) и Немчиновская 85 (8 лет изучения).

Насыщение модели избыточными факторами может привести к статистической незначимости параметров регрессии. Поэтому отбор факторов осуществлялся в два этапа: 1) на основе теоретического анализа выбирались факторы, которые могут влиять на урожайность; 2) посредством матрицы корреляции оценивалась степень взаимосвязи между факторами и зависимой (результативной) переменной.

При анализе начальной гипотезы предполагалось, что зависимость между изучаемыми параметрами будет линейной при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что соответствует вероятности ошибки первого рода в 5 %. Для определения наличия взаимосвязи между разными факторами использовали парные коэффициенты корреляции. При этом парная корреляция между результативным параметром урожайности и фиксированными признаками (переменными) должна быть тесной ($r \geq 0,7$) с коэффициентом детерминации D , показывающим высокую долю зависимости переменной, а связь между независимыми переменными для построения множественной регрессии — слабая ($r < 0,7$).

Качество модели оценивали с помощью множественного коэффициента корреляции R , который должен быть близок к единице, что указывает на сильную связь между переменными, объясняемой моделью, величин значимости отдельных F -значений для независимых признаков, которая должна быть менее 0,05, а также коэффициента Фишера F для модели (регрессии) в целом.

Если предполагаемая гипотеза верна при соблюдении оценивающих критериев, то линейная модель должна иметь следующий вид:

$$Y = a + \sum_{i=1} b_i X_i + \varepsilon,$$

где Y — зависимая переменная (биологическая урожайность); X_i — независимые переменные (факторы); a , b_i — коэффициенты регрессии; ε — случайная компонента.

Густоту стояния растений определяли по Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹, фотосинтетический потенциал — по А.А. Ничипоровичу и др.² Необходимые расчеты выполняли посредством статистических методов [12, 13], а также с использованием пакета программ MS Excel³ [14, 15].

Результаты исследования и обсуждение

Построение уравнений множественной регрессии предопределяет специфику модели, которая включает два вопроса: отбор факторов и выбор вида уравнения регрессии. В качестве нулевой гипотезы выбрана линейная множественная регрессия. Результативным параметром являлась биологическая урожайность сортов озимой пшеницы (Y , г/м²). В рассмотрение случайных факторов включены: количество осадков, выпавших за вегетационный период (X_1 , мм) и сумма положительных температур воздуха выше +10 °С за данный период (X_2 , °С), а также фиксированные факторы, являющиеся пролонгацией влияния применения удобрений и средств защиты растений — фотосинтетический потенциал (ФП) как один из показателей нарастания биохимических процессов (X_3 , млн м²/га · дней), густота стояния растений (X_4 , шт./м²), среднее содержание азота в вегетативной массе за период от кущения до колошения (X_5 , %).

Погодные условия вегетационных периодов озимой пшеницы в годы исследований играли важную роль в формировании урожайности. Общеизвестно, что из пяти главных факторов, формирующих урожайность зерновых культур (свет, тепло, влага, углекислый газ, питательные вещества), на первом месте находится влагообеспеченность, которую предопределяет количество выпадающих за сезон осадков. Она может быть как недостаточная, так и избыточная. За годы наблюдений дефицит влаги от выпавших за вегетационный период осадков отмечали в 2019 и 2024 гг., где ГТК равнялся 1,0. Переувлажненными характеризовались 2017 и 2020 гг. с ГТК соответственно 2,74 и 2,26. При этом анализ метеоданных показал однородность изменчивости по годам количества осадков и суммы положительных температур воздуха. Коэффициенты вариации не превышали 33 % (табл. 1).

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / подгот. М.А. Федин и др. М.: Гос. комис. по сортоиспытанию с.-х. культур при М-ве сел. хоз-ва СССР, 1989. 194 с.

² Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах: методы и задачи учета в связи с формированием урожая. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 135 с. EDN: GWSUZW

³ Лебедько Е.Я., Хохлов А.М., Барановский Д.И., Гетманец О.М. Биометрия в MS EXCEL: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2022. 172 с. EDN: VZK1T1; Чаргеишвили С.В., Сударев Н.П., Абрампальская О.В. Использование методов биометрии в MS Excel: учеб. пособие. Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. 98 с. EDN: HSCJAB

Таблица 1

Вариабельность метеорологических показателей вегетационного периода озимой пшеницы (среднее за 2016–2024 гг.)

Случайные признаки	Разброс данных		
	min	max	Cv, %
Количество осадков X_1 , мм	202	442	28
Сумма температур воздуха выше +10 °C X_2 , °C	1507	2265	14

Источник: составил Д.С. Тегесов.

Table 1

Variability of meteorological parameters for the winter wheat growing season (average for 2016–2024)

Random variables	Data scatter		
	min	max	Cv, %
Precipitation X_1 , mm	202	442	28
Sum of air temperatures above +10 °C X_2 , °C	1507	2265	14

Source: compiled by D.S. Tegesov.

Влагообеспеченность и применяемые технологии определяли величины фиксированных признаков X_3 , X_4 и X_5 . Из табл. 2 следует, что при недостаточном увлажнении (202...213 мм осадков) значения фотосинтетического потенциала (X_3) Московской 40 изменялись с ростом интенсивности возделывания от 2,21 до 3,84 млн м²/га × дней, Немчиновской 85 — от 2,26 до 5,42 млн м²/га × дней.

Таблица 2

Вариабельность C_v , %, значений фиксированных признаков X и биологической урожайности Y, г/м², озимой пшеницы

Технология	X_3			X_4			X_5			y		
	min	max	C_v , %	min	max	C_v , %	min	max	C_v , %	min	max	C_v , %
Сорт Московская 40 (2016–2024 гг., 9 лет изучения)												
I	2,21	5,30	27	313	745	25	2,37	3,36	13	465	990	26
II	3,16	6,84	31	315	915	30	2,56	3,60	12	496	1091	24
III	3,84	8,19	28	302	963	26	2,75	3,97	10	578	1277	24
Сорт Немчиновская 85 (2017–2024 гг., 8 лет изучения)												
I	2,26	5,92	30	331	751	25	2,36	3,37	13	475	998	27
II	3,22	6,34	31	312	1105	26	2,47	3,67	12	546	1405	31
III	5,42	9,15	23	354	1051	29	2,73	3,82	12	641	1432	24

Примечание. I – базовая; II – интенсивная; III – высокоинтенсивная технология.

Источник: составил Д.С. Тегесов.

Variability C_v , % of the values of fixed traits X and biological yield Y , g/m², of winter wheat

Technology	X_3			X_4			X_5			Y		
	min	max	C_v , %	min	max	C_v , %	min	max	C_v , %	min	max	C_v , %
cv. Moskovskaya 40 (2016–2024, 9 years of study)												
I	2.21	5.30	27	313	745	25	2.37	3.36	13	465	990	26
II	3.16	6.84	31	315	915	30	2.56	3.60	12	496	1091	24
III	3.84	8.19	28	302	963	26	2.75	3.97	10	578	1277	24
cv. Nemchinovskaya 85 (2017–2024, 8 years of study)												
I	2.26	5.92	30	331	751	25	2.36	3.37	13	475	998	27
II	3.22	6.34	31	312	1105	26	2.47	3.67	12	546	1405	31
III	5.42	9.15	23	354	1051	29	2.73	3.82	12	641	1432	24

Note. I – basic; II – intensive; III – high-intensity technology.

Source: compiled by D.S. Tegesov.

С выпадением за вегетацию 387...442 мм осадков фотопотенциал увеличился от базовой к высокоинтенсивной технологии у сорта Московская 40 с 5,30 до 8,07 млн м²/га × дней, у сорта Немчиновская 85 — с 5,92 до 9,15 млн м²/га × дней. Сходная закономерность отмечалась и по фиксированному признаку густота стояния растений. В основном с увеличением интенсивности возделывания сортов пшеницы количество продуктивных стеблей повышалось. При достаточном увлажнении пахотного слоя почвы (ГТК 2 и более) густота стояния растений у изучаемых сортов возрастала в 2,8...2,9 раза. По содержанию общего азота в вегетативной массе растений по фазам развития можно лишь определенно утверждать, что с ростом интенсивности технологии его количество увеличивается. Однако четкой закономерности влияния влагообеспеченности на этот фактор не отмечается.

Исходя из фиксированных признаков X_1 , X_3 и X_4 , а также применяемой технологии, в основном и осуществлялся размах значений по годам биологической урожайности Y сортов озимой пшеницы. У сорта Московская 40 по базовой технологии продуктивность изменялась от 465 до 990, Немчиновской 85 — с 475 до 998 г/м², по интенсивной технологи в соответствии по сортам в пределах 496...1091 и 546...1405 г/м², по высокоинтенсивной технологии — 578...1277 и 641...1432 г/м². По всем выборкам признаков изменчивость величин имела также однородный характер, не превышая согласно коэффициенту вариации 33 %.

Множественная регрессия — метод построения модели с несколькими факторами. При этом необходимо заранее определить влияние на моделируемый показатель каждого из этих факторов в отдельности, а также совокупное их воз-

действие. Парная взаимосвязь между биологической урожайностью и отдельным фиксированным признаком дает обнадеживающий результат при составлении уравнения множественной регрессии, если она значима, т. е. коэффициент парной корреляции характеризует существенную тесноту связи.

В результате корреляционного анализа данных установлена высокая зависимость результативного параметра биологической урожайности в соответствие с уровнем интенсивности технологии или продуктивности по следующим фиксированным признакам: от количества осадков за вегетацию (r_{yx_1}) — 0,86...0,88 у сорта Московская 40 и 0,82...0,92 у сорта Немчиновская 85; сформированного фотопотенциала (r_{yx_2}) соответственно по сортам с коэффициентами парной корреляции 0,8...0,87 и 0,82...0,85 и густотой стояния растений (r_{yx_3}) — 0,83...0,86 и 0,81...0,83 (табл. 3). Такие показатели выборки влияния как сумма положительных температур за вегетацию (r_{yx_4}) и среднее потребление азота растениями по фазам роста от кущения до колошения (r_{yx_5}) оказывали слабое воздействие на формирование урожая.

Таблица 3

Корреляция биологической урожайности сортов озимой пшеницы с фиксированными факторами

Взаимосвязь	Технология	Сорт Московская 40		Сорт Немчиновская 85	
		<i>r</i>	<i>D</i>	<i>r</i>	<i>D</i>
yx_1	I	0,86	0,74	0,82	0,67
	II	0,88	0,77	0,92	0,85
	III	0,88	0,77	0,90	0,81
yx_2	I	0,11	0,01	0,32	0,08
	II	0,32	0,10	0,26	0,07
	III	0,22	0,05	0,15	0,02
yx_3	I	0,87	0,76	0,84	0,71
	II	0,83	0,69	0,85	0,72
	III	0,84	0,71	0,82	0,67
yx_4	I	0,86	0,74	0,82	0,67
	II	0,83	0,69	0,81	0,66
	III	0,86	0,74	0,83	0,69
yx_5	I	0,34	0,12	0,32	0,10
	II	0,36	0,13	0,24	0,06
	III	0,33	0,11	0,23	0,05

Примечание. I — базовая; II — интенсивная; III — высокоинтенсивная технология.

Источник: составил Д.С. Тегесов.

Table 3

Correlation of biological yield of winter wheat cultivars with fixed factors

Correlation	Technology	cv. Moskovskaya 40		cv. Nemchinovskaya 85	
		<i>r</i>	<i>D</i>	<i>r</i>	<i>D</i>
YX_1	I	0.86	0.74	0.82	0.67
	II	0.88	0.77	0.92	0.85
	III	0.88	0.77	0.90	0.81
YX_2	I	0.11	0.01	0.32	0.08
	II	0.32	0.10	0.26	0.07
	III	0.22	0.05	0.15	0.02
YX_3	I	0.87	0.76	0.84	0.71
	II	0.83	0.69	0.85	0.72
	III	0.84	0.71	0.82	0.67
YX_4	I	0.86	0.74	0.82	0.67
	II	0.83	0.69	0.81	0.66
	III	0.86	0.74	0.83	0.69
YX_5	I	0.34	0.12	0.32	0.10
	II	0.36	0.13	0.24	0.06
	III	0.33	0.11	0.23	0.05

Note. I – basic; II – intensive; III – high-intensity technology.

Source: compiled by D.S. Tegesov.

Таким образом, на втором этапе корреляционного анализа для установления взаимосвязи между фиксированными признаками последние два можно не рассматривать.

При рассмотрении парной корреляции между фиксированными признаками следует учитывать наличие мультиколлинеарности. Если она присутствует, то имеет место совокупное их воздействие друг на друга. В результате фиксированные факторы перестают быть полностью независимыми и нельзя оценить воздействие каждого из них в отдельности.

При расчете коэффициентов корреляции между признаками, воздействующими на урожайность обоих сортов пшеницы, выяснилось, что линейная связь количества осадков X_1 с сформированным в технологиях фотопотенциала X_3 высокая: $r_{X_1X_3} = 0,90...0,91$ для сорта Московская 40 и $r_{X_1X_3} = 0,78...0,88$ — сорта Немчиновская 85. Следовательно, включение в модель этих совокупных признаков не целесообразно, так как может повлечь неустойчивость и ненадежность оценки коэффициента множественной регрессии и значимость уравнения регрессии в целом окажется не интерпретируемой (табл. 4).

Таблица 4

Корреляция между фиксированными факторами

Взаимосвязь	Технология	Сорт Московская 40		Сорт Немчиновская 85	
		<i>r</i>	<i>D</i>	<i>r</i>	<i>D</i>
X_1X_3	I	0,90	0,81	0,78	0,61
	II	0,91	0,83	0,78	0,61
	III	0,90	0,81	0,88	0,77
X_1X_4	I	0,58	0,34	0,56	0,31
	II	0,64	0,41	0,62	0,38
	III	0,56	0,31	0,56	0,31
X_3X_4	I	0,54	0,29	0,56	0,31
	II	0,60	0,36	0,55	0,30
	III	0,49	0,24	0,41	0,17

Примечание. I – базовая; II – интенсивная; III – высокоинтенсивная технология.

Источник: составил Д.С. Тегесов.

Table 4

Correlation between fixed factors

Correlation	Technology	cv. Moskovskaya 40		cv. Nemchinovskaya 85	
		<i>r</i>	<i>D</i>	<i>r</i>	<i>D</i>
X_1X_3	I	0.90	0.81	0.78	0.61
	II	0.91	0.83	0.78	0.61
	III	0.90	0.81	0.88	0.77
X_1X_4	I	0.58	0.34	0.56	0.31
	II	0.64	0.41	0.62	0.38
	III	0.56	0.31	0.56	0.31
X_3X_4	I	0.54	0.29	0.56	0.31
	II	0.60	0.36	0.55	0.30
	III	0.49	0.24	0.41	0.17

Note. I – basic; II – intensive; III – high-intensity technology.

Source: compiled by D.S. Tegesov.

В результате предпочтения следует отдать взаимозависимостям, имеющим наименьшую тесноту связи. В нашем случае между фиксированными признаками X_1X_4 и X_3X_4 , где коэффициенты парной корреляции определены на уровне менее 0,7. Поэтому для множественной регрессии целесообразно принять во внимание взаимосвязь результативного признака (биологической урожайности) как с количеством осадков за вегетацию и густотой стояния растений, а также фотопотенциала с продуктивным стеблестоем.

Дисперсионный анализ показал, что расчетные значения F-критерия по технологиям значительно превышали табличные. Следовательно, уравнения линейной множественной регрессии в целом статистически значимы.

Согласно выполненному регрессионному анализу значения коэффициентов a_0 и b_i в моделях прогнозирования по всем технологиям достоверны по P-значениям, которые меньше уровня значимости ($\alpha \leq 0,05$). Кроме того, они отражают силу влияния независимых (фиксированных) признаков на результативный, в нашем случае биологическую урожайность. Они также указывают на высокую значимость отдельных признаков для стабильности модели на 95 % и нулевая гипотеза линейности множественной регрессии по выбранным признакам по трем технологиям корректна (табл. 5). Подтверждение тому дает решение системы уравнений 1 и 2 отдельно по сортам и технологиям, принимая за первичные (эталонные) признаки количество осадков (X_1) и планируемую для каждой технологии урожайность (Y). Количество осадков за период с температурой выше +10 °C принято по многолетним значениям для Центрального экономического района (ЦЭР) и равняется 289 мм.

Биологическая урожайность по базовой технологии определена как 5 т/га (500 г/м²), интенсивной — 8 т/га (800 г/м²) и высокоинтенсивной — 10 т/га (1000 г/м²). Тогда при возделывании сорта Московская 40 минимальное количество продуктивных стеблей (X_4) при решении первого уравнения множественной регрессии по базовой технологии может составлять 310...315, по интенсивной — 615...620, по высокоинтенсивной технологии — 890...900 шт./м². Для сорта Немчиновская 85 густота стояния равняется соответственно 330...340, 590...600 и 790...800 шт./м². Продуктивной стеблестой определяет нарастание ассимиляционной листовой поверхности растений (фотопотенциал). В соответствии с густотой стояния решением системы первого и второго уравнения регрессии определяется фотосинтетический потенциал (X_3). С увеличением интенсивности технологии его значения для сорта Московская 40 равняются — 2,8; 4,2; 5,3 млн м²/га в сутки, сорта Немчиновская 85 — 3,6; 4,7; 6,2 млн м²/га в сутки.

Таблица 5

Множественная регрессия (модели) формирования биологической урожайности сортов озимой пшеницы

Технология	Взаимосвязь	Дисперсия		P-значение	Модель множественной регрессии	R	
		$F_{\text{факт}}$	$F_{0,05}$				
Сорт Московская 40							
I	UX_1X_4	45,9	4,15	X_1	0,005	$\hat{Y} = -131,53 + 1,27X_1 + 0,85X_4$ (1)	0,97
				X_4	0,004		
	UX_3X_4	51,3		X_3	0,002	$\hat{Y} = -68,70 + 123,34X_3 + 0,70X_4$ (2)	0,97
				X_4	0,004		
II	UX_1X_4	27,5		X_1	0,011	$\hat{Y} = 63,99 + 1,57X_1 + 0,46X_4$ (1)	0,95
				X_4	0,036		
	UX_3X_4	18,3	X_3	0,035	$\hat{Y} = 152,26 + 77,60X_3 + 0,52X_4$ (2)	0,93	
			X_4	0,037			
III	UX_1X_4	73,9	X_1	0,001	$\hat{Y} = -43,46 + 1,74X_1 + 0,61X_4$ (1)	0,98	
			X_4	0,002			
	UX_3X_4	97,8	X_3	0,0004	$\hat{Y} = -8,40 + 76,45X_3 + 0,68X_4$ (2)	0,98	
			X_4	0,0003			

Окончание табл. 5

Технология	Взаимосвязь	Дисперсия		P-значение	Модель множественной регрессии	R	
		F _{факт}	F _{0,05}				
Сорт Немчиновская 85							
I	y _{X₁X₄}	15,3	4,88	X ₁	0,050	$\hat{Y} = -83,75 + 1,26X_1 + 0,66X_4 (1)$	0,93
				X ₄	0,048		
	y _{X₃X₄}	18,7		X ₃	0,031	$\hat{Y} = -31,19 + 87,29X_3 + 0,64X_4 (2)$	0,94
				X ₄	0,039		
II	y _{X₁X₄}	41,6		X ₁	0,004	$\hat{Y} = -269,26 + 2,42X_1 + 0,63X_4 (1)$	0,97
				X ₄	0,035		
	y _{X₃X₄}	21,4		X ₃	0,021	$\hat{Y} = -146,34 + 100,99X_3 + 0,80X_4 (2)$	0,95
				X ₄	0,034		
III	y _{X₁X₄}	66,7	X ₁	0,002	$\hat{Y} = 4,93 + 1,99X_1 + 0,53X_4 (1)$	0,98	
			X ₄	0,006			
		y _{X₃X₄}	60,9	X ₃	0,002	$\hat{Y} = -96,24 + 92,35X_3 + 0,66X_4 (2)$	0,98
				X ₄	0,002		

Примечание. I – базовая; II – интенсивная; III – высокоинтенсивная технология.

Источник: составил Д.С. Тегесов.

Table 5

Multiple regression (models) of formation of biological yield of winter wheat cultivars

Technology	Correlation	Variance		P-Value	Multiple regression model	R	
		F _{actual}	F _{0.05}				
cv. Moskovskaya 40							
I	y _{X₁X₄}	45.9	4.15	X ₁	0.005	$\hat{Y} = -131.53 + 1.27X_1 + 0.85X_4 (1)$	0.97
				X ₄	0.004		
	y _{X₃X₄}	51.3		X ₃	0.002	$\hat{Y} = -68.70 + 123.34X_3 + 0.70X_4 (2)$	0.97
				X ₄	0.004		
II	y _{X₁X₄}	27.5		X ₁	0.011	$\hat{Y} = 63.99 + 1.57X_1 + 0.46X_4 (1)$	0.95
				X ₄	0.036		
	y _{X₃X₄}	18.3		X ₃	0.035	$\hat{Y} = 152.26 + 77.60X_3 + 0.52X_4 (2)$	0.93
				X ₄	0.037		
III	y _{X₁X₄}	73.9	X ₁	0.001	$\hat{Y} = -43.46 + 1.74X_1 + 0.61X_4 (1)$	0.98	
			X ₄	0.002			
	y _{X₃X₄}	97.8	X ₃	0.0004	$\hat{Y} = -8.40 + 76.45X_3 + 0.68X_4 (2)$	0.98	
			X ₄	0.0003			
cv. Nemchinovskaya							
I	y _{X₁X₄}	15.3	4.88	X ₁	0.050	$\hat{Y} = -83.75 + 1.26X_1 + 0.66X_4 (1)$	0.93
				X ₄	0.048		
	y _{X₃X₄}	18.7		X ₃	0.031	$\hat{Y} = -31.19 + 87.29X_3 + 0.64X_4 (2)$	0.94
				X ₄	0.039		
II	y _{X₁X₄}	41.6		X ₁	0.004	$\hat{Y} = -269.26 + 2.42X_1 + 0.63X_4 (1)$	0.97
				X ₄	0.035		
	y _{X₃X₄}	21.4		X ₃	0.021	$\hat{Y} = -146.34 + 100.99X_3 + 0.80X_4 (2)$	0.95
				X ₄	0.034		
III	y _{X₁X₄}	66.7	X ₁	0.002	$\hat{Y} = 4.93 + 1.99X_1 + 0.53X_4 (1)$	0.98	
			X ₄	0.006			
		y _{X₃X₄}	60.9	X ₃	0.002	$\hat{Y} = -96.24 + 92.35X_3 + 0.66X_4 (2)$	0.98
				X ₄	0.002		

Note. I – basic; II – intensive; III – high-intensity technology.

Source: compiled by D.S. Tegesov.

В результате адекватность уравнений множественной регрессии и факторы влияния X_3 и X_4 подтверждают величину биологической урожайности.

Заключение

Получены адекватные модели прогнозирования потенциальной урожайности озимой пшеницы сортов Московская 40 и Немчиновская 85 для Центрального экономического района с высокими коэффициентами множественной регрессии. Другими словами, полученные модели обладают прогностической способностью. При изменчивости влагообеспечения и установления традиционного результата продуктивного стеблестоя можно прогнозировать фотосинтетическую деятельность растений и потенциальный будущий урожай зерна. Однако, при построении уравнений множественной линейной регрессии следует учитывать особенности сорта и применяемой технологии, которые значимо оказывают влияние на результирующий показатель биологической (потенциальной) урожайности. Поэтому применение единой модели к самой культуре не приемлемо и может исказить прогноз. Выбор метода определил структуру данных и цель исследований, учел специфику сорта и технологии, обеспечил надежные и интерпретируемые результаты.

Список литературы

1. Воронов С.И., Калабашкина Е.В., Музраев В.Н., Цымбалова В.А., Диаките С. Влияние агротехнологий разного уровня интенсивности на продуктивность сортов яровой пшеницы и экономическую эффективность в условиях Центральной Нечерноземной зоны // *Аграрная Россия*. 2025. № 3. С. 3–7. doi: 10.30906/1999-5636-2025-3-3-7 EDN: WOVVJO
2. Воронов С.И., Капранов В.Н., Зеленеv А.В., Киселев Е.Ф., Тегесов Д.С., Салтыков М.А., Похорский В.В. Агрэкономическая эффективность технологий возделывания озимой пшеницы при различных уровнях интенсификации // *Селекция и семеноводство: новые вызовы и возможности, устойчивое развитие и продовольственная безопасность* : материалы V Междунар. науч. конф., Москва, 27–28 марта 2025 г. М. : ФИЦ «Немчиновка», 2025. С. 200–207. EDN: IJJDWF
3. Капранов В.Н., Зеленеv А.В., Киселев Е.Ф., Тегесов Д.С., Плескачев Н.Ю. Роль технологий разного уровня интенсивности в формировании урожайности и качества зерна новых сортов озимой пшеницы // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2025. № 1 (79). С. 32–43. doi: 10.32786/2071-9485-2025-01-03 EDN: PURAZT
4. Симаков Л.О. Разработка эргономичного агроценоза для производства продуктов питания в регионах неблагоприятных для сельского хозяйства // *Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии* : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 160-летию Тимирязевской академии, Москва, 22–23 мая 2025 г. М. : Российский государственный аграрный университет, 2025. С. 822–826. EDN: FYZZOU
5. Анфиногентова А.А., Блинова Т.В., Решетникова Е.Г. и др. Продовольственная безопасность России: вызовы, риски, угрозы. Саратов : Институт аграрных проблем РАН, 2011. 270 с. EDN: WERGDR
6. Ярошенко Г.В., Цымбал В.А., Богодистов А.А. Современные вызовы и угрозы продовольственной безопасности Российской Федерации // *Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС*. 2017. № 2. С. 109–113. doi: 10.22394/2079-1690-2017-1-2-109-113 EDN: YSRZBJ
7. Филипповская О.В. Продовольственная безопасность России в свете происходящих геополитических изменений // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2016. Т. 12. № 2 (335). С. 94–105. EDN: VMCZVN

8. Адамень Ф.Ф., Коковихин С.В., Сташкина А.Ф. Математическое моделирование продуктивности орошаемой озимой пшеницы в зависимости от влияния метеорологических факторов в условиях Северного Причерноморья // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 33 (196). С. 6–16. EDN: PJCJCX
9. Давыдовский А.Г., Лихачевский А.Г. Моделирование продуктивности агрофитоценозов в условиях погодно-климатических флуктуаций как проблема Big Data // Big Data and Advanced Analytics. 2019. № 5. С. 280–294. EDN: ACUXSZ
10. Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П. Эффективность метода блоков в многофакторных полевых опытах с озимой пшеницей в условиях Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2017. № 11 (174). С. 12–19. EDN: YOPBGL
11. Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П. Эффективность неполных факториальных схем в многофакторных полевых опытах с озимой пшеницей // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 17 (180). С. 14–31. EDN: AUFEOX
12. Базаров С.М., Бельный Ю.И., Базарова М.В. Обобщение регрессионного анализа // Научная жизнь. 2017. № 12. С. 35–42. EDN: YRZQWK
13. Прошкин В.А. Интерпретация результатов агрохимических исследований с использованием статистических моделей // Плодородие. 2014. № 5 (80). С. 21–22. EDN: SXJPBD
14. Лапченко Е.А. Программный комплекс «САТ» для решения производственных задач в растениеводстве // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 10. С. 59–61. EDN: RFMFPPZ
15. Лукомец А.В. Теоретико-методологическое обоснование ресурсного обеспечения растениеводства : дис. ... д-ра эконом. наук. Мытищи, 2024. 398 с. EDN: OXNZUN

References

1. Voronov SI, Kalabashkina EV, Muzraev VN, Tsymbalova VA, Diakite S. Impact of different intensity levels of agricultural technologies on the productivity of spring wheat varieties and economic efficiency in the conditions of the Central Non-Chernozem Zone. *Agrarnaya Rossiya*. 2025;(3):3–7. (In Russ.). doi: 10.30906/1999-5636-2025-3-3-7 EDN: WOVVJO
2. Voronov SI, Kapranov VN, Zelenev AV, Kiselev EF, Tegesov DS, Saltykov MA, et al. Agro-economic efficiency of winter wheat cultivation technologies at different levels of intensification. In: *Breeding and seed production: new challenges and opportunities, sustainable development and food security: conference proceedings*. Moscow: 2025. p.200–207. (In Russ.). EDN: IJJDWF
3. Kapranov VN, Zelenev AV, Kiselev EF, Tegesov DS, Pleskachev NY. The role of technologies of different intensity levels in the formation of yield and grain quality of winter wheat new varieties. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2025;(1):32–43. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2025-01-03 EDN: PURAZT
4. Simakov LO. Development of an ergonomic agrocenosis for food production in regions unfavorable for agriculture. *Food industry: innovative processes, products and technologies: conference proceedings*. Moscow; 2025. p.822–826. (In Russ.). EDN: FYZZOU
5. Anfinogentova AA, Blinova TV, Reshetnikova EG, Yakovenko NA, Andryushchenko SA, Ermolova OV, et al. *Prodovol'stvennaya bezopasnost' Rossii: vyzovy, riski, ugrozy* [Food security of Russia: challenges, risks, threats]. Saratov; 2011. (In Russ.). EDN: WERGDR
6. Yaroshenko GV, Tsymbal VA, Bogodistov AA. Modern challenges and threats of food security of the Russian Federation. *Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie. Uchenye zapiski*. 2017;(2):109–113. (In Russ.). doi: 10.22394/2079-1690-2017-1-2-109-113 EDN: YSRZBJ
7. Filippovskaya OV. Current geopolitical changes and the food security of Russia. *National Interests: Priorities and Security*. 2016;12(2):94–105. (In Russ.). EDN: VMCZVN
8. Adamen FF, Kokovikhin SV, Stashkina AF. Mathematical modeling of the productivity of irrigated winter wheat depending on the influence of meteorological factors under the conditions of the Northern Black Sea region. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2023;(33):6–16. (In Russ.). EDN: PJCJCX

9. Davydovsky AG, Likhachevsky AG. Modeling the productivity of agrophytocenoses in the conditions of climatic fluctuations as a Big Data problem. *Big Data and Advanced Analytics*. 2019;(5):280–294. (In Russ.). EDN: ACUXSZ
10. Izotov AM, Tarasenko BA, Dudarev DP. Efficiency of the method of blocks in multifactory field experiments with winter wheat in Crimea conditions. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2017;(11):12–19. (In Russ.). EDN: YOPBGL
11. Izotov AM, Tarasenko BA, Dudarev DP. The efficiency of the incomplete factorial schemes in multifactor field experiments with winter wheat. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2019;(17):14–31. (In Russ.). EDN: AUFE0X
12. Bazarov SM, Belenkiy YI, Bazarova MV. Generalization of regression analysis. *Scientific Life*. 2017;(12):35–42. (In Russ.). EDN: YRZQWK
13. Proshkin VA. Interpretation of the results of agrochemical studies using statistical models. *Plodородie*. 2014;(5):21–22. (In Russ.). EDN: SXJPBD
14. Lapchenko EA. The program complex “CAT” for decision production tasks in agriculture. *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex*. 2013;(10):59–61. (In Russ.). EDN: RFMFPZ
15. Lukomets AV. *Teoretiko-metodologicheskoe obosnovanie resursnogo obespecheniya rastenievodstva* [Theoretical and methodological substantiation of resource provision for crop production]. Mytishchi; 2024. (In Russ.). EDN: OXNZUN

Об авторах:

Зеленев Александр Васильевич — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, д. 30, стр. 1, офис 304; профессор департамента агробиотехнологий аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: zelenev-av@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-9351-9922 SPIN-код: 4057-2663

Капранов Владимир Николаевич — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, д. 30, стр. 1, офис 304; e-mail: kapr4nov.v@yandex.ru
ORCID: 0009-0009-9950-3663 SPIN-код: 6381-8239

Тегесов Дольган Сергеевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, д. 30, стр. 1, офис 304; e-mail: dolgan08@mail.ru
ORCID: 0009-0007-3978-2520 SPIN-код: 4933-3335

Мамедов Рамин Закирович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, д. 30, стр. 1, офис 304; e-mail: mam-ramin@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-2473-4538 SPIN-код: 6881-8565

Киселев Евгений Федорович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, д. 30, стр. 1, офис 304; e-mail: para-john-k@yandex.ru
ORCID: 0009-0000-5764-4868 SPIN-код: 4810-9680

About authors:

Zelenev Aleksandr Vasilyevich — Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal Research Center “Nemchinovka”, 30 Bolshoy Boulevard, bldg. 1, Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation; Professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: zelenev-av@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-9351-9922 SPIN-code: 4057-2663

Kapranov Vladimir Nikolaevich — Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal Research Center “Nemchinovka”, 30 Bolshoy Boulevard, bldg. 1, Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation; e-mail: kapr4nov.v@yandex.ru

ORCID: 0009-0009-9950-3663 SPIN-code: 6381-8239

Tegesov Dolgan Sergeevich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal Research Center “Nemchinovka”, 30 Bolshoy Boulevard, bldg. 1, Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation; e-mail: dolgan08@mail.ru

ORCID: 0009-0007-3978-2520 SPIN-code: 4933-3335

Mamedov Ramin Zakirovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Winter Wheat, Federal Research Center “Nemchinovka”, 30 Bolshoy Boulevard, bldg. 1, Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation; e-mail: mam-ramin@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2473-4538 SPIN-code: 6881-8565

Kiselev Evgeny Fedorovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal Research Center “Nemchinovka”, 30 Bolshoy Boulevard, bldg. 1, Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation; e-mail: papa-john-k@yandex.ru

ORCID: 0009-0000-5764-4868 SPIN-code: 4810-9680



Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-41-54


EDN DZOGID

UDC 631.52:631.671.3:633.111.1

Research article / Научная статья

Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum* L. genetic resources using molecular markers

Malek H. Walli^{1,2}  , Fatima Duksi¹ , Zina Al-jubouri² ,
Meisam Zargar¹ , Arshad Alhasnawi² 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation²Al-Muthanna University, Samawah, Iraq malek_h88@yahoo.com

Abstract. To mitigate climate change and support the global agricultural economy, plant breeding and improvement programmes have received significant attention to obtain genetic resources rich in tolerant genes. In our study, twenty ISSR primers were used to evaluate genetic variation for 23 genotypes. SSR markers and the Sanger sequencing method were used to detect drought-tolerant genotypes and identify target gene loci. ISSR-PCR results showed a total of 820 DNA bands, of which 172 bands were polymorphic (117 non-unique bands and 55 unique bands) with a polymorphism percentage of 88.6. In the similarity matrix and dendrogram, genotypes were divided into clusters according to the genetic origins of the parents. These results demonstrated that ISSR markers are a valuable method for determining genetic variation, and identification of wheat genetic origins. Using primers SSR-PCR (*Malek 1*, *Malek 2*), genotypes (AB, NF, CL, UD, SA, TB) were detected as having drought tolerance genes. DNA sequencing by Sanger sequencing method of the genotypes, genes (*DRF1*, *NAC20L*) were identified in the wild parent (*Triticum turgidum* L), which is considered the source of the tolerant genes. Sample sequences and genotypes were recorded in the Gene Bank and The NCBI Bankit platforms. DNA sequencing technology has proven its effectiveness in confirming field results and identifying targeted genetic sites in the wheat genome.

Keywords: drought stress, ISSR, SSR, DNA sequencing, Sanger sequencing

© Walli M.H., Duksi F., Al-jubouri Z., Zargar M., Alhasnawi A., 2026



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

Authors' contribution: Walli M.H., Zargar M. — concept development, analysis and interpretation of results, scientific writing; Duksi F., Al-jubouri Z., Alhasnawi A. — data collection and processing, approval of the final version of the manuscript. All authors reviewed the final version of the manuscript and approved it.

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

Article history: received 2 July 2025; accepted 14 January 2026.


For citation: Walli MH, Duksi F, Al-jubouri Z, Zargar M, Alhasnawi A. Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum* L. genetic resources using molecular markers. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):41–54. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-41-54 EDN DZOGID

Идентификация генетических ресурсов засухоустойчивости продовольственной пшеницы *Triticum aestivum* L. с использованием молекулярных маркеров

М.Х. Валли^{1,2}  , Ф. Дукси¹ , З. Аль-джабори² ,
М. Заргар¹ , А. Альхаснави² 

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

²Университет Аль-Мутанна, г. Санавах, Ирак

 malek_h88@yahoo.com

Аннотация. Для смягчения последствий изменения климата и поддержки мировой аграрной экономики значительное внимание уделяется программам селекции и улучшения растений с целью получения генетических ресурсов, богатых генами засухоустойчивости. Оценку генетической изменчивости 23 генотипов проводили с использованием двадцати ISSR-праймеров. Выявляли засухоустойчивые генотипы и осуществляли идентификацию целевых локусов генов применением SSR-маркеров и метода секвенирования по Сэнгеру. Результаты ISSR-ПЦР показали в общей сложности 820 полос ДНК, из которых 172 полосы были полиморфными (117 не уникальных полос и 55 уникальных полос) с процентом полиморфизма — 88,6. В матрице сходства и дендрограмме генотипы были разделены на кластеры в соответствии с генетическим происхождением материнских форм. Полученные результаты продемонстрировали, что ISSR-маркеры являются ценным методом определения генетической изменчивости и идентификации генетического происхождения пшеницы. С помощью праймеров SSR-PCR Malek 1, Malek 2 выявили гены засухоустойчивости у генотипов AB, NF, CL, UD, SA, TB. Секвенирование ДНК генотипов методом Сэнгера позволило идентифицировать гены DRF1 и NAC20L у дикого родительского растения (*Triticum turgidum* L.), которое считается источником генов засухоустойчивости. Образцы последовательностей и генотипов зарегистрировали в Gene Bank и на платформах NCBI Bankit. Технология секвенирования ДНК доказала свою эффективность в подтверждении результатов полевых исследований и идентификации целевых генетических участков в геноме пшеницы.

Ключевые слова: засуха, ISSR, SSR, секвенирование ДНК, генетика, секвенирование по Сэнгеру

Вклад авторов: Валли М.Х., Заргар М. — разработка концепции, анализ и интерпретация данных, подготовка и редактирование текста; Дукси Ф., Аль-джабори З., Альхаснави А. — сбор и обработка материала, согласование окончательного варианта статьи. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

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

История статьи: поступила в редакцию 2 июля 2025 г., принята к публикации 14 января 2026 г.

Для цитирования: Walli M.H., Duksi F., Al-jubouri Z., Zargar M., Alhasnawi A. Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum* L. genetic resources using molecular markers // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 41–54. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-41-54 EDN: DZOGID

Introduction

Global climate change is causing significant challenges for countries like Iraq, affecting over 70% of its irrigated areas [1]. The issue of rising temperatures, evaporation, and river desiccation, combined with dam construction and saline groundwater irrigation, poses a threat to food security [1, 2]. Wheat (*Triticum aestivum*) is among the most important food crops worldwide in production and use as food. The Food and Agriculture Organization (FAO) reports that wheat production averaged 765140714.8 tons from 2016 to 2016–2022, making it the third strategic crop globally after maize and sugarcane. The amount of wheat production in Asia reached 335,995,076.7 tonnes¹. Iraq is one of the most important centres for wheat production and breeding, contributing more than 20% of the world's food needs [3]. This cereal crop is the top choice among all cereal crops and is highly valued economically, making it a crucial strategic food crop. Wheat production in Iraq totalled roughly 3,683,604,429 tonnes, cultivated over an area of 1,334,193 hectares from 2016 to 2022. Increasing world population, coupled with abiotic stresses and global warming, has led to a decline in agricultural areas [4]. The Tigris and Euphrates rivers' declining water supply has worsened drought and water salinity, necessitating vertical agricultural expansion, requiring plant breeders to develop tolerant varieties [5]. Inter Simple Sequence Repeat ISSR markers are crucial in identifying genetic variations in wheat plants [6]. ISSR markers reveal significant genetic variation in wheat germplasms, with high polymorphic loci percentages observed in 80.5% bread wheat and 98.2% durum wheat populations [7, 8]. DNA sequencing methodologies have advanced wheat breeding and enhancement studies by discovering genetic variation linked to specific traits [9]. Utilising modern biotechnological techniques, including DNA markers and gene sequencing, to identify genes in diverse crop species is a dependable approach for locating drought-tolerant genetic resources in contrast with physical and biological features that may be affected by environmental factors.

The objectives of this study were to perform molecular diagnosis of drought-tolerant wheat genotypes and to identify drought tolerance genes through genomic sequencing.

Materials and Methods

Materials: The study included 23 genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), which are listed in Table 1. We collected 18 genotypes from the Gene Bank and accredited research centres affiliated with the Ministry of Agriculture and Higher Education in Iraq, while other genotypes are from the Russian Federation, France, Italy, Spain and Turkey.

¹ FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT*. 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/HS>

Table 1

Genetic sources (genotypes) in the study, origin, sources

N	Genotype	Sample	Pedigree	Origin
1	Baraka	AB	IARI × STD	Iraq (hybridization)
2	Wafia	BW	Attila / 3* Pastor,(CIMMYT, ICARDA)	Imported from France
3	Latifiya	CL	Australian breed × Aras	Iraq (hybridization)
4	Binakal	DB	BISU/3/YAV79/ALOI/ALTARS4/ CD93683.7Y.040M-03 OY-LPAPB	Imported from Spanish
5	Uruk	EU	Inia 66 (Rad) Irradiation of seeds of Enya 66	Iraq (Irradiation)
6	Sham	FS	W-3018-A/JUPATECO-73	Iraq (Irradiation)
7	Fateh	GF	MixPac × Aras	Iraq (hybridization)
8	Buhuth 10	HB	Abaa 95 × Abaa 99	Iraq (hybridization)
9	Buhuth 158	IB	119-S2/57-S2. Cr7.S2	Iraq (Irradiation)
10	Babul 113	JB	MEXIPAK/R23	Iraq (Irradiation)
11	Al Iraq	KA	Irradiation of Mexipac seeds with full cobalt 60 doses and 10 kilos rad, Max. (Rad)	Iraq (Irradiation)
12	Bwru	LB	H31/Trapf21 / Enesco	Italy
13	Baghdad	MB	MX105–6MVL40 / BNSN	Iraq (hybridization)
14	Faris	NF	STAR/TR77/773/SLMS	Iraq (Irradiation)
15	Tammuz	OT	Exposing the resulting hybrid (Maxipac x Saber Beek) to radiation	Iraq (hybridization and irradiation)
16	Buhuth	PB	118//S2/57-S2-CR7-S2	Iraq (hybridization)
17	Abaa 95	QA	Veery eer	CIMMYT
18	Abaa 99	RA	Ures/Boww/oowwJup/ Biyyi	CIMMYT
19	Abo ghurayb	SA	Ajeeba × Lian 12 × Mexico24	Iraq (hybridization)
20	Buhuth 22	TB	CMSS96Y03236M-050M-040M-020M-050Sy- 020sy-IM-0Y	Iraq (Irradiation)
21	Dujela	UD	8409644HS2–6H	Iraq (Irradiation)
22	Nemchinovka	VN	(Donshchina × Pamyati Fedina) × Moskovskaya 39	Imported from Russia
23	Abo Raghif	WA	Inia 66 / 2 × Mexipak	Imported from Turkey

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

DNA Extraction: Genomic DNA was isolated from 10-day-old fresh leaves of 23 bread wheat genotypes utilising the Favorgen Plant DNA Maxi Kit (FAVORGEN BIOTECH CORP) in accordance with the manufacturer's guidelines [10, 11]. DNA

purity and concentration were verified using a NanoDrop spectrometer, and samples were diluted with TE solution to the required concentration.

PCR amplification utilising ISSR primers: In this study, 20 ISSR primers were used to detect genetic variation in wheat cultivars, based on the manufacturer Alpha DNA Canada in Table 2 [10, 12]. The PCR reaction (total volume of 25 μ l) contained 2 μ l of genomic DNA, 1 μ l of ISSR primer, 12.5 μ l of Master Mix, and 9.5 μ l of nuclease-free water. PCR cycles started with an initial denaturation phase of 3 minutes at 94 °C, succeeded by 32 cycles comprising denaturation for 30 seconds at 94 °C, annealing for 30 seconds at 45–59 °C (as specified by the primers' annealing temperature in Table 2), extension for 1 minute at 72 °C, and concluding with a final extension step of 5 minutes at 72 °C. PCR products were separated by electrophoresis on 1.5% agarose gels in 1 \times TBE buffer at 125 V for 30 minutes. A 100–1500 bp DNA ladder was used as a size marker. Gels were visualized under UV light (260 nm). For each accession, reproducible ISSR bands were scored by analysing gel images using Gel Analyzer 23.1.1 software to convert band patterns into digital data.

Table 2

Primer sequence (5'-3'), temperature, and length for twenty ISSR markers in this study [12–14]

N	Primers	Sequences 5'-3'	Length (meres)	Annealing, °C
1	ISSR-1	(AG) ₉ C	19	58
2	ISSR-2	(AC) ₈ G	17	52
3	ISSR-3	(AG) ₈ T	17	50
4	ISSR-4	(TG) ₈ C	17	52
5	ISSR-5	(AC) ₈ Y	17	48
6	ISSR-6	A(CAG) ₅	16	52
7	ISSR-7	B(CT) ₈ Y	18	50
8	ISSR-8	R(ACA) ₅	16	40
9	ISSR-9	(CAC) ₇ G	22	74
10	ISSR-10	(CT) ₉ Y	19	56
11	ISSR-11	(CA) ₈ DT	18	50
12	ISSR-12	(CTC) ₆ G	19	64
13	ISSR-13	(GT) ₈ C	17	52
14	ISSR-14	G(CA) ₈	17	52
15	ISSR-15	(GAA) ₇	21	56
16	ISSR-16	(GA) ₈ V	17	48
17	ISSR-17	(GT) ₈ C	17	52
18	ISSR-18	(GA) ₈ G	17	52
19	ISSR-19	(GA) ₈ HC	18	52
20	ISSR-20	(GACA) ₅	20	60

Note. B = C, G, T; D = A, G, T; H = A, C, T; R = A, G; V = A, C, G; Y = C, T.

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

Detection of polymorphism of genotypes and primers: Numeric data signifies the presence of band 1 and the absence of band 0. Bands exhibiting identical mobility were assessed as equivalent. The Polymorphic Information Content (PIC) values for each primer were calculated by assessing the allele frequency at each locus according to [15, 16] which the marker possesses, and their relative rates. There are two indexes, or measures, usually used for the polymorphism degree evaluation. They are the heterozygosity (H), using the formula

$$PIC = 2fi(1-fi),$$

where fi is the frequency of the amplified allele.

The Effective Multiplex Ratio (EMR) refers to the quantity of polymorphic fragments identified per assay. EMR and Marker Index (MI) for the marker system were computed to assess the efficacy of the marker system [17].

$$EMR = np/n,$$

where np represents the count of polymorphic loci, and n is the total number of loci.

$MI = EMR \times PIC$. The Multiplex Ratio (MR) was calculated by dividing the total number of amplified bands by the total number of assays. The resolving power (Rp), indicating the capacity of the most informative primers to distinguish between genotypes, was evaluated according to [15, 16] using: $Rp = \sum Ib$, where Ib represents band informativeness, defined as $Ib = 1 - [2x(0.5 - p)]$, where p denotes the proportion of clones that possess the band. The resolving power depends on the distribution of identified bands among the sampled genotypes.

The coefficient of genetic similarity (GS) between genotypes was estimated by the Dice coefficient from binary data [17]. Dice formula

$$GS_{ij} = 2a/(2a + b + c),$$

where GS_{ij} is the measure of genetic similarity between individuals i and j , a is the number of bands shared by i and j , b is the number of bands present in i and absent in j , and c is the number of bands present in j and absent in i . The similarity matrix was employed to assess the cluster. The distance between each pair of groups was calculated as the average distance among all pairings inside the two related groups until all groups were interconnected. A dendrogram was used using the Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA) by the between-groups linkage method in SPSS to know the genetic relations between genotypes of wheat [16, 17].

PCR amplification by using SSR (microsatellite) markers: The purpose of the test: Enhancing the morphological results that appeared in the field; detecting genes that are tolerant to drought using molecular markers. Group A, with the genotypes AB, CL, NE, SA, TB and UD, was selected after analysing field experimental data and classifying genotypes according to tolerance to drought levels, with the addition of three of the genotypes, PB, JB and LB, from other groups to demonstrate the accuracy of SSR markers. Selection of the TaDREB3 gene in chromosomal locations of bread wheat that have shown their ability to contribute to tolerance to water stress [18], so primers were made; therefore, new primers (Malek 1, Malek 2) were selected in this study using the NCBI Primer-BLAST tool and Primer3 Plus software. These were used alongside

previously known primers (Xgwm130 and Xwmc245) [19, 20] to detect drought-tolerant wheat genotypes.

Genomic DNA of wheat genotypes was subjected to SSR analysis using four primers (Table 3) as genetic markers associated with drought tolerance and approved in several sources in the selective breeding programme [19]. The primers were made by Alpha ADN, S.E.N.C., www.alphaadn.com. A total of 36 samples were analysed in the SSR test, with 9 samples per primer representing the genotypes included in the study. To prepare the template, there are several materials added according to the manufacturer of the Master Max PCR. Samples were numbered before DNA was added. The PCR reaction mixture of 25 µl comprised 12.5 µl of 10X Taq Master Mix with Standard Buffer, 2 µl of template DNA, 9.5 µl of nuclease-free water, 0.5 µl of 10 µM forward primer, and 0.5 µl of 10 µM reverse primer. The reaction mixtures were subjected to an initial heating at 94 °C for 3 minutes, followed by 32 cycles consisting of 94 °C for 30 seconds, 40–55 °C for 30 seconds (depending on the primer used), and 72 °C for 1 minute. A final extension was conducted at 72 °C for 5 minutes. SSR-PCR products were analysed via agarose gel electrophoresis, following these steps: a 3% agarose gel was prepared by dissolving 1.5 g of agarose in 100 ml of 1X TBE. Subsequently, 2 µL of ethidium bromide stain was incorporated into the agarose gel solution. A DNA marker ladder (100–1500 bp) supplied by TRANS-China was loaded into one well. An electric current was applied at 125 V for 25 minutes, followed by 75 V for 1 hour. SSR-PCR products were visualised using ultraviolet (UV) light at 365 nm with a photo imaging system.

Table 3

Names of SSR primers, sequence, length and sources

N	Primer	Primer Sequence	Length (k-mers)	Temperature, °C	Source
1	Malek 1	F GGTAGATCGGAAGGACGCTGR CAGGGGGCTCATCACCAAT	2020	6462	NEW
2	Malek 2	F ATTGCAAGGAGCACATCCGAR TCAGCATCATGGAAGGCAGG	2020	6062	NEW
3	Xgwm130	F AGCTCTGCTTCACGAGGAAGR CTCCTCTTTATATCGCGTCCC	2021	6264	[20]
4	Xwmc245	F GCTCAGATCATCCACCAACTTCR AGATGCTCTGGGAGAGTCCTTA	2222	6666	[21]

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

Sequencing Methods: DNA samples of the five genotypes (AB, NF, UD, SA, TB) that showed tolerance to drought in SSR-PCR tests were sent to Alpha ADN Canadian, www.alphaadn.com, by comparing local samples' nucleic acid sequences with retrieved sequences, using Sanger dideoxy sequencing technology. Madison's BioEdit Sequence Alignment Editor Software Version 7.1 was used to analyse the PCR product of a targeted sample. The software was used to compare observed nucleic acid sequences with retrieved

sequences, identifying virtual positions and details of PCR fragments. The sequences were numbered in PCR amplicons and corresponding positions within the referring genome, ensuring accurate analysis of the sample. PCR amplicons were used to identify variations in sequenced samples, which were then translated to their corresponding amino acid sequences to assess the impact of these variations on the encoded protein, using the ExPasy translate suite. The NCBI Bankit portal was used to submit investigated sequences, which were then analysed and provided as nucleic acid sequences to GenBank for unique accession numbers.

Results and Discussion

Molecular characterisation of wheat genotypes by ISSR-PCR markers. In the PCR-ISSR investigation of the genotypes presented in Table 4, twenty ISSR primers were utilised to amplify a total of 820 fragments, yielding an average of 41 bands per primer MR. The electrophoresis of primers ISSR-8 and ISSR-20 did not demonstrate the existence of fragments, suggesting the absence of bands. In these pieces, 37.6 bands were identified as polymorphic. The number of polymorphic bands produced by ISSR primers ranged from 18 (ISSR-7, ISSR-6) to 71 (ISSR-3, ISSR-18). The percentage of polymorphism between genotypes and lines varied from 37% (ISSR-15) to 100% (ISSR-3, ISSR-13, ISSR-18), yielding an average polymorphism of 68% per primer. Mb comprises 69 bands in ISSR-1, ISSR-15, and ISSR-19. The number of unique bands (Ub) was 55 bands with an average of 2.8 per primer. Primer ISSR-15 detected the highest number of unique bands (7 bands). The highest Marker Index (MI) value was observed for the ISSR-1 primer (11.34) with an average of 5. The highest percentage of Resolving Power (RP) was found for the ISSR-3 and ISSR-18 primers (9.45). Regarding Polymorphic Information Content (PIC), the highest value was recorded for the ISSR-11 primer (0.29) with an average of 0.2. The average molecular weight (MW) of the primers ranged from 184.45 to 2042.3, with the highest MW observed for the ISSR-1 primer (3388). The results of PCR-ISSR analysis showed that most of the primers showed the ability to distinguish between the genotypes in the experiment; the largest number of bands for the KA genotype was 45, with an average of 2.25 for all primers. As for the least number of bands that appeared in the WA genotype, it reached 23 bands, and the average was 2.25.

Table 4

Distinct characteristics of ISSR primers included in the study: primer names, a Total of bands (Tb), Polymorphic bands (Pb), polymorphism (P%), Monomorphic bands (Mb), number of Unique bands (Ub), Non-Unique bands (Non-Ub), Marker Index (MI), Resolving Power (RP), Polymorphic Information Content (PIC), Molecular Weight (MW)

Primers	Mb	Ub	Non-Ub	Pb	Tb	P%	EMR	PIC	RP	MI	MW(bp)
ISSR-1	1	2	5	7	8	87.5	612.5	0.15	1.39	92.0	25–3388
ISSR-2	0	3	4	7	7	100	700	0.23	1.91	158.8	424–1315
ISSR-3	0	5	8	13	13	100	1300	0.20	3.30	253.9	302–2877
ISSR-4	0	2	5	7	7	100	700	0.23	2.09	158.8	145–2457

Primers	Mb	Ub	Non-Ub	Pb	Tb	P%	EMR	PIC	RP	MI	MW(bp)
ISSR-5	0	4	7	11	11	100	1100	0.23	3.74	257.8	77–3004
ISSR-6	0	1	5	6	6	100	600	0.22	1.65	132.3	153–1603
ISSR-7	0	2	2	4	4	100	400	0.27	1.57	106.6	75–1814
ISSR-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ISSR-9	0	3	4	7	7	100	700	0.21	2.96	148.7	700–2729
ISSR-10	0	2	7	9	9	100	900	0.25	2.78	222.3	605–2872
ISSR-11	0	5	9	14	14	100	1400	0.29	1.74	410.2	268–1622
ISSR-12	0	2	2	4	4	100	400	0.19	0.87	74.1	78–313
ISSR-13	0	3	8	11	11	100	1100	0.21	2.96	235.2	2–1740
ISSR-14	0	4	11	15	15	100	1500	0.21	4.17	319.8	187–3091
ISSR-15	1	7	6	13	14	92.9	1207.1	0.15	2.52	181.9	52–2105
ISSR-16	0	2	4	6	6	100	600	0.24	1.91	142.9	88–2473
ISSR-17	0	2	13	15	15	100	1500	0.21	2.43	315.3	13–2898
ISSR-18	0	4	9	13	13	100	1300	0.25	4.70	330.4	74–1996
ISSR-19	1	2	8	10	11	90.9	909.1	0.18	2.43	166.9	189–2549
ISSR-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	3	55	117	172	175	1771.3	16928.7	3.9	45.1	3708.1	3689–40846
MEAN	0.15	2.75	5.85	8.6	8.75	88.6	846.4	0.2	2.3	185.4	184.45–2042.3

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

Dendrogram analysis for 23 genotypes based on ISSR-PCR data. Genetic similarity among the 23 genotypes was estimated from the matrix data (Table 5). The Genetic Similarity (GS) values derived from ISSR data ranged from 0.21 (WA vs. CL) to 0.75 (MB vs. RA). The average GS value across all genotypes was 0.48 for the ISSR marker. This indicates that the average distance between genetic structures is 0.52.

Dendrogram in Figure 1 shows the presence of two main groups. The first group (14) included the WA genotype with genetic origins from Turkey. It can be noted that the genetic origins of this variety are far from the genetic groups by up to 0.79. The second group was divided into subgroups. Group 3 included the BW variety with genetic origins from France, and the genetic distance from groups 1 and 2 within the group was about 0.63. Group 1 genotype AB is unique in genetic origins and morphological characteristics from the other groups and is considered the closest to group 2 for genotypes DB and EU. In group 8 most of the genotypes were similar in terms of the genetic origins of the parents in Table 1. The similarity between the group 8 and group 9 genotype VN imported from the Russian Federation is 0.57. The genotypes RA and QA that go back to the same genetic sources (CIMMYT) were linked, as well as RA, which is considered one of the parents in the hybridisation of the variety HB, while the closest similarity between the genotypes MB and RA was 0.75. Group 10 includes the genotypes JB and OT resulting from mutation by radiation descending from the genetic origin of one of the parents (MEXIPAK) in Table 1.

Table 5

**Genetic similarity matrix (Dice similarity coefficient) among
23 wheat genotypes for Molecular characterization**

	AB	BW	CL	DB	EU	FS	GF	HB	IB	JB	KA	LB	MB	NF	OT	PB	QA	RA	SA	TB	UD	VN	WA		
AB	1																								
BW	0.37	1																							
CL	0.32	0.4	1																						
DB	0.47	0.40	0.41	1																					
EU	0.47	0.42	0.40	0.52	1																				
FS	0.30	0.40	0.41	0.35	0.4	1																			
GF	0.26	0.44	0.51	0.44	0.49	0.47	1																		
HB	0.35	0.29	0.47	0.46	0.38	0.55	0.51	1																	
IB	0.31	0.26	0.51	0.39	0.33	0.44	0.54	0.62	1																
JB	0.29	0.27	0.41	0.46	0.48	0.54	0.45	0.57	0.53	1															
KA	0.33	0.30	0.41	0.45	0.49	0.38	0.49	0.46	0.39	0.45	1														
LB	0.30	0.26	0.41	0.36	0.30	0.58	0.39	0.56	0.51	0.47	0.36	1													
MB	0.37	0.33	0.46	0.40	0.42	0.51	0.53	0.67	0.65	0.51	0.48	0.55	1												
NF	0.32	0.36	0.46	0.45	0.45	0.54	0.59	0.64	0.50	0.57	0.55	0.49	0.58	1											
OT	0.35	0.39	0.37	0.54	0.56	0.50	0.59	0.58	0.54	0.62	0.53	0.43	0.55	0.61	1										
PB	0.26	0.24	0.30	0.29	0.26	0.39	0.38	0.46	0.43	0.43	0.32	0.51	0.54	0.42	0.44	1									
QA	0.31	0.29	0.43	0.39	0.44	0.55	0.47	0.62	0.56	0.54	0.47	0.46	0.65	0.65	0.53	0.57	1								
RA	0.28	0.36	0.43	0.40	0.48	0.46	0.54	0.66	0.60	0.58	0.51	0.44	0.75	0.62	0.68	0.45	0.67	1							
SA	0.41	0.41	0.45	0.47	0.46	0.56	0.51	0.56	0.43	0.50	0.49	0.42	0.53	0.62	0.56	0.41	0.59	0.57	1						
TB	0.40	0.45	0.40	0.42	0.49	0.48	0.62	0.51	0.44	0.50	0.58	0.41	0.53	0.58	0.58	0.42	0.53	0.56	0.59	1					
UD	0.26	0.35	0.38	0.39	0.40	0.56	0.53	0.55	0.47	0.56	0.50	0.39	0.51	0.57	0.62	0.40	0.60	0.52	0.50	0.67	1				
VN	0.27	0.25	0.42	0.37	0.34	0.55	0.41	0.64	0.57	0.53	0.44	0.45	0.58	0.56	0.54	0.49	0.56	0.57	0.57	0.49	0.55	1			
WA	0.26	0.28	0.21	0.27	0.32	0.32	0.23	0.39	0.37	0.36	0.33	0.30	0.38	0.45	0.41	0.34	0.44	0.42	0.43	0.38	0.39	0.47	1		

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

Molecular diagnosis of drought-tolerant genotypes by SSR markers. The PCR-SSR marker analysis was conducted. Gel electrophoresis of the amplified products revealed bands indicating drought tolerance in the tested genotypes. For primer Malek 1, gel electrophoresis revealed the presence of radioactive bands corresponding to the genotypes CL, NF, SA, UD, and TB (Figure 2). For primer Malek 2, bands were observed for genotypes TB, UD, SA, and NF (Figure 2). These radioactive bands indicate the interaction of the primers with the DNA genome of the candidate samples. As for the genotypes (PB, JB, LB), they did not appear in either primer, which confirms the validity of the morphological and physiological results in the field. Primers Xgwm130 and Xwmc245 did not show any binding or interaction with the samples due to the genetic differences between the wheat varieties. This finding aligns with the research objective of identifying new strains tolerant to environmental conditions, which could facilitate wheat breeding and improvement programs aimed at developing new genetic patterns with high productivity under harsh environmental conditions. Based on these results, the genotypes NF, UD, SA, TB, AB and CL were selected for subsequent sequencing and genetic mapping studies.

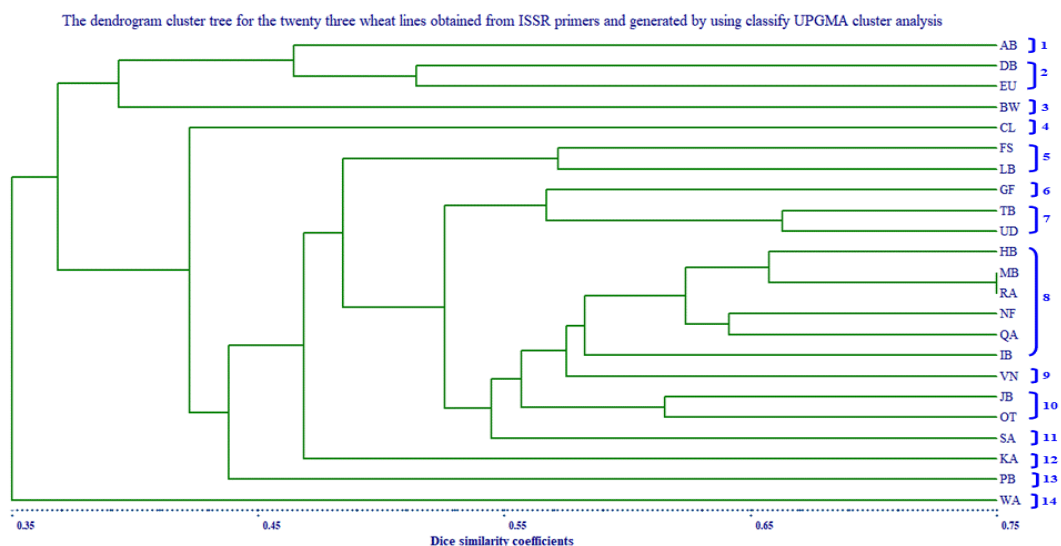


Fig. 1. The dendrogram generated by using UPGMA cluster analysis according to the Dice similarity coefficient obtained from ISSR primers for the twenty-three bread wheat genotypes

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

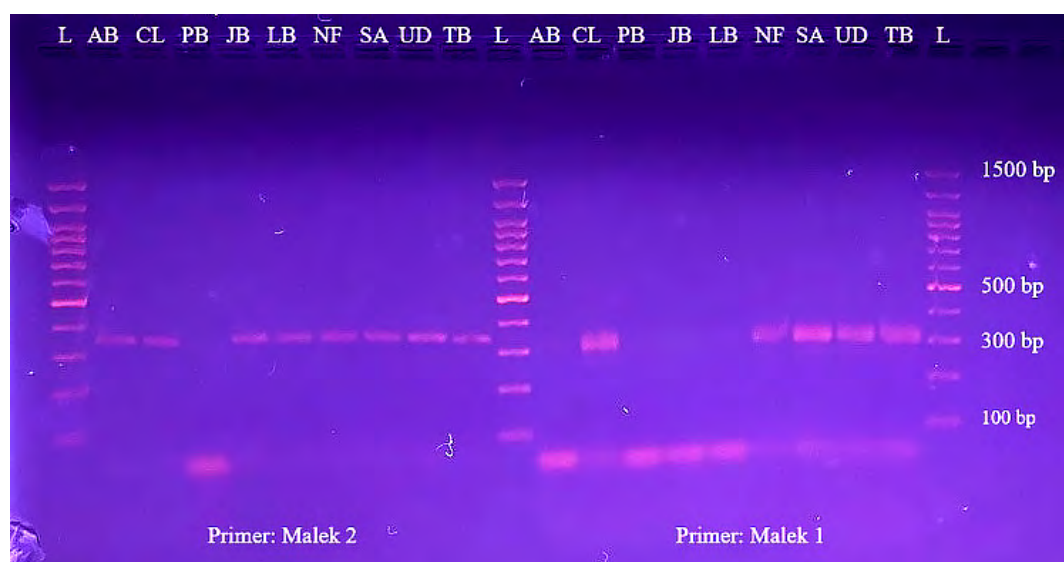


Fig. 2. Gel electrophoresis analysis of primers (Malek 1, Malek 2)

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

Sequencing Results. The sequencing reactions indicated the exact identity after performing NCBI BLASTn for these PCR amplicons. Concerning the *DRF1* gene, the NCBI BLASTn engine showed up to 99% sequence similarity between the sequenced samples (assigned E1, E2, R1, R2, and R3) and the intended *DRF1* gene sequences of *Triticum turgidum* (GenBank acc. KM504244.1). As well, the NCBI BLASTn engine showed 100% sequence similarity between the sequenced samples (assigned S1, S2,

S3, S4, S5) and the *NAC20L* gene sequences of *Triticum aestivum* (GenBank acc. XM_044571539.1). The genotype *T. turgidum durum* is one of the parents of bread wheat and durum wheat; it is a tetraploid wheat ($2n = 4x = 28$, *AABB*) [22]. The geographical distribution of wild wheat is in the Fertile Crescent region in southwest Asia, Palestine, Jordan, Lebanon, Syria, southern Turkey, northern Iraq, and southwest Iran [23, 24]. It can serve as one of the most important genetic resources to improve durum (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.), and it has been used for allele mining to address various wheat breeding requirements, including, but not limited to, drought [25, 26] and salinity tolerance [27], as well as resistance to biotic stress factors. All the investigated genetic sequences were deposited in the NCBI web server, and unique accession numbers were obtained for all analysed sequences in Table 6.

Table 6

GenBank accession numbers for nucleotide sequences
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>

Locus	Accession. №	GenBank. №	Amplicon	Source	Primers	Strain	Samples	Genotypes
Seq1	PP873665	BankIt 2835921	DRF1	<i>T. turgidum</i>	Malek 1	Malek-E1	E1	AB
Seq2	PP873666					Malek-E2	E2	CL
Seq3	PP873667					Malek-R1	R1	NF
Seq4	PP873668					Malek-R2	R2	SA
Seq5	PP873669					Malek-R3	R3	TB
Seq6	PP873670		NAC20L	<i>T. aestivum</i>	Malek 2	Malek-S1	S1	CL
Seq7	PP873671					Malek-S2	S2	NF
Seq8	PP873672					Malek-S3	S3	SA
Seq9	PP873673					Malek-S4	S4	TB
Seq10	PP873674					Malek-S5	S5	UD

Source: compiled by M.H. Walli, F. Duksi, Z. Al-jubouri, M. Zargar, A. Alhasnawi.

Conclusion

Genotypes AB, NF, CL, UD, SA, and TB were tolerant to drought stress. The wild resource (*Triticum turgidum* L.) can be considered a source of drought tolerance genes and be relied upon in breeding and genetic engineering programs. The genes *DRF1* and *NAC20L* are responsible for wheat drought tolerance, and the primers Malek 1 and Malek 2 can be considered ideal for detecting these genes. DNA markers, such as ISSR-PCR markers, are a powerful tool for identifying the genetic diversity of wheat varieties. The 20 primers used were able to identify the genetic fingerprint of the twenty-three genotypes of wheat.

References

1. Qureshi AS, Al-Falahi AA. Extent, Characterization and causes of soil salinity in Central and Southern Iraq and possible reclamation strategies. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2015;5(1).
2. Al-Jassim KAH. Natural reasons causing soil salinity and its impact of plant production in Ali-Algharbi district. *Iraqi Journal of Desert Studies*. 2021;11(2):164–186. doi: 10.36531/desert.2022.172743 EDN: DODRDX
3. Braun HJ, Atlin G, Payne T. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: *Climate change and crop production*. Wallingford, UK: CABI; 2010. p.115–138. doi: 10.1079/9781845936334.0115
4. Walli MH, AL-Jubouri Z, Madumarov MM, Margaryta M, Aldibe AAA. Genetic and environment diversity to improve wheat (*Triticum* spp.) productivity: a review. *Research on Crops*. 2022;23(2):295–306. doi: 10.31830/2348-7542.2022.041 EDN: ATEWCG
5. Jha S. Transgenic approaches for enhancement of salinity stress tolerance in plants. In: Singh SP, Upadhyay SK, Pandey A, Kumar S. (eds.) *Molecular Approaches in Plant Biology and Environmental Challenges*. Singapore: Springer; 2019. p. 265–322. doi: 10.1007/978-981-15-0690-1_14 EDN: DWRDUX
6. Jabari M, Golparvar A, Sorkhilalehloo B, Shams M. Investigation of genetic diversity of Iranian wild relatives of bread wheat using ISSR and SSR markers. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2023;21(1):73. doi: 10.1186/s43141-023-00526-5 EDN: JZLXAK
7. Aslanparviz M, Rashidi V, Omid M, Etmnan A, Ahmadzadeh A. Evaluation of population structure and estimation of genetic parameters in breeding lines and landraces populations of durum wheat using ISSR markers. *Plant Genetic Researches*. 2022;8(2):23–32. doi: 10.52547/pgr.8.2.2 EDN: IGJEZI
8. Atsbeha G, Tesfaye K, Mekonnen T, Haileselassie T, Kebede M. Genetic diversity and population structure analysis of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm as revealed by ISSR markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024;71(6):2721–2735. doi: 10.1007/s10722-023-01791-6
9. Shaheenuzzamn M, Liu T, Shi Sh, An P, Wu H, Wang Zh. Development of sequencing technology and role of next generation sequencing technologies in wheat research: a review. *Pakistan Journal of Botany*. 2020;52(5):1867–1878. doi: 10.30848/PJB2020-5(33) EDN: FGGOAR
10. Dellaporta SL, Wood J, Hicks JB. A plant DNA miniprep: Version II. *Plant Molecular Biology Reporter*. 1983;1(4):19–21. doi: 10.1007/BF02712670 EDN: RKVWRQ
11. Porebski S, Bailey LG, Baum BR. Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant Molecular Biology Reporter*. 1997;15(1):8–15. doi: 10.1007/BF02772108 EDN: XSNALF
12. Mandal AM, Alhasnawi A, Jasim H, Mohamad A. Evaluation of salt stress and molecular analysis of genetic variation of Iraqi rice cultivars. *Biodiversitas*. 2019;20(11):3309–3314. doi: 10.13057/biodiv/d201125 EDN: VIEVRB
13. Mohamad A, Alhasnawi AN, Kadhim AA, Isahak A, Wan Yusoff WM, Che Radziah CMZ. DNA Isolation and Optimization of ISSR-PCR Reaction System in *Oryza sativa* L. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2017;7(6):2264. doi: 10.18517/ijaseit.7.6.1621
14. Alhasnawi AN. β -glucan-mediated alleviation of NaCl stress in *Ocimum basilicum* L. in relation to the response of antioxidant enzymes and assessment DNA marker. *Journal of Ecological Engineering*. 2019;20(8):90–99. doi: 10.12911/22998993/110790
15. Chesnokov YuV, Artemyeva AM. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Agricultural Biology*. 2015;50(5):571–578. doi: 10.15389/agrobiol.2015.5.571eng EDN: UXSRIX
16. Tonk FA, Tosun M, Ilker E, Istipliler D, Tatar O. Evaluation and comparison of ISSR and RAPD Markers for assessment of genetic diversity in triticale genotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2014;20(6):1413–1420.
17. Sneath PHA, Sokal RR. *Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification*. W.H. Freeman; 1973.
18. Niu X, Luo T, Zhao H, Su Y, Ji W, Li H. Identification of wheat DREB genes and functional characterization of TaDREB3 in response to abiotic stresses. *Gene*. 2020;740:144514. doi: 10.1016/j.gene.2020.144514 EDN: YFERCV
19. Haque MS, Saha NR, Islam MT, Islam MM, Kwon SJ, Roy SK, WOO SH. Screening for drought tolerance in wheat genotypes by morphological and SSR markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2021;24(1):27–39. doi: 10.1007/s12892-020-00036-7 EDN: YNFVMQ
20. Thungo Z, Shimelis H, Odindo A, Mashilo J, Shayanowako A. Genetic relationship among selected heat and drought tolerant bread wheat genotypes using SSR markers, agronomic traits and grain protein content. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 2020;70(7):594–604. doi: 10.1080/09064710.2020.1818818 EDN: ERXVWZ

21. Vaja KN, Gajera HP, Katakpara ZA, Patel SV, Golakiya BA. Microsatellite markers based genetic diversity analysis for salt tolerance in wheat genotypes. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*. 2016;29(2):140–145. doi: 10.5958/0974-4479.2016.00023.X
22. Peng J, Sun D, Nevo E. Wild emmer wheat, ‘Triticum dicoccoides’, occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian Journal of Crop Science*. 2011;5(9):1127–1143.
23. Breseghello F, Sorrells ME. Association mapping of kernel size and milling quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Genetics*. 2006;172(2):1165–1177. doi: 10.1534/genetics.105.044586
24. Balter M. Seeking agriculture’s ancient roots. *Science*. 2007;316(5833):1830–1835. doi: 10.1126/science.316.5833.1830
25. Börner A, Korzun V, Worland AJ. Comparative genetic mapping of loci affecting plant height and development in cereals. *Euphytica*. 1998;100(1–3):245–248. doi: 10.1023/A:1018364425150 EDN: XOCJID
26. Bolot S, Abrouk M, Masood-Quraishi U, Stein N, Messing J, Feuillet C, Salce J. The ‘inner circle’ of the cereal genomes. *Current Opinion in Plant Biology*. 2009;12(2):119–125. doi: 10.1016/j.pbi.2008.10.011
27. Buckler ES, Thornsberry JM, Kresovich S. Molecular diversity, structure and domestication of grasses. *Genetics Research*. 2001;77(3):213–218. doi: 10.1017/S0016672301005158 EDN: FOCLGL

About the authors:

Walli Malek Hubaish — Ph.D Student of Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Department of Biology, College of Nursing, Al-Muthanna University, Samawah, 66001, Iraq; e-mail: malek_h88@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-4884-6481

Duksi Fatima — Ph.D Student of Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: f.duksi@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7353-7816 SPIN-code: 9937-6393

Al-jubouri Zina — lecturer Department of Statistics, Faculty of Pharmacy, Al-Muthanna University, Samawah 66001, Iraq; e-mail: Zinah480@gmail.com
ORCID: 0009-0005-6908-5385

Zargar Meisam — PhD in Agricultural sciences, professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: zargar-m@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-5208-0861

Alhasnawi Arshad — Ph.D., Department of Biology, College of education for pure Sciences, Al-Muthanna University, Samawah, 66001, Iraq; e-mail: arshad@mu.edu.iq
ORCID: 0000-0003-2817-8807

Об авторах:

Валли Малек Хубаиш — аспирант агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; кафедра биологии, Колледж сестринского дела, Университет Аль-Мутанна, Ирак, 66001, г. Самава; e-mail: malek_h88@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-4884-6481

Дукси Фатима — аспирант агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: f.duksi@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7353-7816 SPIN-код: 9937-6393

Аль-Джабори Зина — лектор кафедры статистики, фармацевтический факультет, Университет Аль-Мутанна, Ирак, 66001, г. Самава; e-mail: Zinah480@gmail.com
ORCID: 0009-0005-6908-5385

Заргар Мейсам — доктор сельскохозяйственных наук, профессор агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: zargar-m@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-5208-0861

Альхаснави Аршад — доктор наук кафедра биологии, Педагогический колледж чистых наук, Университет Аль-Мутанна, Ирак, 66001, г. Самава; e-mail: arshad@mu.edu.iq
ORCID: 0000-0003-2817-8807



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-55-70

EDN EAKXYW

УДК 633.853.52: 631.526: 632.938

Научная статья / Research article

Параметры адаптивности сортов сои в условиях степной зоны Приморского края

Е.С. Бутовец 

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
г. Уссурийск, Российская Федерация
✉ otdelsoy@mail.ru

Аннотация. Весомое значение в производстве соя приобрела за счет высокой рентабельности и исключительного биохимического состава семян. Климатические и эдафические условия территории возделывания оказывают значительное влияние на уровень накопления питательных элементов в семенах сои. Цель исследования — изучить перспективные сорта сои в контрастных условиях Приморского края по параметрам адаптивности, фиксированной по уровню накопления белка в семенах. В 2021–2024 гг. в ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (Приморский край, Россия) исследовали 17 перспективных сортов сои согласно методическим указаниям. По итогам четырехлетнего изучения высокую урожайность в опыте имели сорта сои: Приморская 1551 (27,5 ц/га), Приморская 1666 (28,2 ц/га) и Приморская 1672 (29,3 ц/га). Благоприятные условия среды для формирования высокого уровня белка в семенах сои наблюдались в 2022 и 2024 гг. Выявлены более адаптивные сорта: Приморская 1673, Приморская 1677 и Приморская 1666. Относительно высокий уровень стрессоустойчивости отмечен у трех сортов: Приморская 1669 (–3,9), Приморская 1668 (–4,1) и Приморская 1671 (–4,2). К пластичным ($O = 18,4...20,7$) отнесены Приморская 1595, Приморская 1664, Приморская 1667, Приморская 1669 и Приморская 1671. Приморская 1669 и Приморская 1595 по показателю уровня стабильности сорта (ПУСС) превышали стандарт на 18,0 и 20,6 %. Высокой экологической пластичностью обладали Приморская 1666, Приморская 1673 и Приморская 1677 (ИЭП = 1,03 ед.). По комплексу адапционных параметров сои выявлены генотипы, способные накапливать относительно высокий уровень белка в семенах при выращивании в условиях степной зоны Приморского края. Наилучшие параметры адаптации характерны сортам сои Приморская 1677 (37) и Приморская 1667 (42). Выполнена оценка сортов сои по ряду адапционных показателей, установлены генотипы с параметрами высокой адаптации.

Ключевые слова: белок, урожайность, масса 1000 семян, стрессоустойчивость, отзывчивость, стабильность, пластичность

© Бутовец Е.С., 2026



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

Финансирование. Научная работа выполнена в рамках государственного задания соответственно тематическому плану НИР по теме FNGW-2022–0008 «Создать новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к абиотическим и биотическим факторам среды».

Благодарности. Автор статьи благодарит рецензентов за экспертную оценку.

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

История статьи: поступила в редакцию 1 апреля 2025 г., принята к публикации 24 октября 2025 г.

Для цитирования: Бутовец Е.С. Параметры адаптивности сортов сои в условиях степной зоны Приморского края // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 55–70. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-55-70 EDN: ЕАКХУW

Adaptation parameters of soybean cultivars in the Steppe Zone of Primorsky Krai

Ekaterina S. Butovets 

Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika,
Ussuriysk, Russian Federation
✉ otdelsoy@mail.ru

Abstract. High profitability and the unique biochemical composition of seeds play an essential role in soybean production. Climatic and edaphic conditions of the cultivation area have a significant impact on the level of nutrient accumulation in soybean seeds. The research goal was to study promising soybean cultivars in the contrasting conditions of Primorsky Krai for their adaptability based on the accumulation level of protein in seeds. Seventeen promising soybean varieties were studied according to generally accepted methodology at Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika in 2021–2024 (Primorsky krai, Russia). The research evaluated the soybean cultivars for a number of adaptability parameters and identified soybean genotypes with high adaptability. Primorskaya 1551 (2.75 t/ha), Primorskaya 1666 (2.82 t/ha), and Primorskaya 1672 (2.93 t/ha) had high stable yield over the four years of the research. The environmental conditions of 2022 and 2024 were favorable for accumulation of protein in soybean seeds. Cultivars Primorskaya 1673, Primorskaya 1677, and Primorskaya 1666 were highly adaptable. A high level of stress resistance was observed in cultivars Primorskaya 1669 (–3.9), Primorskaya 1668 (–4.1), and Primorskaya 1671 (–4.2). High plasticity was characteristic of (O = 18.4...20.7) Primorskaya 1595, Primorskaya 1664, Primorskaya 1667, Primorskaya 1669, and Primorskaya 1671. The level of variety stability in Primorskaya 1669 and Primorskaya 1595 acceded the standard by 18.0 and 20.6 %, respectively. High ecological plasticity was noted in Primorskaya 1666, Primorskaya 1673, and Primorskaya 1677 (EPI = 1.03). Based on a complex of adaptability parameters, the research selected soybean genotypes able to accumulate relatively high protein levels in seeds under the growing conditions of the steppe zone of Primorsky Krai. The highest parameter values of adaptability were characteristic of soybean cultivars Primorskaya 1677 (37) and Primorskaya 1667 (42).

Keywords: protein, yield, weight of 1000 seeds, stress resistance, responsiveness, stability, plasticity

Funding. The study was carried out within the framework of the State assignment according to the thematic research plan FNGW-2022–0008 “Creating new genotypes of agricultural crops with high productivity, resistance to abiotic and biotic environmental factors”.

Acknowledgements. The author of the article thanks the reviewers for their expert assessment.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

Article history: received 1 April 2025; accepted 24 October 2025.

For citation: Butovets ES. Adaptation parameters of soybean cultivars in the Steppe Zone of Primorsky Krai. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):55–70. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-55-70 EDN: EAKXYW

Введение

Мировое значение соя приобрела за счет высокой рентабельности промышленного производства и уникального биохимического состава, который позволяет использовать ее в разнообразных целях [1, 2]. Культура активно возделывается на различных континентах и в климатических зонах, нередко отличающихся нестабильным климатом и жесткими условиями в период вегетации [3, 4]. В России основные площади посевов сои традиционно расположены на Дальнем Востоке, для которого характерны значительное разнообразие экологических факторов, таких как состав почвы, температурные условия, уровень влагообеспеченности, продолжительность светового дня и интенсивность солнечной инсоляции [5]. Таким образом, для эффективного выращивания сои важно учитывать особенности формирования урожайности и качества семян в зависимости от климатических условий конкретного региона [6, 7].

В связи со значительными изменениями погодных условий возделывания основных сельскохозяйственных культур, в т. ч. и сои, существует острая необходимость внедрения в селекционный процесс методов адаптивной селекции. Оценка реакции генотипов на смену условий культивирования должна выполняться на всех этапах селекции, начиная от изучения исходного материала и заканчивая заключительным испытанием сортов. При этом в приоритете будут сорта, способные сочетать высокие показатели хозяйственных признаков с устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды [8–10].

Первоначально селекционные программы научных учреждений в большей степени были ориентированы на получение сортов сои с высоким содержанием масла в семенах, в 2012–2025 гг. акцент был смещен на повышение уровня белка [11]. Для выполнения поставленной задачи в гибридизационный процесс включали источники (родительские формы) с высоким уровнем содержания питательных элементов в семенах [12]. После полученные гибриды подвергали оценке, из них отбирали перспективные генотипы, обладающие способностью сочетать высокую урожайность с качеством семян и адаптироваться к погодно-климатическим стрессорам [13, 14].

Цель исследования — оценить сорта сои в условиях степной зоны Приморского края по параметрам адаптивности, фиксированной по уровню накопления белка в семенах.

Материалы и методы исследования

Перспективные сорта сои исследовали в 2021–2024 гг. на полях лаборатории селекции сои ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», вблизи г. Уссурийск (западная степная зона Приморского края).

По сведениям агрометеорологической станции «Тимирязевский» (ФГБУ «Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»), в 2021–2024 гг. присутствовали контрастные климатические и погодные условия. В 2021 г. период вегетации сои отличался засушливыми условиями, повышенными температурами и затяжным отсутствием осадков. В результате количество осадков в период с июня по сентябрь оказалось ниже средних многолетних значений на 2,3...54,7 мм. Эти факторы в значительной степени негативно сказались на урожайности культуры. В 2022 г. были благоприятные условия для вегетации сои, так как в некоторых декадах с июня по сентябрь наблюдалось достаточное количество влаги, а уровень осадков превысил норму на 24,7...101,0 мм. Погодные условия 2023 г. можно считать достаточно благоприятными для сои, однако значительное количество осадков, выпавших с июня по август, оказало негативное влияние на уровень урожайности. Сумма осадков за этот период превышала 34,5...336,7 мм в месяц. Наивысшие показатели осадков в 2023 г. зарегистрированы в первой (76,3 мм) и третьей (89,6 мм) декадах июня, при среднем многолетнем значении 25,0 мм. В первой декаде июля количество осадков составило 96,4 мм, в то время как среднемноголетний показатель — 31,0 мм. Весь август характеризовался выпавшими осадками в диапазоне от 115,6 до 220,5 мм при среднем многолетнем значении от 31,0 до 48,0 мм. В 2023 г. также наблюдалось превышение среднемесячной температуры воздуха в период вегетации сои на 1,4...2,3 °С по сравнению со среднемноголетними показателями. Условия 2024 г. характеризовались моментами избыточного увлажнения только с мая по июль и повышенным температурным режимом в сравнении со среднемноголетней нормой. Сумма осадков с мая по июль превысила на 31,7...62,9 мм. Наибольшее количество осадков присутствовало в июне (136,9 мм, ср. со среднемноголетним 74,0) и третьей декаде июля (111,0 мм, а среднемноголетнее 44,0). Среднемесячная температура воздуха за период активной вегетации сои превышала среднемноголетние значения на 0,2...1,9 °С.

Агрохимические показатели полевого участка: рН солевой вытяжки 6,1; гидролитическая кислотность — 2,0 мг-экв./кг почвы; $N_{л.г}$ — 73,0 мг/кг почвы; P_2O_5 — 102,0 мг/кг почвы и K_2O — 75,0 мг/кг почвы; органическое вещество — 3,8 %).

Изучение 17 новых сортов сои ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (далее — ФНЦ) выполняли на заключительном этапе селекционной работы. Стандарт в опыте — среднеспелый сорт сои Приморская 4, разрешенный к возделыванию в Дальневосточном регионе. Закладка опыта осуществлялась по методике полевых испытаний¹. Посевная норма семян — 500 тыс. шт./га, площадь делянки — 22,0 кв. м, повторность трехкратная.

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 416 с.

Учеты и оценку проводили по методике ВИР². Определение содержания белка и масла в семенах сои на приборе Inframatic 9200 проводилось в лаборатории агрохимических анализов ФНЦ.

Для определения уровня стабильности сорта сои по содержанию белка в семенах применяли коэффициенты вариации V и выравненности B , метод дисперсионного анализа для выявления значимых различий, в соответствии с методикой Б.А. Доспехова³. Коэффициент адаптивности KA по содержанию белка в семенах сорта определили с использованием метода, предложенного Л.А. Животковым и его коллегами [15]. Стрессоустойчивость, компенсаторные способности и гибкость сортов в отношении накопления белка установили по методике А.А. Rossielle и J. Hemblin в интерпретации А.А. Гончаренко [16]. Коэффициент экологической пластичности O рассчитывали по методике Д.И. Баранского [17]. Оценка стабильности сортов осуществляли с использованием показателя уровня стабильности сорта (ПУСС), предложенного Э.Д. Неттевичем [18]. Коэффициент отзывчивости сорта на условия культивирования Kp рассчитывали по методике В.А. Зыкина⁴. Для анализа сортов определяли индекс экологической пластичности (ИЭП) в соответствии с подходом А.А. Грязнова [19]. Индекс условий среды I_j применялся для выявления изменчивости факторов возделывания. Наилучшие условия для роста и развития сои наблюдались в годы с положительным индексом, в то время как худшие соответствовали отрицательным.

Результаты исследования и обсуждение

В процессе испытания сортов сои на заключительном этапе селекции установлено, что все они средней группы спелости, период вегетации от 111 до 119 сут., только один сорт Приморская 1673 относился к среднеранней — 100 сут. (табл. 1). Сорта характеризовались средней высотой растений, 29,4 % генотипов — крупным размером семени (масса 1000 семян более 190 г).

В среднем за годы исследования урожайность сортов сои в опыте составляла от 20,5 до 29,3 ц/га, в оптимальных условиях для формирования этого показателя значения были заметно выше: в 2022 г. — 19,2...36,8 ц/га, 2024 г. — 28,1...43,1 ц/га. Максимально (на 25,6...33,8 %) превышали стандарт (Приморская 4) три сорта: Приморская 1551, Приморская 1666 и Приморская 1672. По урожайности сорт Приморская 1673 был ниже стандарта на 1,4 ц/га за счет его генетической особенности — мелкосемянности (масса 1000 семян 108 г).

Достаточно контрастные погодные условия в период изучения позволили объективно дать оценку тестируемым сортам сои. Условия окружающей среды I_j были различными и варьировали от +9,1 до –8,3. Оптимальные условия для выра-

² Корсаков Н.И., Мякушко Ю.П. Соя: методические указания по селекции и семеноводству. Л. : ВИР, 1975. 159 с.

³ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Книга по требованию, 2012. 416 с.

⁴ Зыкин В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ : метод. рекомендации. Новосибирск, 1984. С. 24.

щивания сои создались в 2022 и 2024 гг., значения урожайности в среднем в опыте были 30,5 и 33,7 ц/га соответственно.

Таблица 1

**Характеристика перспективных сортов сои (среднее за 2021–2024 гг.),
Приморский край**

Сорт	Урожайность, ц/га	Масса 1000 семян, г	Высота растений, см	Период вегетации, сут.	Содержание в семенах, %	
					масла	белка
Приморская 4, ст.	21,9	166	70,3	117	23,2	37,8
Приморская 1551	27,5	170	62,0	119	23,4	38,2
Приморская 1595	24,4	191	57,2	113	23,4	38,4
Приморская 1596	22,9	190	60,3	119	23,6	39,1
Приморская 1607	23,7	193	55,0	118	23,3	38,6
Приморская 1639	26,5	178	65,8	116	22,8	38,8
Приморская 1664	23,2	173	62,8	116	24,7	37,6
Приморская 1665	23,3	194	65,2	115	23,5	39,0
Приморская 1666	28,2	171	66,2	114	23,3	39,5
Приморская 1667	22,1	152	68,3	116	23,2	38,9
Приморская 1668	22,8	181	65,7	111	24,7	36,8
Приморская 1669	26,3	184	60,0	116	24,2	37,3
Приморская 1670	26,4	191	63,8	117	24,2	37,8
Приморская 1671	22,7	183	60,5	115	24,1	37,8
Приморская 1672	29,3	175	59,6	115	23,8	39,3
Приморская 1673	20,5	108	47,4	100	22,9	39,7
Приморская 1677	24,6	179	53,1	112	23,9	39,6
Приморская 1678	23,4	191	70,3	116	23,6	38,2
НСР _{0,05}	2,9	30,4	8,9	3,2	0,6	0,8

lj: 2021 г. (-6,7); 2022 г. (+5,9); 2023 г. (-8,3); 2024 г. (+9,1)

Источник: составлено Е.С. Бутовец.

Table 1

Characteristics of promising soybean cultivars (average for 2021–2024), Primorsky Krai

Cultivar	Productivity, c/ha	Weight of 1000 seeds, g	Plant height, cm	Vegetation period, days	Content in seeds, %	
					fat	protein
Primorskaya 4, st.	21.9	166	70.3	117	23.2	37.8
Primorskaya 1551	27.5	170	62.0	119	23.4	38.2
Primorskaya 1595	24.4	191	57.2	113	23.4	38.4
Primorskaya 1596	22.9	190	60.3	119	23.6	39.1
Primorskaya 1607	23.7	193	55.0	118	23.3	38.6
Primorskaya 1639	26.5	178	65.8	116	22.8	38.8
Primorskaya 1664	23.2	173	62.8	116	24.7	37.6

Ending tabl. 1

Cultivar	Productivity, c/ha	Weight of 1000 seeds, g	Plant height, cm	Vegetation period, days	Content in seeds, %	
					fat	protein
Primorskaya 1665	23.3	194	65.2	115	23.5	39.0
Primorskaya 1666	28.2	171	66.2	114	23.3	39.5
Primorskaya 1667	22.1	152	68.3	116	23.2	38.9
Primorskaya 1668	22.8	181	65.7	111	24.7	36.8
Primorskaya 1669	26.3	184	60.0	116	24.2	37.3
Primorskaya 1670	26.4	191	63.8	117	24.2	37.8
Primorskaya 1671	22.7	183	60.5	115	24.1	37.8
Primorskaya 1672	29.3	175	59.6	115	23.8	39.3
Primorskaya 1673	20.5	108	47.4	100	22.9	39.7
Primorskaya 1677	24.6	179	53.1	112	23.9	39.6
Primorskaya 1678	23.4	191	70.3	116	23.6	38.2
LSD _{0.05}	2.9	30,4	8.9	3.2	0.6	0.8

Environmental conditions index (Ij): 2021 (–6.7); 2022 (+5.9); 2023 (–8.3); 2024 (+9.1)

Source: compiled by E.S. Butovets.

Более 24,0 % содержания масла в семенах сформировали пять сортов сои. В опыте шесть генотипов сои по содержанию белка в семенах имели в среднем относительно высокие значения (более 39,0 %), превышая стандарт на 1,2...1,8 %. Наиболее благоприятные условия среды для формирования высокого уровня белка в семенах сои также наблюдались в 2022 и 2024 гг. (в среднем значение в опыте составило 40,1 и 40,6 % соответственно), при показателях $I_j +1,6$ и $+2,1$. Погодно-климатические факторы оказали положительное воздействие на массовую долю белка в период формирования семени.

С целью получения полных и достоверных сведений об адаптационных возможностях сортов сои при накоплении белка в семенах в данных условиях выращивания провели расчет КА согласно методу Л.А. Животкова [15] и Кр на факторы среды по методике В.А. Зыкина⁵.

КА исследуемых сортов сои в опыте составлял от 95,6 до 103,1 %, значение выше 100 % имели 52,9 % генотипов (рис. 1). Наиболее адаптивные сорта — Приморская 1673, Приморская 1677 и Приморская 1666, менее — Приморская 1669 и Приморская 1668 (КА < 100 %).

При анализе сортов сои на отзывчивость к условиям окружающей среды следует установить реакцию сортов путем расчета коэффициента, при котором значение более «единицы» характеризует положительный ответ генотипа на улучшение условий возделывания, менее — отрицательную, нулевое — нейтральную. Все тестируемые сорта сои продемонстрировали положительную реакцию на улучшенные условия культивирования, максимальный показатель был у Приморская 1673 и Приморская 1551 (Кр = 1,22).

⁵ Зыкин В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ : метод. рекомендации. Новосибирск, 1984. С. 24.

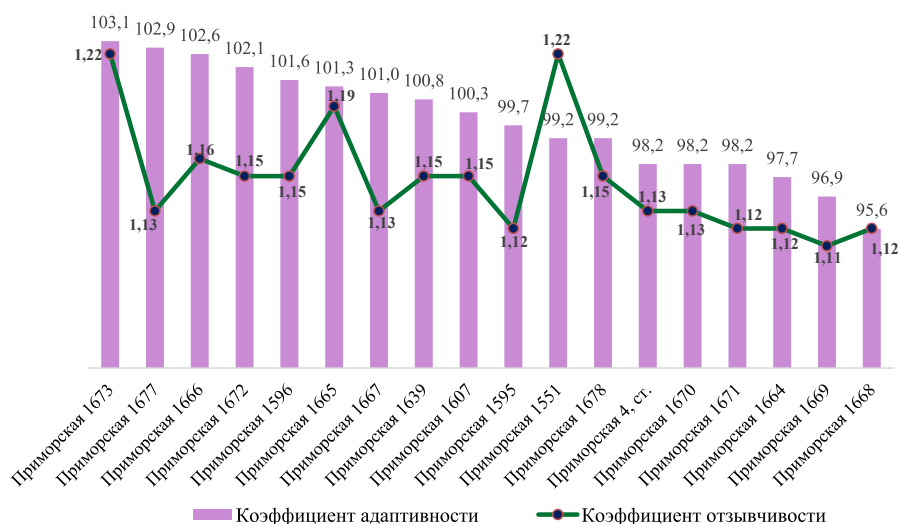


Рис. 1. Коэффициенты адаптивности (КА) по Л.А. Животкову и отзывчивости (Кр) на условия возделывания по В.А. Зыкину сортов сои

Источник: составлено Е.С. Бутовец.

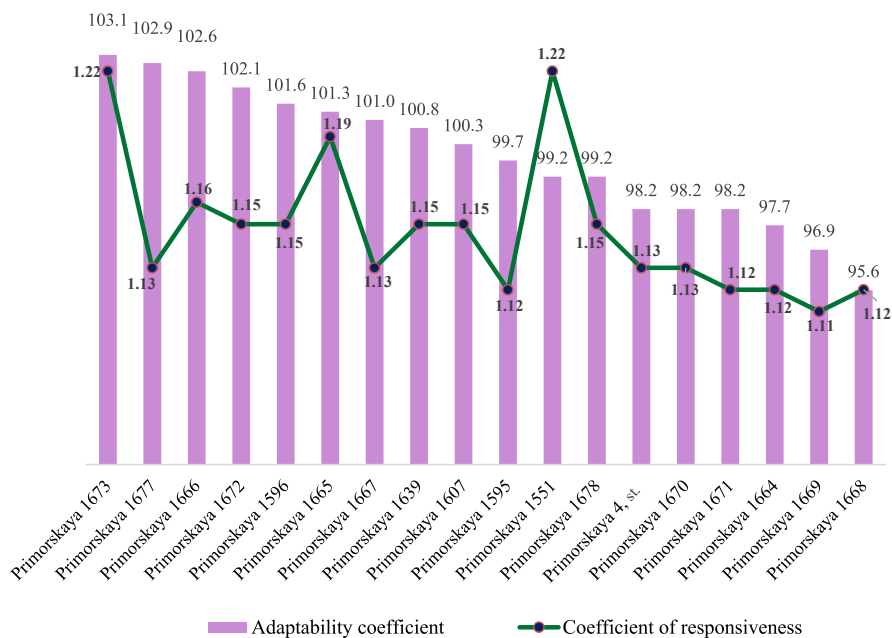


Fig. 1. Coefficients of adaptability (CA) according to L.A. Zhivotkov and responsiveness (Cr) to the conditions of cultivation of soybean cultivars according to V.A. Zykin

Source: compiled by E.S. Butovets.

Природно-климатические условия Приморского края носят муссонный характер и имеют часто резкую контрастность при своем выражении. Установление

экологической пластичности и стабильности сортов в плане формирования уровня белка в семенах при ежегодно различных условиях возделывания культуры является неотъемлемой частью ведения селекционного процесса. Для повышения точности анализа реакции сортов на возделывание в различных условиях среды необходимо применять комплекс методов и показателей, позволяющих определить адаптивные способности генотипов. Одним из методов определения возможностей сортов адаптироваться к стрессовым условиям — это установить разницу между минимальным и максимальным значением признака. Меньшее значение свидетельствует о большей устойчивости генотипа к стрессу. Относительно высокий уровень устойчивости к стрессу в период формирования белка в семенах проявили три сорта сои: Приморская 1669 (–3,9), Приморская 1668 (–4,1) и Приморская 1671 (–4,2); низкий — Приморская 1551 (–7,6), Приморская 1673 (–7,8) (табл. 2).

Таблица 2

Параметры адаптивности сортов сои по накоплению белка в семенах, 2021–2024 гг.

Сорт	Размах варьирования признака, %	Стрессоустойчивость		Адаптивность				
		$X_{\min} - X_{\max}$	$(X_{\min} + X_{\max})/2$	O	V, %	B, %	ПУСС, %	ИЭП, ед.
Приморская 4, ст.	34,8–39,5	–4,7	37,2	17,3	5,8	94,2	100,0	0,98
Приморская 1551	33,8–41,4	–7,6	37,6	11,3	8,8	91,2	66,2	0,99
Приморская 1595	36,0–40,3	–4,3	38,2	20,6	4,9	95,1	120,6	1,00
Приморская 1596	35,6–41,1	–5,5	38,4	15,2	6,6	93,4	90,9	1,02
Приморская 1607	35,3–40,7	–5,4	38,0	15,3	6,5	93,5	90,3	1,00
Приморская 1639	35,5–40,8	–5,3	38,2	16,4	6,1	93,9	97,0	1,01
Приморская 1664	34,8–39,1	–4,3	37,0	18,8	5,3	94,7	107,9	0,98
Приморская 1665	35,0–41,6	–6,6	38,3	13,7	7,3	92,7	81,7	1,01
Приморская 1666	35,6–41,3	–5,7	38,5	14,8	6,8	93,2	89,0	1,03
Приморская 1667	36,0–40,8	–4,8	38,4	18,4	5,4	94,6	109,2	1,01
Приморская 1668	34,8–38,9	–4,1	36,9	17,5	5,7	94,3	98,5	0,96
Приморская 1669	35,1–39,0	–3,9	37,1	20,7	4,8	95,2	118,0	0,97
Приморская 1670	35,0–39,6	–4,6	37,3	17,1	5,8	94,2	98,7	0,98
Приморская 1671	36,0–40,2	–4,2	38,1	18,6	5,4	94,6	107,3	0,98
Приморская 1672	36,1–41,6	–5,5	38,9	15,7	6,4	93,6	94,3	1,02
Приморская 1673	35,3–43,1	–7,8	39,2	10,8	9,3	90,7	65,4	1,03
Приморская 1677	36,8–41,5	–4,7	39,2	17,7	5,6	94,4	107,1	1,03
Приморская 1678	35,1–40,3	–5,2	37,7	15,2	6,6	93,4	88,5	0,99

Примечание. $X_{\min} - X_{\max}$ — устойчивость к стрессу; $(X_{\min} + X_{\max})/2$ — компенсаторная способность по Rossielle, Nemblin; O — коэффициент экологической пластичности по Баранскому; V — коэффициент вариации; B — коэффициент выравнивания по Доспехову; ПУСС — показатель уровня стабильности сорта по Неттевичу; ИЭП — индекс экологической пластичности сортов по Грязнову.

Источник: составлено Е.С. Бутовец.

Table 2

Adaptability parameters of soybean cultivars for protein accumulation in seeds, 2021–2024

Cultivar	Trait variation range, %	Stress resistance		Adaptability				
		$X_{\min} - X_{\max}$	$(X_{\min} + X_{\max})/2$	O	V, %	B, %	SLIC, %	IEP, un.
Primorskaya 4, st.	34.8–39.5	-4.7	37.2	17.3	5.8	94.2	100.0	0.98
Primorskaya 1551	33.8–41.4	-7.6	37.6	11.3	8.8	91.2	66.2	0.99
Primorskaya 1595	36.0–40.3	-4.3	38.2	20.6	4.9	95.1	120.6	1.00
Primorskaya 1596	35.6–41.1	-5.5	38.4	15.2	6.6	93.4	90.9	1.02
Primorskaya 1607	35.3–40.7	-5.4	38.0	15.3	6.5	93.5	90.3	1.00
Primorskaya 1639	35.5–40.8	-5.3	38.2	16.4	6.1	93.9	97.0	1.01
Primorskaya 1664	34.8–39.1	-4.3	37.0	18.8	5.3	94.7	107.9	0.98
Primorskaya 1665	35.0–41.6	-6.6	38.3	13.7	7.3	92.7	81.7	1.01
Primorskaya 1666	35.6–41.3	-5.7	38.5	14.8	6.8	93.2	89.0	1.03
Primorskaya 1667	36.0–40.8	-4.8	38.4	18.4	5.4	94.6	109.2	1.01
Primorskaya 1668	34.8–38.9	-4.1	36.9	17.5	5.7	94.3	98.5	0.96
Primorskaya 1669	35.1–39.0	-3.9	37.1	20.7	4.8	95.2	118.0	0.97
Primorskaya 1670	35.0–39.6	-4.6	37.3	17.1	5.8	94.2	98.7	0.98
Primorskaya 1671	36.0–40.2	-4.2	38.1	18.6	5.4	94.6	107.3	0.98
Primorskaya 1672	36.1–41.6	-5.5	38.9	15.7	6.4	93.6	94.3	1.02
Primorskaya 1673	35.3–43.1	-7.8	39.2	10.8	9.3	90.7	65.4	1.03
Primorskaya 1677	36.8–41.5	-4.7	39.2	17.7	5.6	94.4	107.1	1.03
Primorskaya 1678	35.1–40.3	-5.2	37.7	15.2	6.6	93.4	88.5	0.99

Note. $X_{\min} - X_{\max}$ – Resistance to stress; $(X_{\min} + X_{\max})/2$ – Compensatory capacity according to Rossielle, Hemblin; O – Baransky's coefficient of ecological plasticity; V – coefficient of variation; B – coefficient of uniformity according to Dospekhov; SLIC – stability level indicator of the cultivar according to Nettevich; IEP – index of ecological plasticity of cultivars according to Gryaznov.

Source: compiled by E.S. Butovets.

Компенсаторные способности сорта в контрастных условиях выращивания определяет параметр генетической гибкости. Высокими значениями данного показателя (от 38,0 до 39,2 ед.) характеризовались 64,7 % изучаемых сортов сои. Наиболее устойчивые к стрессу сорта — Приморская 1664, Приморская 1668 и Приморская 1669 — отличались пониженной гибкостью (36,9...37,1 ед.), что свидетельствует о стабильности сортового признака при любых условиях.

В результате определения экологической пластичности по методу Д.И. Баранского выявлены наиболее пластичные сорта, в большей степени способные формировать повышенный уровень белка в семенах — Приморская 1595, Приморская 1664, Приморская 1667, Приморская 1669 и Приморская 1671 (O = 18,4...20,7). По стабильности признака, установленной по значениям коэффициента вариации, все сорта демонстрировали слабую изменчивость ($V \leq 10\%$). Несущественную вариабельность показателя можно пояснить незначительным воздействием среды.

Подспорьем при определении хозяйственной ценности генотипа служит коэффициент выравнинности B. Преимуществом пользуются сорта со значением выше 70 %. В наших исследованиях все сорта сои имели коэффициент более 91,2 %.

Показатель адаптивности сорта (ПУСС) основывается на совокупности уровня и стабильности признака с учетом значения стандарта, демонстрирует свои возможности при оптимизации условий роста, при неблагоприятных факторах — сохранять показатель белка в семенах на высоком уровне. Увеличение этого признака свидетельствует о большей стабильности сорта. Превышение над стандартом по стабильности (ПУСС) на 18,0 и 20,6 % наблюдалось у двух сортов сои: Приморская 1669 и Приморская 1595, большая часть генотипов (64,7 %) имели меньшую стабильность признака относительно стандарта.

Вычисление ИЭП сортов актуально на территориях культивирования с контрастными погодными условиями. В данном случае, большую ценность при возделывании имеет генотип со значением ИЭП более единицы. В опыте ИЭП сортов составлял от 0,96 ед. (Приморская 1668) до 1,03 ед. (Приморская 1666, Приморская 1673 и Приморская 1677).

В результате проведенной оценки каждому значению параметра присвоен ранг в зависимости от практической ценности, который затем суммируется для конкретного сорта (табл. 3). При этом наивысшая оценка соответствует первому рангу.

Таблица 3

Классификация сортов сои в зависимости от их адаптивных характеристик

Сорт	КА	$X_{\min} - X_{\max}$	$(X_{\min} + X_{\max})/2$	О	V, %	B, %	ПУСС, %	ИЭП	Кр
Приморская 4, ст.	13	6	12	8	7	7	7	6	5
Приморская 1551	11	14	10	16	14	14	17	5	1
Приморская 1595	10	4	6	2	2	2	1	4	6
Приморская 1596	5	11	4	13	11	11	12	2	4
Приморская 1607	9	10	8	12	10	10	13	4	4
Приморская 1639	8	9	6	10	8	8	10	3	4
Приморская 1664	16	4	14	3	3	3	4	6	6
Приморская 1665	6	13	5	15	13	13	16	3	2
Приморская 1666	3	12	3	14	12	12	14	1	3
Приморская 1667	7	7	4	5	4	4	3	3	5
Приморская 1668	18	2	15	7	6	6	9	8	6
Приморская 1669	17	1	13	1	1	1	2	7	7
Приморская 1670	14	5	11	9	7	7	8	6	5
Приморская 1671	15	3	7	4	4	4	5	6	6
Приморская 1672	4	11	2	11	9	9	11	2	4
Приморская 1673	1	15	1	17	15	15	18	1	1
Приморская 1677	2	6	1	6	5	5	6	1	5
Приморская 1678	12	8	9	13	11	11	15	5	4

Источник: составлено Е.С. Бутовец.

Table 3

Classification of soybean cultivars depending on their adaptive characteristics

Cultivar	CA	$X_{\min} - X_{\max}$	$(X_{\min} + X_{\max})/2$	O	V, %	B, %	SLIC, %	IEP	Cr
Primorskaya 4, st.	13	6	12	8	7	7	7	6	5
Primorskaya 1551	11	14	10	16	14	14	17	5	1
Primorskaya 1595	10	4	6	2	2	2	1	4	6
Primorskaya 1596	5	11	4	13	11	11	12	2	4
Primorskaya 1607	9	10	8	12	10	10	13	4	4
Primorskaya 1639	8	9	6	10	8	8	10	3	4
Primorskaya 1664	16	4	14	3	3	3	4	6	6
Primorskaya 1665	6	13	5	15	13	13	16	3	2
Primorskaya 1666	3	12	3	14	12	12	14	1	3
Primorskaya 1667	7	7	4	5	4	4	3	3	5
Primorskaya 1668	18	2	15	7	6	6	9	8	6
Primorskaya 1669	17	1	13	1	1	1	2	7	7
Primorskaya 1670	14	5	11	9	7	7	8	6	5
Primorskaya 1671	15	3	7	4	4	4	5	6	6
Primorskaya 1672	4	11	2	11	9	9	11	2	4
Primorskaya 1673	1	15	1	17	15	15	18	1	1
Primorskaya 1677	2	6	1	6	5	5	6	1	5
Primorskaya 1678	12	8	9	13	11	11	15	5	4

Source: compiled by E.S. Butovets.

По результату комплексной оценки перспективных сортов сои на адаптационные возможности выявлены генотипы, в большей степени способные накапливать относительно высокий уровень содержания белка в семенах в условиях Приморского края (рис. 2). Сорт сои с минимальной суммой рангов характеризуется высокими параметрами адаптации.

По сумме рангов наиболее высокими параметрами адаптационных способностей обладали два сорта сои: Приморская 1677 (37) и Приморская 1667 (42).

Заключение

По результатам исследования перспективных сортов сои на адаптационные способности по накоплению белка в семенах выделены генотипы с высокими показателями:

- по уровню адаптивности КА — Приморская 1673, Приморская 1677 и Приморская 1666;
- устойчивости к стрессу — Приморская 1669 (–3,9), Приморская 1668 (–4,1) и Приморская 1671 (–4,2);

- степени пластичности ($O = 18,4 \dots 20,7$) — Приморская 1595, Приморская 1664, Приморская 1667, Приморская 1669 и Приморская 1671;
- коэффициенту выравненности (B более 91,2 %) — все сорта сои;
- уровню стабильности сорта (ПУСС) — Приморская 1669 и Приморская 1595;
- индексу экологической пластичности — Приморская 1666, Приморская 1673 и Приморская 1677.

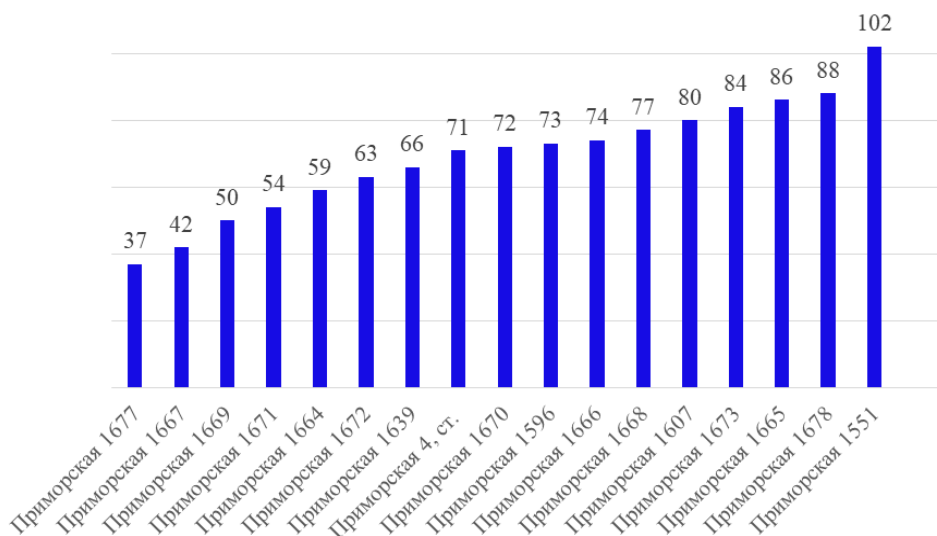


Рис. 2. Суммы рангов сортов сои

Источник: составлено Е.С. Бутовец.

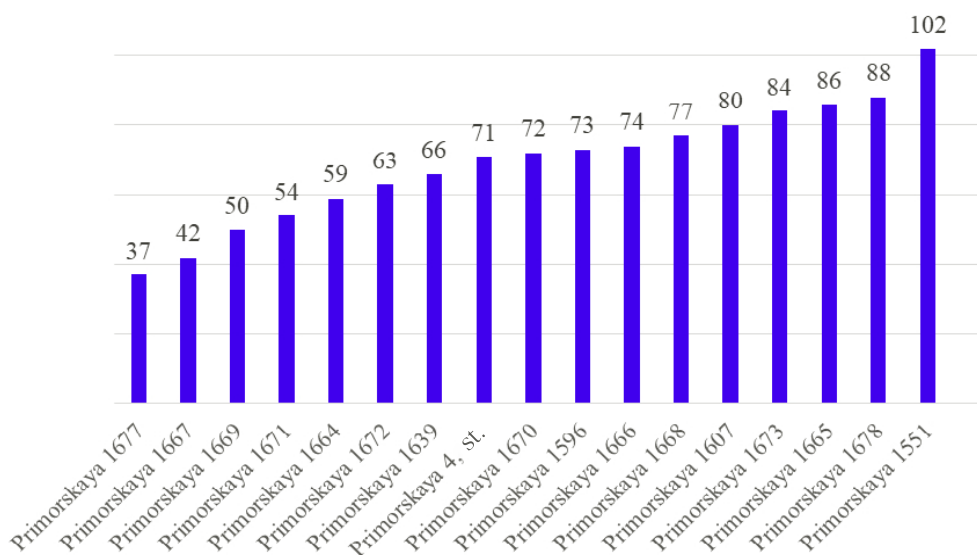


Fig. 2. Sums of ranks of soybean cultivars

Source: compiled by E.S. Butovets.

Наилучшие адаптационные способности при возделывании в условиях степной зоны Приморского края и возможность формировать высокий уровень белка в семенах были характерны сортам сои Приморская 1677 и Приморская 1667.

Список литературы

1. Шахова М.Н., Бутова С.В., Воронцов В.В. Разработка технологии получения белково-липидного комплекса из семян сои // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2023. № 2 (21). С. 65–73. doi: 10.53914/issn2311-6870_2023_2_65 EDN: SWNYVF
2. Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П. Влияние условий влагообеспеченности вегетационного периода на продуктивность и кормовую ценность сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1 (65). С. 6–15. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-6-12 EDN: JALFXA
3. Dos Santos C.A.C., Neale C.M.U., Mekonnen M.M. et al. Trends of extreme air temperature and precipitation and their impact on corn and soybean yields in Nebraska, USA // Theoretical and Applied Climatology. 2022. Vol. 147. № 3–4. P. 1379–1399. doi: 10.1007/s00704-021-03903-7 EDN: QYWQOE
4. Tsekhmeistruk M., Pankova O., Kolomatska V. et al. Influence of weather and climatic conditions on soybean yield // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. Vol. 11. № 4. P. 11–17. doi: 10.15421/2021_193
5. Зайцев Н.И., Ревенко В.Ю., Устарханова Э.Г. Влияние погодных факторов на продуктивность перспективных линий сои в зоне неустойчивого увлажнения // Масличные культуры. 2020. № 2 (182). С. 62–69. doi: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69 EDN: HIMSJF
6. Fokina E., Belyaeva G. Features of the new mid-season soybean variety Zolushka // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems. 2022. Vol. 353. P. 105–112. doi: 10.1007/978-3-030-91402-8_13 EDN: XWZGZZ
7. Li M., Liu Y., Wang C. et al. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes // Frontiers in plant science. 2020. Vol. 10. P. 1642. doi: 10.3389/fpls.2019.01642 EDN: MLWPCR
8. Юсова О.А., Николаев П.Н., Васюкевич В.С., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях // Вестник НГАУ. 2020. № 2. С. 84–96. doi: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96 EDN: MTSHKV
9. Rani A., Kumar V. Soybean Breeding // Fundamentals of Field Crop Breeding. Singapore : Springer, 2022. P. 907–944. doi: 10.1007/978-981-16-9257-4_17
10. Hegstad J.M., Nelson R.L., Renny-Byfield S. et al. Introgression of novel genetic diversity to improve soybean yield // Theoretical and Applied Genetics. 2019. Vol. 132. № 9. P. 2541–2552. doi: 10.1007/s00122-019-03369-2
11. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Перспективы селекции высокобелковых сортов сои: моделирование механизмов увеличения белка в семенах (сообщение 1) // Масличные культуры. 2016. № 2 (166). С. 34–41. EDN: WXSCKV
12. Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Vol. 183. № 4. С. 19–29. doi: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29 EDN: SZUJVA
13. Новикова Л.Ю., Сеферова И.В., Некрасов А.Ю. и др. Влияние погодных-климатических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 6. С. 708–715. doi: 10.18699/VJ18.414 EDN: XYZCKD
14. Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Васина Е.А. и др. Влияние погодных-климатических условий на формирование белка и масла в семенах сои в Приморском крае // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2 (191). С. 88–97. doi: 10.36718/1819-4036-2023-2-88-97 EDN: UDCBDT
15. Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по урожайности // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–7.
16. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 6. С. 49–53. EDN: HSFQAX
17. Баранский Д.И. Экологическая пластичность и ее роль в процессе перерождения сортосмеси // Bigrum. селекц. Big. Одес. Крайов. с.-г. досл. ст. 1926. Вып. II. С. 81–91.

18. Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // Вестник сельскохозяйственной науки. 1985. № 1. С. 66–73.
19. Грязнов А.А. Карабалыкский ячмень. Кустанай : Печат. двор, 1996. С. 448.

References

- Shakhova MN, Butova SV, Vorontsov VV. Development of a technology for obtaining a protein-lipid complex from soybean seeds. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaistvennoi produktsii*. 2023;(2):65–73. (In Russ.). doi: 10.53914/issn2311-6870_2023_2_65 EDN: SWNYVF
- Belyshkina ME, Kobozeva TP. The influence of moisture conditions during the growing season on productivity and feed value of soybeans. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024;(1):6–15. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-6-12 EDN: JALFXA
- Dos Santos CAC, Neale CMU, Mekonnen MM, Gonçalves IZ, de Oliveira G, Ruiz-Alvarez O, et al. Trends of extreme air temperature and precipitation and their impact on corn and soybean yields in Nebraska, USA. *Theoretical and Applied Climatology*. 2022;147(3):1379–1399. doi: 10.1007/s00704-021-03903-7 EDN: QYWQOE
- Tsekhmeistruk M, Pankova O, Kolomatska V, Kobyzieva L, Artiomov M, Sirovitskiy K.. Influence of weather and climatic conditions on soybean yield. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021;11(4):11–17. doi: 10.15421/2021_193
- Zaitsev NI, Revenko VY, Ustarkhanova EG. Influence of weather factors on the productivity of perspective soybean lines in the unstable moisture zone. *Oil Crops*. 2020;(2):62–69. (In Russ.). doi: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69 EDN: HIMSJF
- Fokina E, Belyaeva G. Features of the new mid-season soybean variety Zolushka. In: *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: conference proceedings*. Cham: Springer International Publishing; 2022. p.105–112. doi: 10.1007/978-3-030-91402-8_13 EDN: XWZGZZ
- Li M, Liu Y, Wang C, Yang X, Li D, Zhang X, et al. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Frontiers in Plant Science*. 2020;10:1642. doi: 10.3389/fpls.2019.01642 EDN: MLWPRC
- Yusova OA, Nikolaev PN, Vasiukevich VS, Aniskov NI, Safonova IV. Spring grain quality of Omsk oat varieties in the extreme environmental conditions. *Vestnik NGAU*. 2020;(2):84–96. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96 EDN: MTSHKB
- Rani A, Kumar V. Soybean Breeding. In: *Fundamentals of Field Crop Breeding*. Singapore: Springer; 2022. p.907–944. doi: 10.1007/978-981-16-9257-4_17
- Hegstad JM, Nelson RL, Renny-Byfield S, Feng L, Chaky JM. Introgression of novel genetic diversity to improve soybean yield. *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132(9):2541–2552. doi: 10.1007/s00122-019-03369-2 EDN: WDGZHS
- Zelentsov SV, Moshenko EV. Prospects for breeding of high-protein soybean cultivars: modelling of mechanisms of protein increase in the seeds (report 1). *Oil Crops*. 2016;(2):34–41. (In Russ.). EDN: WXSCKV
- Vasina EA, Butovets ES, Lukyanchuk LM. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):19–29. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29 EDN: SZUJVA
- Novikova LY, Seferova IV, Nekrasov AY, Perchuk IN, Shelenga TV, Samsonova MG, et al. Impact of weather and climate on seed protein and oil content of soybean in the North Caucasus. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):708–715. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ18.414 EDN: XYZCKD
- Butovets ES, Lukyanchuk LM, Vasina EA, Strashenko TN, Kukuruza GO. Weather and climatic conditions impact on protein and oil synthesis in soybean seeds in the Primorsky region. *Bulletin of KSAU*. 2023;(2):88–97. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2023-2-88-97 EDN: UDCBDT
- Zhivotkov LA, Morozova ZA, Sekatueva LI. Methods for identifying potential productivity and adaptability in varieties and breeding forms of winter wheat for yield. *Breeding and Seed Production*. 1994;(2):3–7. (In Russ.).
- Goncharenko AA. On the adaptability and ecological stability of varieties of grain crops. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2005;(6):49–53. (In Russ.). EDN: HSFQAX
- Baranskii DI. Ecological plasticity and its role in the process of variety mix degradation. *Visnik selektsiino-genetichnogo viddilu Odes'koï kraiovoi sil's'kogospodars'koi doslidnoi stantsii*. 1926;(2):81–91. (In Russ.).

18. Nettevich ED, Morgunov AI, Maksimenko MI. Improvement of efficient selection of spring wheat for stability of harvest yield and grain quality. *Bulletin of Agricultural Science*. 1985;(1):66–73. (In Russ.).
19. Gryaznov AA. *Karabalykskii yachmen'* [Barley of Karabalyk]. Kustanai; 1996. (In Russ.).

Об авторе:

Бутовец Екатерина Сергеевна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и.о. зав. лаборатории селекции сои, Федеральный научный центр агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Российская Федерация, 692539, Приморский край, г. Уссурийск, п. Тимирязевский; e-mail: otdelsoy@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2879-3570 SPIN-код: 9172-0107

About the author:

Butovets Ekaterina Sergeevna — PhD (Agricultural Sciences), Leading Researcher, Acting Head of Soybean Laboratory Breeding, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Timiryazevsky Settlement, Ussuriysk, Primorsky Krai, 692539; Russian Federation; e-mail: otdelsoy@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2879-3570 SPIN-code: 9172-0107




DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-71-83

EDN ECBISL

УДК 582.866:631.52

Научная статья / Research article

Сортовые особенности прорастания семян облепихи в зависимости от сроков хранения

Ю.А. Зубарев  , А.В. Гунин , А.В. Воробьева Федеральный Алтайский научный центр агроботехнологий, г. Барнаул, Российская
Федерация niilisavenko@yandex.ru

Аннотация. Облепиха является одной из наиболее популярных садовых культур в сибирском промышленном садоводстве и незаменимой породой для рекультивации непригодных для ведения сельскохозяйственного производства территорий и контроля за эрозионными процессами. В этом направлении для наращивания производства посадочного материала перспективно использовать семенное размножение. Вопросам сортовой спецификации всхожести и энергии прорастания семян, допустимым срокам их хранения в литературе уделено определенное внимание. Однако, большинство данных носит противоречивый характер, что не позволяет обоснованно применять их на практике. Цель исследования — изучить влияние сроков хранения на посевные качества семян генотипов облепихи алтайской селекции. Исследования проведены в 2021–2023 гг. в Федеральном Алтайском научном центре агроботехнологий. Объекты исследований — семена сортов Афина, Августина, Алтайская, Эссель, Анастасия и отборной формы 185-99-5 разных лет сбора. В трехлетнем эксперименте использованы сухие нестратифицированные семена, хранившиеся в комнатных условиях от одного до шести лет. Установлено, что семена всех сортов со сроком хранения от одного до двух лет отличаются высокими посевными качествами, демонстрируя всхожесть во все годы исследования от 92,5 до 97,5 %, и характеризуются быстрым и дружным прорастанием — от 4,6 до 8,0 дней. Самой высокой скоростью прорастания отличается сорт Анастасия, у которого в 2022 г. 80 % однолетних семян дали проростки на второй день. Начиная с третьего-четвертого года, всхожесть семян заметно снижается до 10,0...26,3 %, что отмечено в двух из трех лет наблюдений. В трехлетнем возрасте самая низкая всхожесть (5 %) отмечена у отборной формы 185–99–5, в четырехлетнем — в среднем по сортам — 10 %. По результатам 2023 г. после шести лет хранения посевные качества семян всех изучаемых образцов снизились практически до нуля. В то же время в 2022 г. пятилетние семена имели высокую всхожесть, не уступая по посевным качествам однолетним и двулетним образцам. Полученные данные, с одной стороны, не позволяют рекомендовать хранение семян облепихи до высева более двух лет, с другой стороны — демонстрируют потенциальную их жизнеспособность даже после пяти лет хранения.

Ключевые слова: *Hipporhae rhamnoides* L., энергия прорастания, всхожесть, средневзвешенное время прорастания

© Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В., 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: Зубарев Ю.А. — планирование и анализ полученных данных, написание текста; Гунин А.В. — редактирование текста, обработка материалов; Воробьева А.В. — закладка эксперимента, сбор данных. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации согласно тематическому плану Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий (тема № 121112900046-9).


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

История статьи: поступила в редакцию 18 апреля 2023 г., принята к публикации 13 января 2026 г.

Для цитирования: Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Сортовые особенности прорастания семян облепихи в зависимости от сроков хранения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 71–83. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-71-83 EDN: ECBISL

Variety peculiarities of seabuckthorn seeds germination depending on storage time

Yuri A. Zubarev  , Alexey V. Gunin , Anastasia V. Vorobjeva 

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Barnaul, Russian Federation
 niilisavenko@yandex.ru

Abstract. Seabuckthorn is one of the most popular crops in industrial horticulture of Siberia and quite unique species for degraded lands reclamation as well as for erosion processes control. In this regard seed propagation is a promising method for increasing the production of planting material. Significant number of papers have been found in scientific literature which describes the varietal specificity of germination percentage and seedling vigor, as well as permissible storage periods. However, most of the data are contradictory, which does not allow them to be reasonably applied in practice. In this regard, the main objective of this study was to investigate the influence of storage periods on the sowing qualities of seeds of seabuckthorn genotypes of Altai selection. The studies were conducted from 2021 to 2023 at the Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies. As research objects the seeds of Afina, Avgustina, Altaiskaya, Essel, Anastasia cultivars and hybrid 185–99–5 of different years of collection have been used. Dry, unstratified seeds stored indoors for one to six years were used in three-year experiment. It was established that the seeds of all varieties with a storage period from one to two years had high germination quality, with germination percentage ranging from 92.5 to 97.5% throughout the study period. These seeds are characterized by rapid and uniform germination, taking between 4.6 and 8.0 days. The Anastasia cultivar showed the highest germination rate; in 2022, 80% of its one-year-old seeds sprouted by the second day. Starting from the third or fourth year of storage, germination significantly declined to 10.0–26.3%, a trend observed in two out of the three study years. Within three years old seed the lowest germination percentage (5%) was noted in hybrid 185–99–5, within four years old — 10% on average. By 2023, after six years of storage, the germination ability of the seeds of all varieties decreased up to zero. Conversely, in 2022, five-year-old seeds had a high germination rate, the same as one- and two-year-old seeds. The data obtained, on the one hand, do not allow us to recommend storing sea buckthorn seeds for more than two years before sowing, but on the other hand, they demonstrate their potential viability even after five years of storage.

Keywords: *Hippophae rhamnoides* L., germination rate, germination percentage, mean germination time

Authors' contribution: Zubarev Y.A. — experiment design planning and research data analyses, text writing; Gunin A.V. — text editing, data analyses; Vorobjeva A.V. — experiment establishing, data collection. All authors approved the final version of the manuscript.

Funding. The research was supported by a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with the thematic plan of the Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology (no. 121112900046-9).

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

Article history: received 18 April 2023; accepted 13 January 2026.

For citation: Zubarev YA, Gunin AV, Vorobjeva AV. Variety peculiarities of seabuckthorn seeds germination depending on storage time. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):71–83. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-71-83 EDN: ECBISL

Введение

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) — одна из наиболее популярных садовых культур в сибирском промышленном садоводстве, ценящаяся за высокую зимостойкость и ежегодную стабильную урожайность. Богатый биохимический состав плодов этой культуры, представленный спектром водорастворимых витаминов, аминокислот, микроэлементов, на фоне высокого содержания уникального по жирнокислотному составу масла, делает облепиху ценным сырьем для пищевой и фармацевтической промышленности.

Помимо отмеченных хозяйственно ценных особенностей, облепиха, будучи культурой, способной произрастать на бедных по питательному составу, деградированных и эрозионно опасных почвах, является незаменимой породой для рекультивации непригодных для ведения сельскохозяйственного производства территорий и контроля за эрозионными процессами [1]. Данный феномен объясняется ее способностью фиксировать атмосферный азот за счет симбиотического действия клубеньковых образований на корнях, высокой степенью порослеобразования и способностью эффективно размножаться семенами. Последняя особенность подтверждается тем, что большая часть насаждений в Китае, которых по разным оценкам насчитывается от 1,6 до 2,3 млн га, представлена зарослями облепихи семенного происхождения [2].

В целом, семенное размножение облепихи — наиболее простой и доступный способ расширения плантаций экологического типа, направленных на сохранение почвенного плодородия. Данное направление в условиях значительной деградации почв, усиливающейся антропогенной нагрузки, проблемы с опустыниванием территорий, становится одним из приоритетных в системе почвозащитных мероприятий. В этой связи задачи наращивания производства посадочного материала облепихи, в т. ч. и семенного происхождения, выходят на первый план.

Облепиха по разным оценкам в границах своего распространения представлена 6...8 видами, большинство из которых включают в себя несколько подвидов [3, 4]. Установлено, что семена видов и подвидов облепихи имеют различную всхожесть. Так, индийскими учеными [5] на примере вида *H. rhamnoides* L. показано, что семена, полученные из различных географических провинций, без использования стимуляторов роста имели всхожесть от 48,0 до 74,7%. Турецкие исследователи

определили, что всхожесть семян облепихи этого же вида в лабораторных условиях составляла 98,8 % [6]. Прорастание семян в полевых условиях оказалось значительно ниже и составило от 39,2 % в теплице до 20,7 % в открытом грунте [7].

А.С. Кулиев, изучая посевные качества семян различных местных и интродуцированных популяций и сортов облепихи вида *H. rhamnoides* L. в условиях Казахстана, установил существенные различия между ними в энергии прорастания (от 28 % у алтайского сорта Новость Алтая до 70 % у московского — ВИЛ-4), при этом высокий уровень всхожести отмечен по всем объектам исследований — от 83 до 98 % [8]. По материалам другого исследования казахских ученых, семена сорта Новость Алтая, полученные в условиях республики, показали лабораторную всхожесть на уровне 72,6 % [9].

В полевых экспериментах корейских ученых с применением кассетной технологии всхожесть семян российской популяций *H. rhamnoides* L. после одного года хранения составила 60 %, китайской — 30 % [10].

В условиях Канады при изучении способности к прорастанию семян восьми видов и подвидов облепихи установлена существенная разница во всхожести семян между видами и подвидами в границах вида *H. rhamnoides* L. При поверхностном посеве максимальная всхожесть (86,1 %) отмечена у семян вида *H. salicifolia* D. Don., минимальная (31,7 %) — у подвида *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica*. Подвид облепихи *H. rhamnoides* subsp. *mongolica*, на основе которого созданы все сорта селекции НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко, продемонстрировал всхожесть на уровне 48,6 % [11].

Н. Аhani с соавторами проводя серию экспериментов с семенами *H. rhamnoides* L., полученными в провинции Qazvin (Иран), установили что при различных способах стимулирования прорастания средняя всхожесть составила 20,5 %. Причем в лучших вариантах она проявилась только на 47 день эксперимента [12]. Индийские ученые изучили всхожесть семян облепихи вида *H. salicifolia* D. Don., полученных из пяти различных провинций Индии, и установили, что в контрольных вариантах без дополнительной стимуляции процент проросших семян составил от 24,6 до 35,3 [13].

При изучении всхожести семян 11 сортов облепихи алтайской селекции в условиях Кабардино-Балкарской республики установлен высокий уровень показателя, варьирующий в диапазоне 79,5...86,8 % [14]. З.Л. Канцалиева и др. установили высокую обратную корреляционную зависимость ($r = -0,61$) всхожести семян облепихи от их массы [15]. Других подтверждений данного феномена нами в литературе не обнаружено.

Изучению сроков хранения семян облепихи уделено мало внимания. Как и в вопросе посевных характеристик свежих семян, данные по всхожести и энергии прорастания хранившихся несколько лет образцов противоречивы и варьируют в зависимости от длительности хранения. По данным А.С. Кулиева, сроки хранения семян оказывают неоднозначный эффект на энергию прорастания. Так, семена сорта Новость Алтая после двухлетнего хранения демонстрировали существенно более высокую энергию прорастания по сравнению со свежими — 59,7 и 18,0 % соответственно, снижая показатель после 5 лет хранения до 4 %. Арстанбапская

популяция наивысший показатель энергии прорастания показала после 5 лет хранения — 81,2 %, а Кызыл-Унгульская — поступательно снижала энергию прорастания с увеличением срока хранения семян — с 45,4 (у свежих семян) до 30,0 % (у пятилетних) [8].

В.А. Фефелов и И.П. Елисеев при изучении всхожести семян различного эколого-географического происхождения показали, что образцы из Кабардино-Балкарии снижали всхожесть уже через 1,5 года хранения, а семена алтайской популяции через 3,5 года демонстрировали высокую энергию прорастания и всхожесть — 57,5...94,0 % [16]. В работах индийских ученых установлено, что в условиях комнатной температуры снижение всхожести семян начинает заметно проявляться после 7 лет хранения и к 10-летнему возрасту опускается до уровня 65,7 %, при первоначальном уровне 99...100 % [17].

Choi Chung-Но, изучая оптимальные температуры для прорастания семян *H. rhamnoides* L., установил, что оптимумом является 20 °С, при этом автор констатирует сравнительно низкий уровень всхожести — 40,7 % [18].

Таким образом, качественным характеристикам семян, сортовой специфике их всхожести, энергии прорастания и срокам хранения в литературе уделено внимание. Однако, большинство представленных данных носит противоречивый характер, что не позволяет с достаточной долей обоснованности применять их на практике.

Цель исследования — изучить влияние сроков хранения на посевные качества семян генотипов облепихи алтайской селекции.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в 2021–2023 гг. в отделе НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий (НИИСС ФГБНУ ФАНЦА). Объектами исследований стали семена сортов Афина, Августина, Алтайская, Эссель, Анастасия и отборной формы 185-99-5 разных лет сбора. Все сортообразцы принадлежат подвиду *H. rhamnoides subsp. mongolica*. В нашем исследовании под однолетними подразумеваются семена, собранные осенью предшествующего исследованию года, двулетними — собранные соответственно на год раньше и т.д. Семена до включения их в эксперимент хранились в бумажных пакетах при комнатной температуре. Даты закладки эксперимента: 23.03.2021, 16.03.2022 и 10.01.2023.

Для определения всхожести сухие, необработанные семена раскладывали в чашки Петри на смоченную водой фильтровальную бумагу. Температура воздуха в помещении составляла 20...22 °С. Количество семян в одной чашке — 20 шт. Учеты проводили на 2-, 3-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10- и 15-й дни. Дальнейшие учеты были невозможны в связи с началом процессов контаминации. Всхожесть семян облепихи, согласно ГОСТ (1998)¹, определяется как доля, в процентах, семян, давших нормально развитые проростки за 30 дней проращивания. В нашем случае всхожесть определяли как число

¹ ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Минск : ИПК Изд-во стандартов, 1998. 27 с.

проросших семян за 15 дней проращивания. Энергию прорастания определяли как количество семян, проросших в течение первых 10 дней. Средневзвешенное время прорастания рассчитывали как сумму произведений порядковых дней появления проростков и количества появившихся проростков в конкретный учетный день, поделенную на общее количество появившихся проростков [19].

Результаты исследования и обсуждение

Наиболее репрезентативной выборка по вариантам исследований была в 2023 г., когда по некоторым сортам изучали всхожесть семян четырех различных лет сбора. По всем сортам установлена высокая всхожесть семян после 1 и 2 лет хранения — от 90 до 100 % (табл. 1).

Таблица 1

Посевные качества семян изучаемых сортообразцов облепихи, 2023 г.

Сорт, отборная форма	Год сбора семян / возраст, лет	Количество проросших семян, %, на день учета										Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средневзвешенное время прорастания, дней
		2	3	5	6	7	8	9	10	15				
Афина	2017 / 6	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	5	5	6,0
Афина	2021 / 2	-	15	80	-	-	-	5	-	-	-	100	100	4,9
Афина	2022 / 1	5	5	50	10	10	-	5	-	10	85	95	6,3	
Августина	2017 / 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0,0	
Августина	2021 / 2	-	5	35	30	-	10	10	-	10	90	100	6,9	
Августина	2022 / 1	-	-	35	5	-	-	5	-	55	45	100	10,8	
Алтайская	2017 / 6	-	-	-	5	-	-	-	-	-	5	5	6,0	
Эссель	2017 / 6	-	-	-	5	-	-	-	-	-	5	5	6,0	
Эссель	2021 / 2	5	10	55	5	10	-	5	-	-	90	90	5,1	
Эссель	2022 / 1	20	15	40	10	-	5	-	-	10	90	100	5,4	
Анастасия	2019 / 4	-	-	10	-	-	-	-	-	-	10	10	5,0	
Анастасия	2020 / 3	-	-	25	-	-	-	10	-	-	35	35	6,1	
Анастасия	2021 / 2	-	10	75	10	-	-	-	-	-	95	95	4,9	
Анастасия	2022 / 1	-	-	50	-	-	10	10	-	25	70	95	8,4	
185-99-5	2019 / 4	-	-	5	5	-	-	-	-	-	10	10	5,5	
185-99-5	2020 / 3	-	-	-	-	5	-	-	-	-	5	5	7,0	
185-99-5	2021 / 2	-	5	25	5	20	5	5	-	25	65	90	8,6	
185-99-5	2022 / 1	-	-	30	20	-	15	-	-	35	65	100	9,2	
Среднее	6 лет	-										3,8	3,8	4,5
	4 года	-										10,0	10,0	5,3
	3 года	-										20,0	20,0	6,6
	2 года	-										88,0	95,0	6,1
	1 год	-										71,0	98,0	8,0

Источник: составлено Ю.А. Зубаревым, А.В. Гуниным, А.В. Воробьевой.

Table 1

Germination features of seabuckthorn seeds, 2023

Cultivar, variety	Year of collection / age	Number of germinated seeds, % day of registration										Germination rate, %	Germination percentage, %	Mean germination time, days
		2	3	5	6	7	8	9	10	15				
Afina	2017 / 6	–	–	–	5	–	–	–	–	–	5	5	6.0	
Afina	2021 / 2	–	15	80	–	–	–	5	–	–	100	100	4.9	
Afina	2022 / 1	5	5	50	10	10	–	5	–	10	85	95	6.3	
Avgustina	2017 / 6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0	0.0	
Avgustina	2021 / 2	–	5	35	30	–	10	10	–	10	90	100	6.9	
Avgustina	2022 / 1	–	–	35	5	–	–	5	–	55	45	100	10.8	
Avgustina	2017 / 6	–	–	–	5	–	–	–	–	–	5	5	6.0	
Essel	2017 / 6	–	–	–	5	–	–	–	–	–	5	5	6.0	
Essel	2021 / 2	5	10	55	5	10	–	5	–	–	90	90	5.1	
Essel	2022 / 1	20	15	40	10	–	5	–	–	10	90	100	5.4	
Anastasia	2019 / 4	–	–	10	–	–	–	–	–	–	10	10	5.0	
Anastasia	2020 / 3	–	–	25	–	–	–	10	–	–	35	35	6.1	
Anastasia	2021 / 2	–	10	75	10	–	–	–	–	–	95	95	4.9	
Anastasia	2022 / 1	–	–	50	–	–	10	10	–	25	70	95	8.4	
185–99–5	2019 / 4	–	–	5	5	–	–	–	–	–	10	10	5.5	
185–99–5	2020 / 3	–	–	–	–	5	–	–	–	–	5	5	7.0	
185–99–5	2021 / 2	–	5	25	5	20	5	5	–	25	65	90	8.6	
185–99–5	2022 / 1	–	–	30	20	–	15	–	–	35	65	100	9.2	
Mean	6 years	–										3.8	3.8	4.5
	4 years	–										10.0	10.0	5.3
	3 years	–										20.0	20.0	6.6
	2 years	–										88.0	95.0	6.1
	1 year	–										71.0	98.0	8.0

Source: compiled by Y.A. Zubarev, A.V. Gunin, A.V. Vorobjeva.

Энергия прорастания в группе одно-двулетних семян различалась и варьировала от 65 до 100 %. Максимальное значение этого показателя отмечено у двулетних семян сорта Афина — 100 %. На уровне 90...95 % энергия прорастания оказалась у двулетних семян сорта Анастасия, одно- и двулетних семян сорта Эссель, двулетних семян сорта Августина. У большинства сортов энергия прорастания двулетних семян оказалась выше по сравнению с однолетними (в среднем на 17 %), что говорит о благоприятном влиянии на семена относительно длительного периода хранения. Существенные различия по этому показателю установлены на сорте Августина, когда двулетние семена ровно в два раза превысили уровень энергии прорастания однолетних семян — 90 и 45 % соответственно (табл. 1). Ранние дружные всходы отмечены на двулетних семенах сортов Анастасия и Афина, когда на пятый день возшло 85 и 95 % семян соответственно.

Информативным показателем энергии прорастания является средневзвешенное время прорастания, но этот показатель имеет смысл только при высокой общей всхожести семян, либо при оценке их в комплексе. Минимальный уровень средневзвешенного времени прорастания на фоне высокой всхожести отмечен у семян после 2 лет хранения сортов Анастасия и Афина — 4,9 дней, а также однолетних и двулетних семян сорта Эссель — 5,4 и 5,1 дней соответственно. Медленнее всего всходили однолетние семена сорта Августина — 10,8 дней. В среднем двулетние семена всходили в срок 6,1 дня, а однолетние — на 8,0 дня.

Тенденция к повышению посевных качеств семян облепихи при хранении от одного до двух лет менялась у трехлетних и более возрастных семян. В 2023 г. трехлетние семена представлены сортообразцами Анастасия и 185–99–5. Как общая всхожесть, так и энергия прорастания в этих вариантах упали до низких значений. Так у отборной формы 185–99–5 за весь период прорастания взошло 5 % семян, у сорта Анастасия — 35 %. Дальнейшее увеличение возраста семян не способствовало повышению всхожести. Четырехлетние семена сорта Анастасия демонстрировали снижение посевных характеристик с 35 до 10 %. У сортообразца 185–99–5 всхожесть отмечена на уровне 10 %, что хоть и превышает показатель трехлетних семян, однако также рассматривается нами как низкое значение. Шестилетние семена сортов Афина, Алтайская и Эссель отличались очень низкой всхожестью, не превышающей 5 %, а у сорта Августина семена не взошли.

Данные по эффективным срокам хранения семян в 2023 г. не совпадали с таковыми в экспериментах 2022 г., где отмечено значительное варьирование всхожести по большинству вариантов. Однолетние семена в 2022 г. показали всхожесть от 60 до 100 % у сортов Афина и Анастасия соответственно, что превышает вариабельность 2023 г. В среднем всхожесть в зависимости от сроков хранения составила от 80,0 до 92,5 % (табл. 2). Возрастные семена демонстрировали значения на уровне одно- и двулетних семян, что не согласуется с данными 2023 г.

Лучшие значения посевных качеств отмечены, как и в 2023 г., у двулетних семян. В сортовом разрезе лучшие результаты оказались у сорта Анастасия: средневзвешенное время прорастания однолетних семян у этого сорта составило 2,9 дня при 100 % всхожести, что при условии сухого, нестратифицированного материала — высокий уровень показателя.

Пятилетние семена, имея среднюю всхожесть 86,3 %, превышали по этому показателю трехлетние и даже однолетние образцы. Аналогичные результаты получены и по другим показателям качества. Средневзвешенное время прорастания у пятилетних семян составило 6,2 дня, в то время как у однолетних и трехлетних — 6,9 и 6,3 дня соответственно. Более того, эти семена характеризовались очень дружными всходами, показав на шестой день практически одновременное прорастание. Пятилетние семена сортов Августина и Алтайская демонстрировали 100 % всхожесть и энергию прорастания, при том, что в следующем 2023 г. эти семена практически не взошли (0 и 5 % соответственно).

Таблица 2

Посевные качества семян изучаемых сортообразцов облепихи, 2022 г.

Сорт, отборная форма	Годсбора семян / возраст, лет	Количество проросших семян, %, на день учета									Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средневзвешенное время прорастания, дней
		2	3	5	6	7	8	9	10	15			
Афина	2017 / 5	-	-	-	55	-	-	-	-	-	55	55	6,0
Афина	2021 / 1	-	-	5	-	-	10	5	5	35	25	60	12,1
Августина	2017 / 5	-	-	-	95	5	-	-	-	-	100	100	6,1
Августина	2021 / 1	-	40	10	20	10	-	-	15	5	95	100	5,9
Алтайская	2017 / 5	-	-	-	85	5	10	-	-	-	100	100	6,3
Эссель	2017 / 5	-	-	-	85	-	-	-	-	5	85	90	6,5
Эссель	2021 / 1	20	5	5	-	15	10	15	-	20	70	90	7,8
Анастасия	2019 / 3	-	-	-	60	-	5	-	-	-	65	65	6,2
Анастасия	2020 / 2	25	40	10	20	-	5	-	-	-	100	100	3,8
Анастасия	2021 / 1	80	-	10	-	-	10	-	-	-	100	100	2,9
185–99–5	2019 / 3	-	-	-	75	-	20	-	-	-	95	95	6,4
185–99–5	2020 / 2	-	15	30	25	10	-	-	5	-	85	85	5,5
185–99–5	2021 / 1	-	35	10	-	-	-	10	10	5	65	70	6,0
Среднее	5 лет	-									85,0	86,3	6,2
	3 года	-									80,0	80,0	6,3
	2 года	-									92,5	92,5	4,6
	1 год	-									71,0	84,0	6,9

Источник: составлено Ю.А. Зубаревым, А.В. Гуниным, А.В. Воробьевой.

Table 2

Germination features of seabuckthorn seeds, 2022

Cultivar, variety	Year of collection / age	Number of germinated seeds, % day of registration									Germination rate, %	Germination percentage, %	Mean germination time, days
		2	3	5	6	7	8	9	10	15			
Afina	2017 / 5	-	-	-	55	-	-	-	-	-	55	55	6.0
Afina	2021 / 1	-	-	5	-	-	10	5	5	35	25	60	12.1
Avgustina	2017 / 5	-	-	-	95	5	-	-	-	-	100	100	6.1
Avgustina	2021 / 1	-	40	10	20	10	-	-	15	5	95	100	5.9
Avgustina	2017 / 5	-	-	-	85	5	10	-	-	-	100	100	6.3
Essel	2017 / 5	-	-	-	85	-	-	-	-	5	85	90	6.5
Essel	2021 / 1	20	5	5	-	15	10	15	-	20	70	90	7.8
Anastasia	2019 / 3	-	-	-	60	-	5	-	-	-	65	65	6.2
Anastasia	2020 / 2	25	40	10	20	-	5	-	-	-	100	100	3.8
Anastasia	2021 / 1	80	-	10	-	-	10	-	-	-	100	100	2.9

Ending tabl. 2

Cultivar, variety	Year of collection / age	Number of germinated seeds, % day of registration									Germination rate, %	Germination percentage, %	Mean germination time, days
		2	3	5	6	7	8	9	10	15			
185–99–5	2019 / 3	–	–	–	75	–	20	–	–	–	95	95	6.4
185–99–5	2020 / 2	–	15	30	25	10	–	–	5	–	85	85	5.5
185–99–5	2021 / 1	–	35	10	–	–	–	10	10	5	65	70	6.0
Mean	5 years	–									85.0	86.3	6.2
	3 years	–									80.0	80.0	6.3
	2 years	–									92.5	92.5	4.6
	1 year	–									71.0	84.0	6.9

Source: compiled by Y.A. Zubarev, A.V. Gunin, A.V. Vorobjeva.

Данные по высокой всхожести возрастных семян в 2022 г. более противоречивы на фоне относительно низкой их всхожести в 2021 г. Семена 2017 г. сбора (на тот момент четырехлетние) показали среднюю всхожесть 26,3 %, в то время как однолетние и двулетние 97,5 и 72,5 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Посевные качества семян изучаемых сортообразцов облепихи, 2021 г.

Сорт, отборная форма	Годсбора семян / возраст, лет	Количество проросших семян, %, на день учета									Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средневзвешенное время прорастания, дней
		2	3	5	6	7	8	9	10	15			
Афина	2017 / 4	–	–	–	5	–	5	–	–	–	10	10	7,0
Августина	2017 / 4	–	–	–	10	10	20	–	–	–	40	40	7,3
Алтайская	2017 / 4	–	–	–	5	10	5	10	–	10	30	40	9,5
Эссель	2017 / 4	–	–	5	–	5	5	–	–	–	15	15	6,7
Анастасия	2019 / 2	5	10	5	10	15	10	–	10	5	65	70	6,9
Анастасия	2020 / 1	35	60	–	–	–	–	–	–	–	95	95	2,6
185–99–5	2019 / 2	–	–	5	–	25	25	5	15	–	75	75	7,9
185–99–5	2020 / 1	–	20	15	5	5	20	10	–	25	75	100	8,3
Среднее	4 года	–									23,8	26,3	7,6
	2 года	–									70,0	72,5	7,4
	1 год	–									85,0	97,5	5,4

Источник: составлено Ю.А. Зубаревым, А.В. Гуниным, А.В. Воробьевой.

Table 3

Germination features of seabuckthorn seeds, 2021

Cultivar, variety	Year of collection / age	Number of germinated seeds, % day of registration									Germi-nation rate, %	Germi-nation percents, %	Mean germi-nation time, days
		2	3	5	6	7	8	9	10	15			
Afina	2017 / 4	-	-	-	5	-	5	-	-	-	10	10	7.0
Avgustina	2017 / 4	-	-	-	10	10	20	-	-	-	40	40	7.3
Altaiskaya	2017 / 4	-	-	-	5	10	5	10	-	10	30	40	9.5
Essel	2017 / 4	-	-	5	-	5	5	-	-	-	15	15	6.7
Anastasia	2019 / 2	5	10	5	10	15	10	-	10	5	65	70	6.9
Anastasia	2020 / 1	35	60	-	-	-	-	-	-	-	95	95	2.6
185–99–5	2019 / 2	-	-	5	-	25	25	5	15	-	75	75	7.9
185–99–5	2020 / 1	-	20	15	5	5	20	10	-	25	75	100	8.3
Mean	4 years	-									23.8	26.3	7.6
	2 years	-									70.0	72.5	7.4
	1 year	-									85.0	97.5	5.4

Source: compiled by Y.A. Zubarev, A.V. Gunin, A.V. Vorobjeva.

Однолетние семена сорта Анастасия, как и в 2022 г., характеризовались лучшими значениями по средневзвешенному времени прорастания — 2,6 дня при 95% всхожести. Также они отличались самыми дружными ранними всходами, когда на 3-й день возшло более половины семян. Не выявлено существенной разницы в средневзвешенном времени прорастания между двух- и четырехлетними семенами, которое колебалось в диапазоне 7,6...7,4 дня. Однолетние семена демонстрировали более высокие темпы прорастания — 5,4 дня, однако с большим варьированием по сортам — от 2,6 до 8,3 дней.

Заключение

По итогам трех лет лабораторных экспериментов в контролируемых условиях, где влияние внешних факторов можно практически исключить, получены данные по эффективным срокам хранения семян облепихи.

Устойчиво высокий процент всхожести и энергии прорастания во все годы исследований установлен для одно- и двулетних семян. В 2022 и 2023 гг. максимальная всхожесть отмечена на двулетних семенах — 92,5 и 95,0 % соответственно, в 2021 г. — на однолетних — 97,5 %. Трехлетние семена в 2023 г. резко снизили всхожесть до 20 %, в то же время в 2022 г. заметного снижения не установлено. Семена после четырех лет хранения в 2021 и 2023 гг. характеризовались низкой всхожестью — 26,3 и 10 % соответственно. Более возрастные семена в 2023 г. продолжили закономерное снижение всхожести до 3,8 %, а в 2022 г. сохранили свои посевные характеристики — 86,3 %.

Полученные результаты приводят к выводу о стабильно высокой всхожести семян со сроком хранения 1–2 года и потенциально высокой всхожести семян об-

лепихи даже после пяти лет хранения. В то же время мы не рекомендуем хранить семена облепихи более 2 лет, в связи с риском снижения их посевных характеристик.

Список литературы / References

1. Enescu CM. Sea-buckthorn: a species with a variety of uses, especially in land reclamation. *Dendrobiology*. 2014;72:41–46. doi: 10.12657/denbio.072.003
2. Lu S. (ed.) *The Annual Report of International Seabuckthorn Development for the Year of 2019*. 2020. Available from: http://isahome.net/upload/file/20230131/20230131090242_42167.pdf (Accessed 16 March 2023).
3. Yongshan L, Xuelin C, Hong L. Taxonomy of Seabuckthorn (*Hippophae* L.). In: *Seabuckthorn (Hippophae L.): A multipurpose Wonder Plant. Vol. 1: Botany, harvesting and processing technologies*. New Delhi: Indus Publishing Company; 2003. p.35–46.
4. Bartish IV, Jeppson N. Application of molecular markers to study the systematics, phylogeny, biogeography, genetic diversity and population genetics of *Hippophae* L. In: *Seabuckthorn (Hippophae L.): A multipurpose Wonder Plant. Vol. 1: Botany, harvesting and processing technologies*. New Delhi: Indus Publishing Company; 2003. p.64–71.
5. Vashistha RK, Chaturvedi AK, Gairola SG, Nautiyal MC. Seed germination improvement in *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson (Sea Buckthorn) by Gibberellic acid treatment. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 2013;3(3):382–385.
6. Olmez Z. Effects of cold stratification and H₂SO₄ on seed germination of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(22):4586–4590.
7. Olmez Z, Olcum BA. Effects of cold stratification and H₂SO₄ pre-treatments on germination of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seeds under open field and greenhouse conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2017;26(8):5142–5146.
8. Kuliev AS. Laboratory germination and seed vigor of sea-buckthorn. *Vestnik of the Kyrgyz National Agrarian University K.I. Scriabin*. 2015;(2):104–107. (In Russ.). EDN: VDKLSB
Кулиев А.С. Лабораторная всхожесть и энергия прорастания семян облепихи // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2015. № 2 (34). С. 104–107. EDN: VDKLSB
9. Kentbayev EZh, Kentbayeva BA, Abilev NH. Influence of stimulating treatment on the sowing qualities of seabuckthorn seeds. *Gardening, Seed Growing, Introduction of Woody Plants*. 2015;18(18):27–30. (In Russ.). EDN: VDEKDK
Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А., Абилев Н.Х. Влияние стимулирующей обработки на посевные качества семян облепихи крушиновой // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2015. Т. 18. № 18. С. 27–30. EDN: VDEKDK
10. Lee S, Cho W, Chandra R, Han J, Kang H. Effects of plug cell trays, soil and shading rates on seed germination and seedling growth characteristics of *Hippophae rhamnoides* L. *Journal of Forest and Environmental Science*. 2020;36(1):55–61. doi: 10.7747/JFES.2020.36.1.55
11. Li TSC, Wardle DA. Effects of seed treatments and planting depth on emergence of sea buckthorn species. *Hort Technology*. 1999;9(2):213–216. doi: 10.21273/HORTTECH.9.2.213
12. Ahani H, Jalilvand H, Vaezi J, Sadati SE. Investigation of nursery treatments on sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson) seed germination in the field. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 2014;4(6):8–18.
13. Airi S, Bhatt ID, Bhatt A, Rawal RS, Dhar U. Variations in seed germination of *Hippophae salicifolia* with different pre-soaking treatments. *Journal of Forestry Research*. 2009;20(1):27–30. doi: 10.1007/s11676-009-0005-3 EDN: EWJHJW
14. Slonov L, Slonov T, Kozminov S, Paritov A, Goguzokov T. Characteristic of some grades of sea-buckthorn, introduced in Botanical garden of Kabardino-Balkarian State University. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3–2):790–792. (In Russ.). EDN: RVSHTH
Слонов Л.Х., Слонов Т.Л., Козьминов С.Г., Паритов А.Ю., Гозузов Т.Х. Характеристика некоторых сортов облепихи, интродуцированных в ботанический сад кабардино-балкарского государственного университета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3–2. С. 790–792. EDN: RVSHTH
15. Kantsalieva ZL, Egorova EM, Yakushenko OS. Variability of morphological and agrobiological characteristics of fruits in entomophilous and anemophilous berry bushes. *Eurasian Union of Scientists*. 2016;(28–2):101–104. (In Russ.). EDN: XQXEYT

Канцалиева З.Л., Егорова Е.М., Якушенко О.С. Изменчивость морфологических и хозяйственных признаков плодов у энтомофильных и анемофильных ягодных кустарников // Евразийский союз ученых. 2016. № 28–2. С. 101–104. EDN: XQXEYТ

16. Fefelov VA, Eliseev IP. Biology of germination and viability of seabuckthorn seeds of various ecological and geographical origin. In: Elissev IP (ed). *Biologiya, khimiya, introduktsiya i selektsiya oblepikhi* [Biology, chemistry, introduction and selection of seabuckthorn]. Gorky; 1986. p.110–115. (In Russ.).

Фефелов В.А., Елисеев И.П. Биология прорастания и всхожесть семян облепихи крушиновидной различного эколого-географического происхождения // Биология, химия, интродукция и селекция облепихи : сб. научных трудов / отв. ред. И.П. Елисеев. Горький : ГСХИ, 1986. С. 110–115.

17. Korekar G, Dwivedi SK, Singh H, Srivastava RB, Stobdan T. Germination of *Hippophae rhamnoides* L. seed after 10 years of storage at ambient condition in cold arid Trans-Himalayan Ladakh region. *Current Science*. 2013;104(1):110–114.

18. Choi CH. Effect of temperature and various pre-treatments on germination of *Hippophae rhamnoides* seeds. *Korean Journal of Plant Resources*. 2012;25(1):132–141. doi: 10.7732/kjpr.2012.25.1.132

19. Fefelov VA. Indicators of sowing qualities of seabuckthorn seeds. In: Fefelov VA (ed). *Selection, introduction of fruit and berry crops: conference proceedings*. Nizhny Novgorod; 2003. p.93–95. (In Russ.).

Фефелов В.А. О показателях посевных качеств семян облепихи крушиновидной // Селекция, интродукция плодовых и ягодных культур : сб. научных трудов / отв. ред. В.А. Фефелов. Нижний Новгород : Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2003. С. 93–95.

Об авторах:

Зубарев Юрий Анатольевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория селекции плодовых и ягодных культур, Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, Российская Федерация, 656910, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: niilisavenko@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3349-0555 SPIN-код: 9216-7453

Гунин Алексей Васильевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория селекции плодовых и ягодных культур, Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, Российская Федерация, 656910, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: alexeygunin@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-8008-8951 SPIN-код: 3163-5470

Воробьева Анастасия Васильевна — младший научный сотрудник, лаборатория селекции плодовых и ягодных культур, Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, Российская Федерация, 656910, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: nast.nv-2124@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1020-0589 SPIN-код: 8477-7715

About authors:

Zubarev Yuri Anatolyevich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Fruit and Berry Crop Selection, Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul, 656910, Russian Federation, e-mail: niilisavenko@yandex.ru
ORCID 0000-0003-3349-0555 SPIN-code: 9216-7453

Gunin Alexey Vasilievich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Fruit and Berry Crop Selection, Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul, 656910, Russian Federation, e-mail: alexeygunin@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-8008-8951 SPIN-code: 3163-5470







Vorobjeva Anastasia Vasilievna — Junior Researcher, Laboratory of Fruit and Berry Crop Selection, Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul, 656910, Russian Federation, e-mail: nast.nv-2124@yandex.ru
ORCID 0000-0002-1020-0589 SPIN-code: 8477-7715




DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-84-95
EDN FSWTPR
УДК 633.174.1:631.527:631.524.86:664.134

Научная статья / Research article

Оценка сахарного сорго по продуктивности, содержанию, сбору сахаров в соке стебля и выходу биоэтанола

С.С. Куколева  , О.П. Кибальник , Д.С. Семин ,
И.Г. Ефремова , Д.А. Степанченко 

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго
и кукурузы, г. Саратов, Российская Федерация
 lily74-88@mail.ru

Аннотация. Особенность растений сахарного сорго, заключающаяся в накоплении в соке стеблей до 20 % и более водорастворимых сахаров, ставит культуру в число сахароносов для получения сахаристой продукции, сиропов, патоки, биоэтанола, что способствует расширению технологического и экономического потенциала культуры. В течение 2021–2023 гг. проведены сравнительные исследования 28 перспективных линий сахарного сорго в сравнении с сортами-стандартами на опытном поле Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго») в г. Саратов. Агротехника выращивания — зональная, разработанная научными учреждениями Нижнего Поволжья. Закладка делянок и оценка урожайности стеблей образцов сахарного сорго проведена согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Сделан вывод: для формирования рабочей коллекции сахарного сорго следует выбирать образцы с высокими показателями урожайности стеблей и содержания в них водорастворимых сахаров. Наибольшие показатели выявлены у селекционных линий Л-104/14, Л-16, Л-10, Л-6. По результатам исследований в среднем за 2021–2023 гг. наибольший теоретический сбор сахаров установлен у линий: Л-10 — 2,01, Л-16 — 2,31, Л-104/14 — 2,54, Л-6 — 2,63 т/га, что превышает значение показателя более сахаристого стандарта сорта Флагман на 52,3...99,2 %. Расчетный выход спирта с гектара посевов этих линий равен: Л-10 — 1027,1, Л-16 — 1180,4, Л-104/14 — 1297,9, Л-6 — 1343,9 л/га, превышение показателя над стандартом у этих селекционных линий составило 52,3...99,2 %.

Ключевые слова: селекционная линия, содержание водорастворимых сахаров, расчетный выход спирта, выход сока

Вклад авторов. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении исследования и анализе результатов, ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

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

История статьи: поступила в редакцию 21 октября 2024 г., принята к публикации 4 ноября 2025 г.

© Куколева С.С., Кибальник О.П., Семин Д.С., Ефремова И.Г., Степанченко Д.А., 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: Куколева С.С., Кибальник О.П., Семин Д.С., Ефремова И.Г., Степанченко Д.А. Оценка линий сахарного сорго по продуктивности, содержанию, сбору сахаров в соке стебля и выходу биоэтанола // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 84–95. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-84-95 EDN: FSWTPR

Evaluation of sweet sorghum for productivity, sugar content and yield in stem juice, and bioethanol output

Svetlana S. Kukoleva  , Oksana P. Kibalnik , Dmitriy S. Semin ,
Irina G. Efremova , Denis A. Stepanchenko 

Russian Research and Design Institute of sorghum and corn, *Saratov, Russian Federation*
 lily74-88@mail.ru

Abstract. Sweet sorghum plants accumulate up to 20% or more water-soluble sugars in stem sap, making it a potential sugar crop for producing sugar products, syrups, molasses, and bioethanol, thereby expanding its technological and economic potential. During 2021–2023, comparative studies of 28 promising lines and standard cultivars of sweet sorghum were conducted at the experimental field of Russian Research and Design Institute of sorghum and corn in Saratov. The plots were established, and the yield of sweet sorghum accessions was assessed according to the state methodology for variety testing of agricultural crops. It was concluded that accessions with high yield of stems and content of water-soluble sugars should be selected to form a working collection of sweet sorghum. The highest yields were found in the breeding lines L-104/14, L-16, L-10, L-6. According to the research results for 2021–2023, the highest theoretical sugar yield was established in the lines: L-10 — 2.01 t/ga, L-16 — 2.31 t/ga, L-104/14 — 2.54 t/ga, L-6 — 2.63 t/ga, which exceeds the value of Flagman cultivar, a more sugary standard, by 52.3–99.2%. The calculated alcohol yield per hectare of these lines was: L-10 — 1027.1 L/ga, L-16 — 1180.4 L/ga, L-104/14 — 1297.9 L/ga, L-6 — 1343.9 L/ga. These breeding lines exceeded the standard by 52.3 to 99.2%.

Keywords: breeding line, water-soluble sugar content, estimated alcohol yield, juice yield

Authors' contributions. All the authors were involved in designing and conducting the experiments, analyzing the results. All authors read and approved the final manuscript.

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

Article history: received 21 October 2024; accepted 4 November 2025.

For citation: Kukoleva SS, Kibalnik OP, Semin DS, Efremova IG, Stepanchenko DA. Evaluation of sweet sorghum for productivity, sugar content and yield in stem juice, and bioethanol output. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):84–95. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-84-95 EDN: FSWTPR

Введение

Уникальная по засухоустойчивости сельскохозяйственная культура — сахарное сорго — широко известна в мировом растениеводстве и используется в производстве зеленых кормов, сена, силоса, сенажа, фуража, моноорма, брикетов [1, 2]. Сахарное

сорго формирует в богарных условиях урожайность биомассы до 25,0...30,0 т/га, характеризующейся высокой энергетической и питательной ценностью [3].

Высокая сахаристость (17...22 %) стеблей сахарного сорго способствует расширению технологического и экономического потенциала культуры. Содержание сахаров в соке стеблей — важный показатель, позволяющий использовать эту культуру не только для приготовления силоса, но и для получения сиропов и спирта, что актуально, когда разрабатываются безотходные технологии производства и переработки сорго в кормовую патоку с целью получения сиропа для пищевой промышленности на основе создания высокосахаристых и урожайных сортов и гибридов сорго в различных почвенно-климатических зонах [4–8]. Пищевой глюкозо-фруктозный сироп, получаемый из сорго, представляет собой ценный продукт питания, который хорошо усваивается организмом человека. Особенно важным он может быть для людей, страдающих сахарным диабетом, поскольку является оздоровительным продуктом [7]. Сравнивая сорговый сироп с сахаросодержащими продуктами, получаемыми из сахарной свеклы и тростника, можно отметить, что он не уступает им по питательности. Однако, выращивание сорго имеет ряд преимуществ, таких как экономическая эффективность и стабильность в условиях засухи. Это делает сорговый сироп привлекательным вариантом для производства и потребления (рис. 1).



Рис. 1. Сахаросодержащая продукция из сока сахарного сорго — кормовая патока и сорговый сироп

Источник: составлено О.П. Кибальник, Д.С. Семиным.

Fig. 1. Sugar-containing products from sweet sorghum juice — fodder molasses and sorghum syrup

Source: compiled by O.P. Kibalnik, D.S. Semin.

Исследования крымских селекционеров Л.Л. Болдыревой и В.В. Бритвина свидетельствуют о новых перспективных формах использования сорго сахарного для производства сахарного сиропа, за счет которых значительно может уменьшить

дефицит сахара в засушливых регионах РФ [9]. При этом выход спирта зависел от гидротермических условий вегетации сахарного сорго. Согласно литературным данным в опытах отмечена разница выхода биоэтанола по годам, достигающая двукратного изменения показателей [10].

Во многих странах мира сорго выращивается в промышленных масштабах для производства биоэтанола, который смешивается с ископаемым топливом [11, 12]. Агропромышленный комплекс Российской Федерации также развивает производство биоэтанола из сахарного сорго [13–16]. Для эффективного промышленного получения биоэтанола требуются высокоурожайные сорта и гибриды сахарного сорго, характеризующиеся повышенной концентрацией сахаров в стеблевом соке [17]. Следовательно, селекционная работа, направленная на создание новых сортов и гибридов сахарного сорго с заданными агрономическими и биологическими свойствами, приобретает особую актуальность. Данный подход позволит обеспечить сырьем различные отрасли агропромышленного комплекса.

Цель исследований — сравнительная оценка перспективных линий сахарного сорго собственной селекции для выведения наиболее продуктивных образцов с высоким содержанием сахаров в соке стеблей сортов и гибридов, обеспечивающих максимальный выход сахаров и биоэтанола с единицы площади.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили 21 селекционная линия питомника предварительного сортоизучения сахарного сорго и 8 линий питомника конкурсного сортоизучения.

Исследования проводились в течение 2021–2023 гг. на опытном поле института ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Агротехника выращивания — зональная, разработанная научными учреждениями Нижнего Поволжья. Закладка делянок и оценка урожайности образцов сорго проведена согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Посев образцов сахарного сорго проводили во второй декаде мая сеялкой СКС-6–10 (селекционная кассетная сеялка). Площадь делянок в питомниках составила: конкурсного сортоиспытания — 30,8 м², предварительного — 15,4 м². Повторность трехкратная, густота стояния растений скорректирована вручную — 100...150 тыс. раст./га. В качестве стандартов использованы районированные сорта Волжское 51 и Флагман. На опытном поле проведена оценка содержания водорастворимых сахаров в соке стебля экспресс-методом с помощью рефрактометра RL-2. Полевые и лабораторные эксперименты проводили по методике Б.А. Доспехова². Обработка экспериментальных данных выполнена методом дисперсионного анализа с по-

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры // Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 2011. 352 с.

мощью программ Агрос 2.09 и Microsoft Excel. В годы исследований величина гидротермического коэффициента (ГТК) составила: 2021 г. — 0,62; 2022 г. — 0,75; 2023 г. — 0,69.

Результаты исследования и обсуждение

Проведена сравнительная оценка селекционных линий сахарного сорго в питомниках конкурсного (рис. 2) и предварительного сортоизучения (рис. 3) в период 2021–2023 гг. по содержанию суммы водорастворимых сахаров в соке стебля.

Испытанные в течение 2021–2023 гг. линии сахарного сорго питомника конкурсного сортоизучения в среднем показали значительное варьирование содержания сахаров в соке стеблей: от 11,1 % у сорта-стандарта Волжское 51 до 15,7 % у линии Л-44/13. Среди перспективных линий сахарного сорго наибольшей концентрацией в соке стеблей отличились: Л-66/13 — 14,4, Л-52/13 — 15,0, Л-44/13 — 15,7, Л-42 — 15,4, Л-39/12 — 14,0 % сахаров (рис. 2).

В питомнике предварительного сортоизучения в среднем за 2021–2023 гг. содержание водорастворимых сахаров в соке стеблей линий сахарного сорго варьировало в пределах 8,4 (Л-65/17)...17,9 (Л-104/14) %. По величине показателя наибольшее существенное превышение, %, обоих стандартов выявлено у селекционных линий: Л-16 (17,6), Л-104/14 (17,9), Л-6 (16,8), Л-10 (17,1), на уровне стандартов выявлено содержание сахаров в соке стеблей у линий Л-62/17, Л-7, Л-87, Л-3/14, Л-5-1, Л-9/2, Л-28, Л-34, Л-35, Л-187, Л-75, Л-105/14 (12,2...15,2 %). Следует отметить, что высокое количество сахаров ежегодно наблюдалось у Л-104/14 и Л-16.

Изучение широкой вариабельности признаков позволило провести определенную выбраковку образцов и по итогам трехлетних наблюдений сформировать рабочую коллекцию образцов, характеризующихся наибольшими показателями сбора сахаров и выхода спирта с единицы площади, превышающих сорта-стандарты (табл.).

Результаты исследования 28 селекционных линий сахарного сорго показали, что для формирования рабочей коллекции образцов с высокой продуктивностью по сбору сахаров и выходу биоспирта следует выбирать формы с высокой урожайностью стеблей и повышенным содержанием водорастворимых сахаров в соке. Выделены 16 линий сахарного сорго, отличающиеся существенным превышением показателей по сравнению со стандартами. Теоретический сбор сахаров с гектара посевной площади у стандарта Волжское 51 составил 1,22 т/га, а выход биоэтанола — 623,4 л, у стандарта сорта Флагман — 1,32 т/га и 674,5 л соответственно. Селекционные линии рабочей коллекции характеризовались значительным превышением обоих стандартов высоким сбором сахаров и выходом биоспирта.

Результаты наших исследований показали, что в условиях Нижневолжского региона сбор сахаров у образцов рабочей коллекции сахарного сорго варьировал

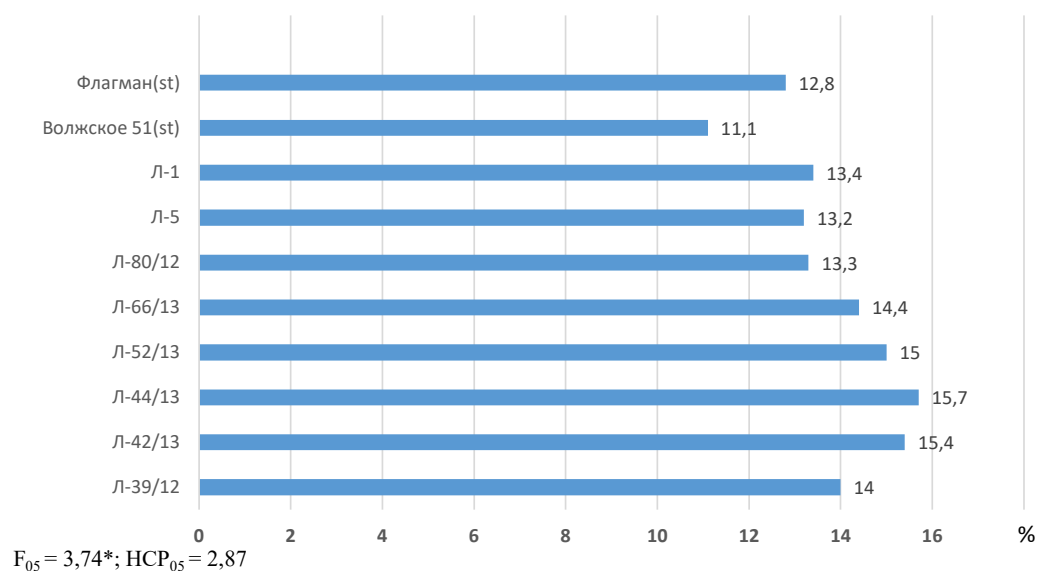


Рис. 2. Общее содержание водорастворимых сахаров в соке стеблей линий сахарного сорго собственной селекции (питомник конкурсного сортоизучения), %, среднее за 2021–2023 гг.

Источник: составлено С.С. Куколевой, И.Г. Ефремовой.

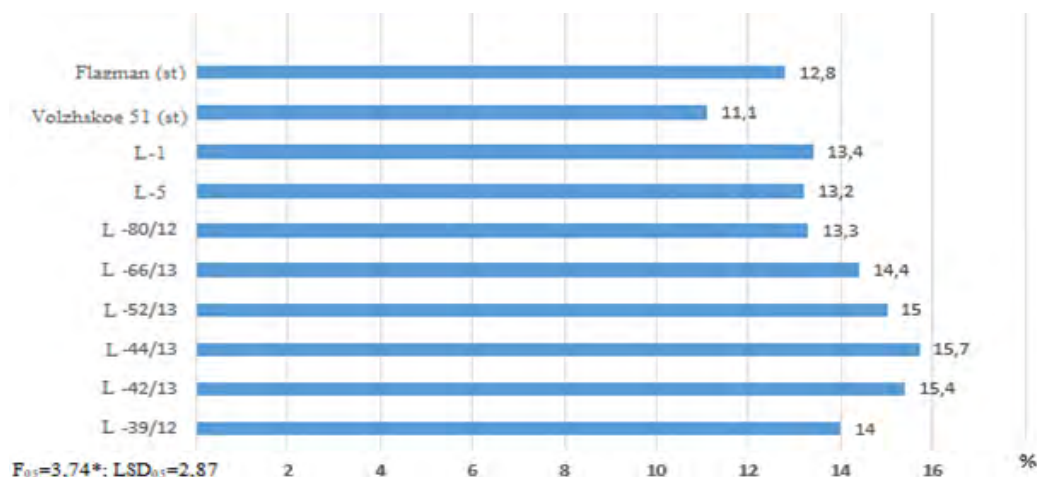


Fig. 2. Total content of water-soluble sugars in stem sap of self-bred sweet sorghum lines (nursery of competitive variety research), %, average for 2021–2023

Source: compiled by S.S. Kukoleva, I.G. Efremova.

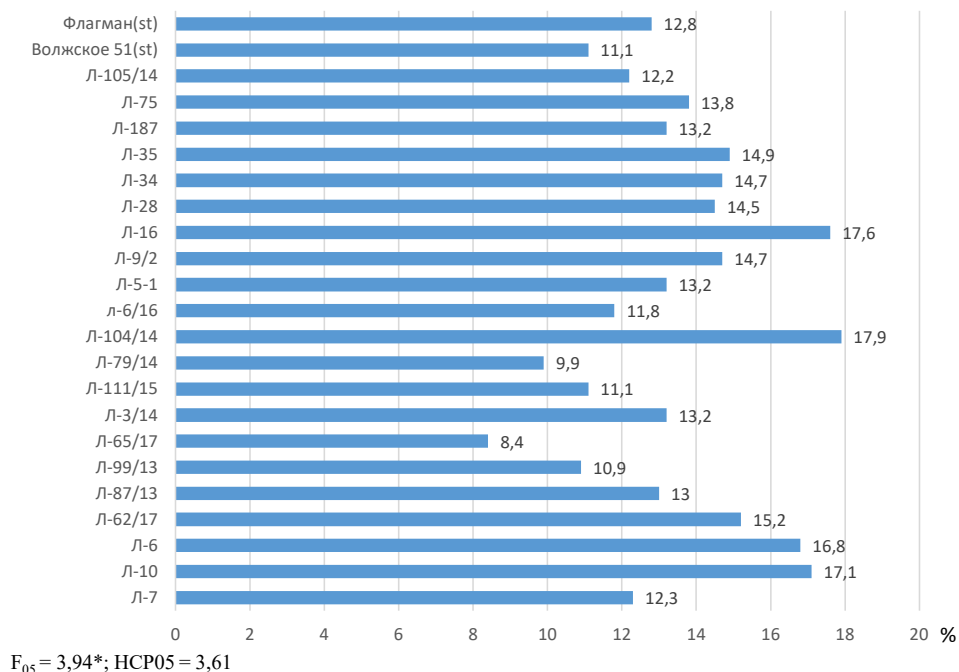


Рис. 3. Общее содержание водорастворимых сахаров в соке стеблей сортов-стандартов и линий сахарного сорго собственной селекции (питомник предварительного сортоизучения), %, среднее за 2021–2023 гг.

Источник: составлено С.С. Куколевой, Д.А. Степанченко.

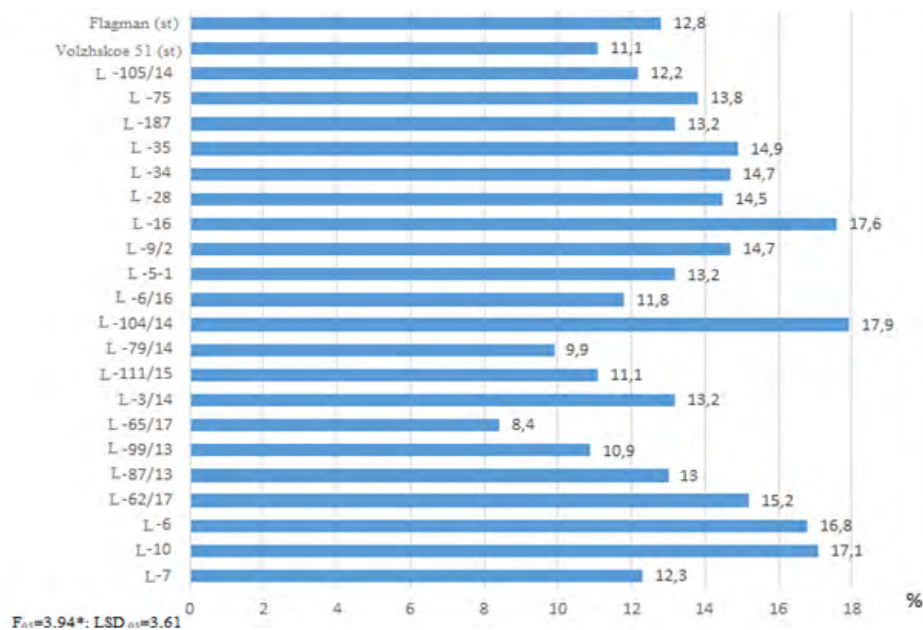


Fig. 3. Total content of water-soluble sugars in stem sap of standard varieties and lines of self-bred sweet sorghum (preliminary variety testing nursery), %, average for 2021–2023

Source: compiled by S.S. Kukoleva, D.A. Stepanchenko.

Теоретический сбор сахаров и выход биоэтанола с единицы площади посевов наиболее продуктивных образцов сахарного сорго, 2021–2023 гг.

Сорт, линия	Урожайность стеблей, т/га	Выход сока, т/га	Содержание сахаров в соке стебля, %	Теоретический сбор сахаров, т/га	Расчетный выход спирта, л/га
Волжское 51 (st)	16,37	10,97	11,1	1,22	623,4
Флагман (st)	15,87	10,32	12,8	1,32	674,5
Л-39/12	19,27	12,72	14,0	1,78	909,6
Л-42/13	18,08	11,75	15,4	1,81	924,9
Л-44/13	16,17	11,00	15,7	1,73	884,0
Л-52/13	18,14	12,34	15,0	1,85	945,4
Л-80/12	20,17	13,92	13,3	1,85	945,4
Л-104/14	20,55	14,18	17,9	2,54	1297,9
Л-62/17	16,13	11,29	15,2	1,72	878,9
Л-187	18,43	12,72	13,2	1,68	858,5
Л-5–1	15,78	11,05	13,2	1,46	746,1
Л-35	17,55	12,11	14,9	1,80	919,8
Л-75	16,32	11,42	13,8	1,88	960,7
Л-87/13	19,17	13,23	13,0	1,72	878,9
Л-9/2	18,35	13,03	14,7	1,92	981,1
Л-16	19,34	13,15	17,6	2,31	1180,4
Л-10	16,54	11,74	17,1	2,01	1027,1
Л-6	22,35	15,65	16,8	2,63	1343,9
НСР ₀₅	2,09	1,43	1,33	0,21	101,4

Источник: составлено О.П. Кибальник, И.Г. Ефремовой, Д.С. Семиным.

Theoretical sugar harvest and bioethanol yield per area unit from most productive sugar sorghum genotypes, 2021–2023

Cultivar, line	Stem yield, t/ha	Juice yield, t/ha	Sugar content in stem juice, %	Theoretical sugar yield, t/ha	Calculated alcohol yield, L/ha
Volzhskoe 51 (st)	16.37	10.97	11.1	1.22	623.4
Flagman (st)	15.87	10.32	12.8	1.32	674.5
L-39/12	19.27	12.72	14.0	1.78	909.6
L-42/13	18.08	11.75	15.4	1.81	924.9
L-44/13	16.17	11.00	15.7	1.73	884.0
L-52/13	18.14	12.34	15.0	1.85	945.4
L-80/12	20.17	13.92	13.3	1.85	945.4
L-104/14	20.55	14.18	17.9	2.54	1297.9
L-62/17	16.13	11.29	15.2	1.72	878.9
L-187	18.43	12.72	13.2	1.68	858.5

Ending table

Cultivar, line	Stem yield, t/ha	Juice yield, t/ha	Sugar content in stem juice, %	Theoretical sugar yield, t/ha	Calculated alcohol yield, L/ha
L-5-1	15.78	11.05	13.2	1.46	746.1
L-35	17.55	12.11	14.9	1.80	919.8
L-75	16.32	11.42	13.8	1.88	960.7
L-87/13	19.17	13.23	13.0	1.72	878.9
L-9/2	18.35	13.03	14.7	1.92	981.1
L-16	19.34	13.15	17.6	2.31	1180.4
L-10	16.54	11.74	17.1	2.01	1027.1
L-6	22.35	15.65	16.8	2.63	1343.9
LSD ₀₅	2.09	1.43	1.33	0.21	101.4

Source: compiled by O.P. Kibalnik, I.G. Efremova, D.S. Semin.

в пределах 1,46 (Л-5-1)...2,63 т/га (Л-6). Максимальный теоретический сбор сахаров составил 2,01...2,63 т/га у линий Л-10, Л-16, Л-104/14 и Л-6.

По расчетному выходу биоспирта колебания показателя составили: 746,1 (линия Л-5-1)...1343,9 л/га (линия Л-6). В среднем за 2021–2023 гг. наибольших показателей расчетного выхода спирта удалось достичь при возделывании селекционных линий Л-104/14 — 1297,9, Л-16 — 1180,4, Л-10 — 1027,1, Л-6 — 1343,9 л/га.

Заключение

Для формирования рабочей коллекции сахарного сорго с высоким расчетным выходом сахаров в соке стеблей и спирта с единицы площади посевов следует выбирать образцы с высокой урожайностью стеблей и высоким содержанием водорастворимых сахаров в соке стеблей. В наших исследованиях наибольшая величина сбора сахаров в условиях вегетации 2021–2023 гг. установлена у линий сахарного сорго Л-10, Л-16, Л-104/14 и Л-6 (2,01...2,63 т/га), которые отличились также высоким выходом биоспирта с гектара посевной площади — 1027,1...1343,9 л/га.

Список литературы

1. Метлина Г.В., Горпиниченко С.И., Ковтунова Н.А., Васильченко С.А. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114. С. 288–297. EDN: VHFМКТ
2. Ковтунова Н.А., Ермолина Г.М., Горпиниченко С.И., Романюкин А.Е. Кормовая ценность сахарного сорго // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3 (58). С. 21–25. EDN: YOQWWV
3. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго сахарного в качестве источника питательных веществ для человека (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3 (63). С. 3–9. doi: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9 EDN: XWDXPX
4. Болдырева Л.Л., Юдина В.Н. Перспективы селекции сорго сахарного в условиях Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2017. № 11 (174). С. 5–11. EDN: YOPBGC

5. Володин А.Б., Капустин С.И., Саварцов М.А. Новые нетрадиционные источники сырья для производства пищевого и кормового сахара // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 305–308. EDN: WEBJJJ
6. Романюкин А.Е., Ковтунова Н.А. Изучение перспективных сортов сорго сахарного // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 7 (236). С. 22–31. doi: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-22-31 EDN: MYKRTW
7. Каменева О.Б., Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Семин Д.С., Калинин Ю.А. Сахарное сорго как сахаронос и альтернативный источник биоэнергии (обзор) // АгроЭкоИнфо. 2021. № 6 (48). С. 32. doi: <https://doi.org/10.51419/20216602> EDN: YHGASK
8. Ефремова Е.Н., Петров Н.Ю. Технология переработки сахарного сорго // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 4 (28). С. 66–69. EDN: PLVUHZ
9. Болдырева Л.Л., Бритвин В.В. Создание новых форм сорго сахарного для производства сахарного сиропа // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2015. № 1 (164). С. 56–62. EDN: WFDUDV
10. Teetor V.H., Duclos D.V., Wittenberg E.T., Young K.M., Chawhuaymak J., Riley M.R., Ray D.T. Effect of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona // *Industrial Crops and Products*. 2011. Vol. 34. № 2. P. 1293–1300. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.010>
11. Koradiya M., Duggirala S., Tipre D., Dave S. Pretreatment optimization of Sorghum pioneer biomass for bioethanol production and its scale-up // *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 199. P. 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.156>
12. Mathur S., Umakanth A.V., Tonapi V.A., Sharma R., Sharma M.K. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources // *Biotechnology for biofuels*. 2017. Vol. 10. P. 146. doi: 10.1186/s13068-017-0834-9 EDN: YGCLDU
13. Горпиниченко С.И., Ковтунов В.В. Перспективы производства биоэтанола из сорго // *Зерновое хозяйство России*. 2009. № 4. С. 26–34. EDN: MULSVR
14. Бритвин В.В., Болдырева Л.Л. Сорго как сырье для производства биоэтанола // *Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет»*. Серия: Сельскохозяйственные науки. 2013. № 154. С. 69–72. EDN: SCALYJ
15. Худашова А.И. Производство биоэтанола из сахарного сорго для агропромышленного комплекса России // *Наука без границ*. 2017. № 1 (6). С. 40–43. EDN: XRHOET
16. Аскарбеков Э.Б., Байгазиева Г.И., Мамаева Л.А. Разработка технологии спирта из сахарного сорго отечественной селекции // *Новости науки в АПК*. 2018. № 2–1 (11). С. 32–35. doi: 10.25930/qdm-vf12 EDN: MDHTBC
17. Римарева Л.В., Сербя Е.М., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И., Павлова А.А., Огоржельская Н.С. Комплексное использование сока стеблей сахарного сорго для получения этанола и кормовой белково-аминокислотной добавки // *Пищевая промышленность*. 2021. № 5. С. 56–61. doi: 10.52653/PP1.2021.5.5.013 EDN: VNYNQT

References

1. Metlina GV, Gorpichenko SI, Kovtunova NA, Vasilchenko SA. Agro-energy efficiency of cultivation of new varieties and hybrids of sweet sorghum. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2015;(114):288–297. (In Russ.). EDN: VHFMTT
2. Kovtunova NA, Ermolina GM, Gorpichenko SI, Romanyukin AE. Fodder value of sweet sorghum. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(3):21–25. (In Russ.). EDN: YOQWVW
3. Kovtunova NA, Kovtunov VV. The use of sweet sorghum as a source of nutritious substances for humans (literature review). *Grain Economy of Russia*. 2019;(3):3–9. (In Russ.). doi: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9 EDN XWDXPX
4. Boldyreva LL, Yudina VN. Selection perspectives of sweet sorghum in the conditions of Crimea. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2017;(11):5–11. (In Russ.). EDN: YOPBGC
5. Volodin AB, Kapustin SI, Savartsov MA. New non-traditional sources of raw materials for the production of food and feed sugar. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya*. 2016;(12):305–308. (In Russ.). EDN: WEBJJJ
6. Romanyukin AE, Kovtunova NA. Study of the promising sweet sorghum varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;23(7):22–31. (In Russ.). doi: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-22-31 EDN: MYKRTW

7. Kameneva OB, Kibalnik OP, Efremova IG, Semin DS, Kalinin YA. Sugar sorghum as a sugar-bearing and alternative source of bioenergy (review). *AgroEcoInfo*. (In Russ.). 2021;(6):32. doi: 10.51419/20216602 EDN: YHGASK
8. Efremova EN, Petrov NY. Technology of processing sugar sorghum. *Proceedings of Lower Volga Agro-university Complex: Science and Higher Education*. 2012;(4):66–69. (In Russ.). EDN: PLVUHZ
9. Boldyreva LL, Britvin VV. Creation of new forms of sweet sorghum for a production of sugar syrup. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2015;(1):56–62. (In Russ.). EDN: WFDUDV
10. Teetor VH, Duclos DV, Wittenberg ET, Young KM, Chawhuaymak J, Riley MR, et al. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Industrial Crops and Products*. 2011;34(2):1293–1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010
11. Koradiya M, Duggirala S, Tipre D, Dave S. Pretreatment optimization of Sorghum pioneer biomass for bioethanol production and its scale-up. *Bioresource Technology*. 2016;199:142–147. doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.156
12. Mathur S, Umakanth AV, Tonapi VA, Sharma R, Sharma MK. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. *Biotechnology for Biofuels*. 2017;10(1):146. doi: 10.1186/s13068-017-0834-9 EDN: YGCLDU
13. Gorpichenko SI, Kovtunov VV. Prospects of bioethanol production from sorghum. *Grain Economy of Russia*. 2009;(4):26–34. (In Russ.). EDN: MULSVR
14. Britvin VV, Boldyreva LL. Sorghum as raw material for the production of bioethanol. *Nauchnye trudy Yuzhnogo filiala Natsional'nogo universiteta bioresursov i prirodopol'zovaniya Ukrainy «Krymskii agrotekhnologicheskii universitet»*. Seriya: Sel'skokhozyaistvennyye nauki. 2013;(154):69–72. (In Russ.). EDN: SCALYJ
15. Khudashova AI. To the question of production of bioethanol from *Sorghum saccharatum* as an alternative energy source. *Nauka bez granits*. 2017;(1):40–43. (In Russ.). EDN: XRHOET
16. Askarbekov EB, Baigazieva GI, Mamaeva LA. Development of alcohol technology from sugar sorghum of domestic breeding. *Novosti nauki v APK*. 2018;(2–1):32–35. (In Russ.). doi: 10.25930/qdm-vf12 EDN: MDHTBC
17. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Ignatova NI, Pavlova AA, Ogorzhelskaya NS. Complex use of sugar sorghum stem juice to produce ethanol and feed protein-amino acid additives. *Food Industry*. 2021;(5):56–61. (In Russ.). doi: 10.52653/PPI.2021.5.5.013 EDN: VNYNQT

Об авторах:

Куколева Светлана Сергеевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4; e-mail: lily74-88@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0582-9024 SPIN-код: 4594-6809

Кибальник Оксана Павловна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4; e-mail: kibalnik79@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1808-8974 SPIN-код: 9632-2976

Семин Дмитрий Сергеевич — кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4; e-mail: sds-balashov@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-0442-6933 SPIN-код: 4269-0736

Ефремова Ирина Григорьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4; e-mail: efremovairina1946irina@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-7188-9332 SPIN-код: 3195-5883

Степанченко Денис Александрович — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела семеноводства в управлении научно-технологического обеспечения, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4; e-mail: 0709-Den@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8263-188X SPIN-код: 6697-8173

About the authors:

Kukoleva Svetlana Sergeevna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research and Design Institute of Sorghum and Corn, 4 1st Institututsky passage, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: lily74-88@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0582-9024 SPIN-code: 4594-6809

Kibalnik Oksana Pavlovna — Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research and Design Institute of Sorghum and Corn, 4 1st Institututsky passage, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: kibalnik79@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1808-8974 SPIN-code: 9632-2976

Semin Dmitry Sergeevich — Candidate of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research and Design Institute of Sorghum and Corn, 4 1st Institututsky passage, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: sds-balashov@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-0442-6933 SPIN-code: 4269-0736

Efremova Irina Grigoryevna — Candidate of Agricultural Sciences, Leader Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research and Design Institute of Sorghum and Corn, 4 1st Institututsky passage, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: efremovairina1946irina@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-7188-9332 SPIN-code: 3195-5883

Stepanchenko Denis Aleksandrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Seed Production Department in the Scientific and Technological Support Department, Russian Research and Design Institute of Sorghum and Corn, 4 1st Institututsky passage, Saratov, 410050, Russian Federation; e-mail: 0709-Den@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8263-188X SPIN-code: 6697-8173



Защита растений Plant protection





DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-96-107

EDN FTHYNE

УДК 632.4:634.75:632.937


Научная статья / Research article

Перспективы применения штаммов-антагонистов для подавления возбудителя антракноза земляники

Ю.В. Цветкова^{1,2}, А.В. Смирнова¹  , А.А. Петрухина¹ ,
Д.А. Доморацкая¹, А.Б. Яремко¹ 

¹Всероссийский центр карантина растений, пгт. Быково, Российская Федерация

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

 anna.smirnova2328@yandex.ru

Аннотация. Антракноз земляники, вызываемый грибами комплекса *Colletotrichum acutatum*, — одна из наиболее агрессивных болезней этой культуры во всем мире. В условиях интенсификации производства и растущего спроса на свежие ягоды особую актуальность приобретает разработка методов защиты, обеспечивающих получение качественной и экологически безопасной продукции с сохранением высокой рентабельности. Биопрепараты являются перспективным решением для земляники, учитывая ее короткий вегетационный период до плодоношения и потребление ягод преимущественно в свежем виде. Цель исследования — получить штаммы бактерий, которые являются потенциальными биоагентами в борьбе с возбудителями антракноза земляники рода *Colletotrichum*. Виды комплекса *C. acutatum* выделили из посадочного материала классическими биологическими методами. Бактерии — потенциальные антагонисты — получены из коллекции Всероссийского центра карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»). Идентификация патогенов проводилась культурально-морфологическим методом с определением нуклеотидных последовательностей по Сенгеру. Антагонистическую активность оценивали методом встречных культур, а биохимическую характеристику бактерий — с помощью тест-системы API 20 E (bioMérieux, Франция). Наибольшую активность показали изоляты: 0075-*Alcaligenes faecalis*, 0076-*Bacillus subtilis*, 0084-*Ochrobactrum* sp., 0089-*Bacillus subtilis*, 0552-*Bacillus australimaris* / *Bacillus safensis*, 0585-*Bacillus tequilensis* / *Bacillus subtilis*, 0739-*Bacillus velezensis*. Анализ литературных данных указывает на отсутствие фитотоксичности у отобранных штаммов. Биохимическое тестирование

© Цветкова Ю.В., Смирнова А.В., Петрухина А.А., Доморацкая Д.А., Яремко А.Б., 2026



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

выявило отсутствие у них пути синтеза индол-3-уксусной кислоты из триптофана, характерного для патогенов, а также продемонстрировало высокую адаптивность за счет способности утилизировать широкий спектр субстратов. Полученные данные свидетельствуют о наличии у изолятов свойства, способствующих росту растений и повышению их стрессоустойчивости. Высокая антагонистическая активность, потенциальное отсутствие фитотоксичности, адаптивность и ростстимулирующий потенциал позволяют рассматривать эти штаммы как перспективную основу для разработки биопрепарата против антракноза земляники.

Ключевые слова: фитопатогены, биологическая защита растений, биопрепараты, биофунгициды, земляника садовая, *Colletotrichum*

Вклад авторов: Ю.В. Цветкова — концепция и дизайн исследования, проведение опытов, анализ данных, редактирование статьи; А.В. Смирнова — концепция, анализ полученных данных, написание статьи; А.А. Петрухина — проведение опытов и фиксация результатов; Д.А. Доморацкая, А.Б. Яремко — проведение опытов и описание полученных результатов. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер 225013004755-0.

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

История статьи: поступила в редакцию 7 октября 2025 г., принята к публикации 21 ноября 2025 г.


Для цитирования: Цветкова Ю.В., Смирнова А.В., Петрухина А.А., Доморацкая Д.А., Яремко А.Б. Перспективы применения штаммов-антагонистов для подавления возбудителя антракноза земляники // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 96–107. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-96-107 EDN: FTHYNE

Prospects of using antagonist strains for suppression of strawberry anthracnose pathogen

Yulia V. Tsvetkova^{1, 2}, Anna V. Smirnova¹  , Anastasia A. Petrukhina¹ ,
Dana A. Domoratskaya¹, Anastasia B. Yaremko¹ 

¹All-Russian Plant Quarantine Center, Bykovo, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

 anna.smirnova2328@yandex.ru

Abstract. Strawberry anthracnose, caused by fungi of the *Colletotrichum acutatum* species complex, is one of the most aggressive diseases affecting this crop worldwide. With the intensification of production and growing demand for fresh berries, the development of control methods that ensure high quality and environmentally safe production while maintaining cost-effectiveness is becoming increasingly urgent. Bioagents represent a promising solution for strawberries, given their short vegetative period until fruit bearing and the fact that berries are primarily consumed fresh. The aim of this study was to identify bacterial strains as potential biocontrol agents against anthracnose pathogens. Fungi of the *C. acutatum* complex were isolated from planting material using a moist chamber technique and plating on nutrient medium. Bacterial potential antagonists were obtained from the collection of All-Russian Plant Quarantine Center. Pathogen identification was carried out using cultural and morphological methods, with confirmation by Sanger sequencing. Antagonistic activity was assessed using the dual-culture method, and the biochemical profile of the bacteria was determined using the API 20 E test system (bioMérieux, France). The most active isolates were: 0739-*Bacillus velezensis*, 0084-*Bacillus halotolerans/mojavensis*, 0075-*Bacillus stercoris/subtilis*, 0585-*Bacillus subtilis*, 0089-*Bacillus subtilis/Azohydromonas sediminis*, 0076-*Azohydromonas sediminis/Bacillus subtilis*, and 0552-*Bacillus pumilus*. Analysis of literature

data indicates the absence of phytotoxicity in the selected strains. Biochemical testing revealed the absence of tryptophan-dependent indole-3-acetic acid synthesis pathway, which is characteristic of pathogens, and demonstrated high adaptability through the ability to utilize a wide range of substrates. The obtained data suggest that the isolates possess plant growth-promoting and stress tolerance-enhancing properties. High antagonistic activity, potential absence of phytotoxicity, adaptability, and growth-stimulating potential make these strains a promising basis for developing a biocontrol agent against strawberry anthracnose.

Keywords: phytopathogens, biological plant protection, bioagents, biofungicides, garden strawberry, *Fragaria ananassa*, anthracnose, *Colletotrichum*

Author contributions: Tsvetkova Y.V. — study concept and design, experimental work, data analysis, and manuscript editing; Smirnova A.V. — study concept, data analysis, manuscript writing; Petrukhina A.A. — experimental work and data collection; Domoratskaya D.A. and Yaremko A.B. — experimental work and results analysis. All authors read and approved the final manuscript.

Funding. This work was supported by a state assignment (no. 225013004755–0).

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

Article history: received 7 October 2025; accepted 21 November 2025.

For citation: Tsvetkova YV, Smirnova AV, Petrukhina AA, Domoratskaya DA, Yaremko AB. Prospects of using antagonist strains for suppression of strawberry anthracnose pathogen. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):96–107. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-96-107 EDN: FTHYNE

Введение

Антракноз земляники, вызываемый грибами комплекса *Colletotrichum acutatum*, представляет собой одну из наиболее агрессивных болезней культуры во всем мире. Патоген поражает все части растения, приводя к появлению некрозов, язв, пятен на вегетативных частях, а также к загниванию и мумификации ягод, что делает продукцию непригодной для реализации и потребления.

Основные методы борьбы с антракнозом — это выведение новых сортов земляники садовой и применение фунгицидов. Сорты, широко представленные в ассортименте, не устойчивы к возбудителям антракноза.

Применение химических средств на землянике садовой имеет свои ограничения: короткий вегетационный период, использование ягод в свежем виде, развитие резистентности патогенов.

При интенсификации производства и увеличении потребности населения в свежих ягодах¹ все более актуальными становятся разработка и внедрение альтернативных подходов в защите растений. Биопрепараты позволяют не только подавлять развитие фитопатогенов, но, как правило, опосредованно влиять на устойчивость растений, через индукцию системной резистентности. Несмотря на распространенность антракноза земляники, на рынке пестицидов и биофунгицидов отсутствуют специализированные препараты².

¹ FAO // Food and Agriculture Organization of the United Nations. Режим доступа: <https://www.fao.org/home/en> (дата обращения: 12.11.2025).

² Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации и дополнения к нему // Министерство сельского хозяйства РФ. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/> (дата обращения: 12.11.2025).

Цель исследования — получить штаммы бактерий, которые являются потенциальными биоагентами в борьбе с возбудителями антракноза земляники рода *Colletotrichum*.

Материалы и методы исследования

Возбудителя антракноза выявили в посадочном материале земляники. Выделение проводили в соответствии со стандартной методикой работы с грибными патогенами: закладка образцов растений во влажную камеру и на питательную среду (картофельно-глюкозный агар 2%). Бактериальные штаммы получены из коллекции Всероссийского центра карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»).

Видовую принадлежность патогена подтверждали культурально-морфологическим и молекулярным методами. Для определения нуклеотидных последовательностей методом Сэнгера использовали базовый участок внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS1–5,8S-ITS2) с праймерами ITS4/ITS5 и участок гена глицеральдег-3-фосфатдегидрогеназы (GAPDH) праймерами GDF/GDR, маркерный для данного комплекса видов локус.

Для идентификации бактерий колонии отбирали с питательной среды R2A, а затем выделяли ДНК. Далее проводили секвенирование по Сэнгеру с праймерами 27F/907R на участок гена 16S рРНК.

Результаты секвенирования обрабатывали с помощью программы BioEdit³. Расшифрованные нуклеотидные последовательности сравнивали с помощью сервиса BLAST с последовательностями, размещенными в базе данных NCBI GenBank⁴. Результатом идентификации считали организм с максимальным сходством (Max score), автоматически вычисленным сервисом BLAST на основании расчета показателей Query coverage и Percent identity [1].

Антагонистическую активность определяли методом встречных культур на пептонно-дрожжевом глюкозном агаре (YPGA). Мицелиальную высечку патогена помещали в центр чашки, бактерии высевали параллельными штрихами на расстоянии 2,5 см от центра. Чашки инкубировали при 25 ± 1 °C в течение 14 суток. Измерение радиуса роста мицелия проводили на 5-, 7- и 14-е сутки. Повторность опыта трехкратная. Для оценки результатов рассчитывали показатель ингибирования мицелиального роста гриба бактерией по формуле

$$P = (K - A) / K \times 100 \%,$$

где P — показатель ингибирования (ПИ), %; K — рост гриба в контроле, мм; A — рост гриба в опыте, мм.

Биохимические свойства изучали с помощью тест-системы API 20 E (bioMérieux, Франция), оценивая ферментативную активность по 20 субстратам, включая ферментацию углеводов, декарбоксилирование аминокислот, продукцию сероводорода, индола и ацетоина, активность уреазы и желатиназы.

Экспериментальные данные обрабатывали в RStudio (v4.3.1).

³ BioEdit. Режим доступа: <https://bioedit.software.informer.com/>

⁴ NCBI GenBank. Режим доступа: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>

Результаты исследования и обсуждение

Морфологический и генетический анализ подтвердил принадлежность изолята к виду *C. nymphaeae* (комплекс *C. acutatum*) — основному и наиболее агрессивному возбудителю болезней садовой земляники. Выравнивание по участку GAPDH показало 100%-ю идентичность с эталонным штаммом (GenBankID = JQ948527.1) (типовой образец) *C. nymphaeae*.

Для оценки антагонистической активности протестировали 43 бактериальных изолята из коллекции ФГБУ «ВНИИКР» (табл. 1). В ходе опыта 22 изолята бактерий значимо подавляли рост мицелия *C. Nymphaeae*, из них 7 изолятов имели показатель ингибирования больше или равный 60 %. Получены результаты — показатель ингибирования роста мицелия патогена изучаемыми штаммами бактерий и показатель p-value, отображающий достоверность различий в росте мицелия патогена в контроле и опыте. Значительная вариабельность антагонистической активности среди штаммов обусловлена их таксономическим разнообразием. Изоляты с уровнем ингибирования больше или равным 60 % выделены зеленым цветом.

Таблица 1 / Table 1

Влияние исследуемых изолятов на рост *C. Nymphaeae* / Effect of the studied bacterial isolates on the growth of *C. nymphaeae*

№ п/п / No.	№ изолята / Isolate No.	Видовая принадлежность / Species	Показатель ингибирования, % / Inhibition index, %	p-value
1.	0070	<i>Pseudomonas bohemica</i>	36,53	0,1644
2.	0071	<i>Priestia aryabhattai</i>	25,17	0,3684
3.	0073	<i>Priestia aryabhattai</i>	53,86	0,0402
4.	0074	<i>Pantoea agglomerans</i>	30,48	0,2586
5.	0075	<i>Alcaligenes faecalis</i>	67,89	0,0073
6.	0076	<i>Bacillus subtilis</i>	62,60	0,0090
7.	0077	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	19,47	0,4824
8.	0078	<i>Azohydromonas sediminis/ Bacillus subtilis/ Bacillus stercoris</i>	57,74	0,0204
9.	0080	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	48,23	0,0861
10.	0081	<i>Priestia aryabhattai</i>	40,26	0,0371
11.	0082	<i>Priestia aryabhattai</i>	52,85	0,0530
12.	0084	<i>Ochrobactrum</i> sp	73,39	0,0057
13.	0085	<i>Priestia aryabhattai</i>	33,99	0,1956
14.	0086	<i>Priestia aryabhattai</i>	42,95	0,0261
15.	0087	<i>Priestia aryabhattai/ Priestia megaterium</i>	32,60	0,2287
16.	0089	<i>Bacillus subtilis</i>	66,34	0,0060
17.	0359	<i>Pseudomonas azotoformans</i>	55,28	0,0082
18.	0469	<i>Achromobacter</i> sp.	45,11	0,0265
19.	0483	<i>Priestia aryabhattai</i>	49,32	0,0112
20.	0484	<i>Priestia aryabhattai</i>	58,19	0,0086

Окончание табл. 1

№ п/п / No.	№ изолята / Isolate No.	Видовая принадлежность / Species	Показатель ингибирования, % / Inhibition index, %	p-value
21.	0485	<i>Priestia aryabhattai</i> / <i>Priestia megaterium</i>	19,25	0,4904
22.	0486	<i>Chryseobacterium soldanellicola</i>	21,19	0,4603
23.	0488	<i>Pantoea agglomerans</i>	51,26	0,0114
24.	0489	<i>Microbacterium paraoxydans</i>	21,80	0,3840
25.	0537	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	50,46	0,0131
26.	0541	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	43,39	0,0346
27.	0548	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	53,40	0,0108
28.	0552	<i>Bacillus australimaris</i> / <i>Bacillus safensis</i>	60,95	0,0094
29.	0579	<i>Priestia aryabhattai</i>	25,67	0,0541
30.	0582	<i>Ralstonia insidiosa</i>	30,49	0,1340
31.	0583	<i>Ralstonia insidiosa</i>	28,72	0,0632
32.	0584	<i>Priestia aryabhattai</i>	41,62	0,1125
33.	0585	<i>Bacillus tequilensis</i> / <i>Bacillus subtilis</i>	67,36	0,0091
34.	0587	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> / <i>Bacillus velezensis</i>	51,91	0,0543
35.	0590	<i>Moraxella tetraodonis</i>	22,33	0,4437
36.	0591	<i>Ralstonia insidiosa</i>	18,98	0,5931
37.	0592	<i>Bacillus siamensis</i> / <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> / <i>Bacillus velezensis</i>	49,68	0,0748
38.	0593	<i>Rurimicrobium arvi</i> / <i>Rhodococcus cercidiphylli</i> / <i>Staphylococcus hominis</i>	25,80	0,3558
39.	0699	<i>Bacillus pumilus</i>	48,23	0,0153
40.	0701	<i>Achromobacter</i> sp.	45,77	0,0235
41.	0708	<i>Bacillus pumilus</i>	57,52	0,0076
42.	0739	<i>Bacillus velezensis</i>	86,82	0,0066
43.	0756	<i>Pseudomonas putida</i>	45,44	0,0239

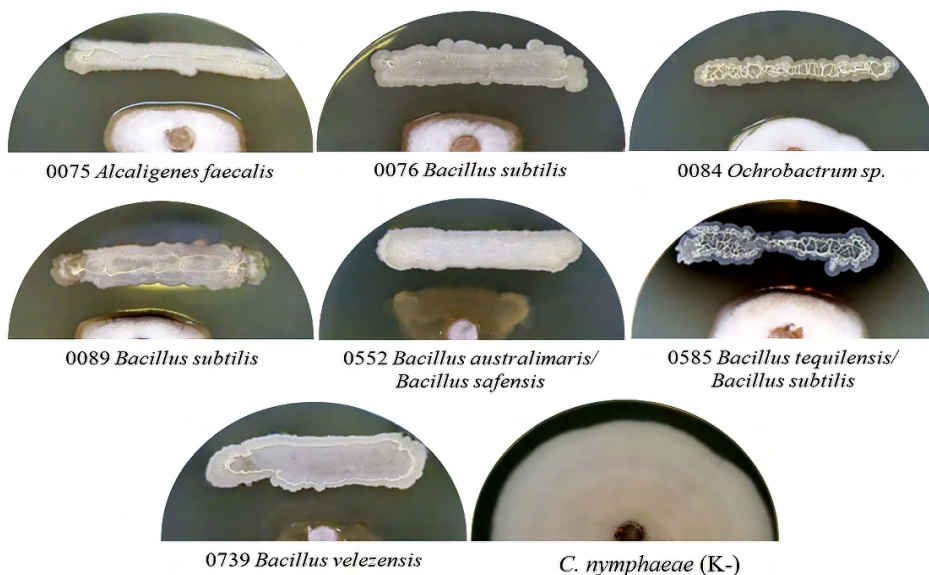
Примечание. Зеленым цветом выделен показатель ингибирования больше или равный 60 %, желтым цветом – значение p-value < 0,05, что указывает на достоверность различий в росте мицелия в контроле и в опыте. Подсчет проводился по тесту Краскела – Уоллиса с пост-хок тестом Данна с поправкой Бенджамини – Хохберга.

Источник: составлено А.В. Смирновой, Ю.В. Цветковой.

Note. Inhibition values greater than or equal to 60% are highlighted in green, while p-values < 0.05 are highlighted in yellow, indicating significant differences in mycelial growth between the control and experimental samples. Calculations were performed using the Kruskal-Wallis test with Dunn's post-hoc test and the Benjamini – Hochberg correction.

Source: compiled by A.V. Smirnova, Y.V. Tsvetkova.

На 7 сутки наибольшую антагонистическую активность в отношении *S. nyrphaeae* (ПИ > 60 %) показали следующие 7 изолятов (в скобках приведен показатель ингибирования): 0075 — *Alcaligenes faecalis* (67,89 %), 0076 — *Bacillus subtilis* (62,60 %), 0084 — *Ochrobactrum* sp. (73,39 %), 0089 — *Bacillus subtilis* (66,34 %), 0552 — *Bacillus australimaris*/ *Bacillus safensis* (60,95 %), 0585 — *Bacillus tequilensis* / *Bacillus subtilis* (67,36 %), 0739 — *Bacillus velezensis* (86,82 %) (рис.).



Скрининг бактериальных изолятов в отношении *C. nymphaeae*

Источник: выполнено А.А. Петрухиной.

Screening of bacterial isolates against *C. nymphaeae*

Source: compiled by A.A. Petrukhnina.

Изоляты 0076 и 0089 относятся к *Bacillus subtilis*. Вид проявляет антибиотическую активность против фитопатогенов, а также повышает иммунитет растений. Эти изоляты используются в сельском хозяйстве в качестве основы для биопрепаратов, в т.ч. против возбудителей антракноза [1–3].

Изолят 0739 — *Bacillus velezensis* — обладает антагонистическими свойствами в отношении: *Botrytis cinerea*, *Pythium* sp., *Phytophthora* sp., *Sclerotinia* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria alternate*, *Macrophomina phaseolina* и *Rhizoctonia solani* [4].

Изолят 0585 с идентичностью в 99,41 % был определен как *Bacillus tequilensis* или *Bacillus subtilis*. Изоляты *B. tequilensis* обладают антагонистической активностью против грибных патогенов на пшенице, бананах и ряде других культур, в т.ч. в отношении *C. acutatum* на красном перце [5].

Изолят 0552 с идентичностью в 98,45 % определили как *Bacillus australimaris* или *Bacillus safensis*. Вид *B. australimaris* используется для биоконтроля, например, против *Alternaria alternata* [6]. Некоторые изоляты вида *B. safensis* проявляют антибиотическую активность и отмечаются как перспективные агенты биоконтроля в отношении ряда патогенных бактерий и грибов [7].

Изолят 0075 — *Alcaligenes faecali*. Метаболиты *A. faecalis* обладают противогрибной и антибактериальной активностью, в т.ч. подавляют рост грибов *Colletotrichum gloeosporioides* [8].

Изолят 0084 — *Ochrobactrum* sp. Отдельные виды рода эффективны в биоконтроле фитопатогенов. *O. intermedium* показал высокую эффективность против

Colletotrichum falcatum на растениях сахарного тростника, сравнимую с действием карбендазима [9]. В другом исследовании показано, что культуральный фильтрат *O. anthropi* полностью подавил рост грибов рода *Colletotrichum* [10].

Биохимические свойства отобранных перспективных бактериальных изолятов исследовали с помощью тест-системы API 20E. Анализ их метаболических особенностей позволяет косвенно оценить потенциальную фитотоксичность и адаптивную способность штаммов. Результаты приведены в табл. 2.

У всех семи изолятов отмечена высокая активность углеводного метаболизма (3 и более положительных теста 12–20; GLU–ARA), что свидетельствует о метаболической пластичности и способности к эффективной колонизации филлосферы и ризосферы растений. Отсутствие утилизации амигдалина (AMY) изолятами 0075, 0076, 0089 и D-мелибиозы (MEL) изолятом 0084 существенно не снижает их метаболического потенциала, поскольку штаммы способны утилизировать большое количество других субстратов [11].

Метаболизм ароматических аминокислот оценивали по тестам TDA, IND и VP. Все исследуемые изоляты проявляли триптофандеаминазную активность (TDA), характерную для ризосферных и эпифитных бактерий, и не синтезировали индол-3-уксусную кислоту (отрицательный IND), что исключает путь, типичный для фитопатогенов [11]. Положительная VP-активность (синтез ацетоина) указывает на потенциальную способность стимулировать рост растений и индуцировать устойчивость к патогенам [12]. Например, ацетоин и 2,3-бутандиол, продуцируемые бактериями рода *Bacillus*, способны усиливать устойчивость растений к *Pectobacterium carotovorum* и *Pseudomonas syringae*, а также стимулировать рост растений и увеличивать урожайность семян у *Arabidopsis* [12]. Однако способность к синтезу ацетоина не исключает возможности проявления фитотоксичности некоторых штаммов в стрессовых для них условиях.

Отрицательные результаты тестов ADH, LDC и ODC свидетельствуют об отсутствии у изолятов ферментов деградации аргинина, лизина и орнитина. Положительная активность ADH (аргининдигидролаза) могла бы указывать на способность регулировать pH ризосферы через выделение аммиака [13]. Активность LDC (лизиндекарбоксилаза) связана с синтезом кадаверина, который участвует в развитии корневой системы, способствует стрессоустойчивости и прорастанию семян [14]. ODC-активность (орнитиндекарбоксилаза) связана с продукцией путресцина, который увеличивает стрессоустойчивость растений, а также стимулирует рост корней и побегов [15]. Отсутствие этих активностей ограничивает потенциальное положительное влияние изолятов на растения через данные метаболические пути.

Положительный результат теста CIT у изолята 0084 свидетельствует о способности к утилизации цитрата, что указывает на альтернативный энергетический метаболизм при дефиците углеводов [16]. Отрицательные результаты теста H₂S у всех изолятов исключают продукцию сероводорода, который, по последним данным, участвует в регуляции стрессоустойчивости, роста растений и симбиотической фиксации азота [17].

Таблица 2 / Table 2

Результаты оценки биохимических свойств изолятов с помощью системы тестов API 20 E / The results of evaluation of biochemical properties of isolates using the API 20 E test system

Шифр	Название	Субстрат																			
		ONPG	ADH	LDC	ODC	CIT	H ₂ S	URE	TDA	IND	VP	GEL	GLU	MAN	INO	SOR	RHA	SAC	MEL	AMY	ARA
0075	<i>Alcaligenes faecalis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
0076	<i>Bacillus subtilis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
0084	<i>Ochrobactrum sp.</i>	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
0089	<i>Bacillus subtilis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
0552	<i>Bacillus australimaris/ Bacillus safensis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0585	<i>Bacillus tequilensis/ Bacillus subtilis</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0739	<i>Bacillus velezensis</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: Субстраты, представленные в системе тестов: 2-нитрофенил-β-D-галактопиранозид (ONPG), L-аргинин (ADH), L-лизин (LDC), L-омитин (ODC), цитрат натрия (CIT), тиосульфат натрия (H₂S), мочевины (URE), L-триптофан (TDA), индол (IND), пируват натрия (VP), желатин (GEL), D-глюкоза (GLU), D-маннит (MAN), инозит (INO), D-сорбит (SOR), L-рамноза (RHA), D-сахароза (SAC), D-мелибиоза (MEL), амигдалин (AMY), L-арабиноза (ARA).

Note: Substrates included in the test system: 2-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside (ONPG), L-arginine (ADH), L-lysine (LDC), L-ornithin (ODC), sodium thiosulfate (H₂S), urea (URE), L-tryptophan (TDA), indole (IND), sodium pyruvate (VP), gelatin (GEL), D-glucose (GLU), D-mannitol (MAN), inositol (INO), D-sorbitol (SOR), L-rhamnose (RHA), D-sucrose (SAC), D-melibiose (MEL), amygdalin (AMY), L-arabinose (ARA).

Источник: составлено Д.А. Доморацкой.

Source: compiled by D.A. Domoratskaya.

Положительные результаты теста ONPG для всех изолятов кроме 0739 указывают на их способность расщеплять лактозоподобные субстраты, что повышает их адаптивный потенциал. Отрицательные результаты теста URE исключают продукцию уреазы и связанное с ней подщелачивание ризосферы, предотвращая потенциальную аммиачную токсичность для растений [18].

Отсутствие желатиназной активности (GEL) свидетельствует о низком протеолитическом потенциале, что снижает риски повреждения растительных тканей, характерных для фитопатогенов [19].

Заключение

В ходе исследования идентифицировано и отобрано для дальнейшего исследования семь штаммов бактерий, проявляющих высокую антагонистическую активность в отношении патогена *S. nymphaeae*, входящего в видовой комплекс *Colletotrichum acutatum*. Наиболее эффективными оказались следующие: 0075 — *Alcaligenes faecalis*, 0076 — *Bacillus subtilis*, 0084 — *Ochrobactrum sp.*, 0089 — *Bacillus subtilis*, 0552 — *Bacillus australimaris/ Bacillus safensis*, 0585 — *Bacillus tequilensis / Bacillus subtilis*, 0739 — *Bacillus velezensis*.

На основании литературных данных и анализа биохимических профилей можно предположить, что отобранные изоляты не являются фитотоксичными и обладают высоким адаптивным потенциалом к колонизации растений. Данные штаммы представляются перспективными для разработки нового биопрепарата против антракноза земляники. Внедрение такого биологического средства защиты обеспечит экологическую безопасность сельскохозяйственной продукции и эффективный контроль над патогеном.

Список литературы / References

1. Ali A, Iftikhar Y, Mubeen M., Haider A, Zeshan M, Asad Z, et al. Antagonistic potential of bacterial species against fungal plant pathogens (FPP) and their role in plant growth promotion (PGP): a review. *Phyton — International Journal of Experimental Botany*. 2022;91(9):1859–1877. doi: 10.32604/phyton.2022.021734 EDN: FGJASQ
2. Nikel PI, Martínez-García E, de Lorenzo V. Biotechnological domestication of pseudomonads using synthetic biology. *Nature Reviews Microbiology*. 2014;12:368–379. doi: 10.1038/nrmicro3253
3. Kim H-M, Lee K-J, Chae J-C. Postharvest biological control of *Colletotrichum acutatum* on apple by *Bacillus subtilis* HM1 and the structural identification of antagonists. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2015;25(11):1954–1959. doi: 10.4014/jmb.1507.07100
4. Basalaeva DL, Nikelshparg MI, Evstigneeva SS, Glinskaya EV. Antagonistic activity of *Bacillus velezensis*. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2022;22(1):57–63. (In Russ.). doi: 10.18500/1816-9775-2022-22-1-57-63 EDN: EPRBMZ
Басалаева Д.Л., Никельшпарг М.И., Евстигнеева С.С., Глинская Е.В. Антагонистическая активность бактерий *Bacillus velezensis* // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22. № 1. С. 57–63. doi: 10.18500/1816-9775-2022-22-1-57-63 EDN: EPRBMZ
5. Bernstein B, Zehr EI, Dean RA, Shabi E. Characteristics of *Colletotrichum* from peach, apple, pecan, and other hosts. *Plant Disease*. 1995;79(5):478–483. doi: 10.1094/pd-79-0478
6. Semwal P, Mishra SK, Majhi B, Mishra A, Joshi H, Misra S, et al. *Bacillus australimaris* protect *Gloriosa superba* L. against *Alternaria alternata* infestation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2024;40(11):354. doi: 10.1007/s11274-024-04156-y EDN: YPYTWO

7. Kamilari E, O'Connor PM, Farias FMD, Johnson CN, Buttimer C, Deliephan A, et al. *Bacillus safensis* APC 4099 has broad-spectrum antimicrobial activity against both bacteria and fungi and produces several antimicrobial peptides, including the novel circular bacteriocin safencin E. *Applied and Environmental Microbiology*. 2025;91(1):e01942–24. doi: 10.1128/aem.01942-24 EDN: GBUIHQ
8. Yokoyama SI, Adachi Y, Asakura S, Kohyama E. Characterization of *Alcaligenes faecalis* strain AD15 indicating biocontrol activity against plant pathogens. *Journal of General and Applied Microbiology*. 2013;59(2):89–95. doi: 10.2323/jgam.59.089 EDN: YCOTFJ
9. Patel P, Shah R, Joshi B, Ramar K, Natarajan A. Molecular identification and biocontrol activity of sugarcane rhizosphere bacteria against red rot pathogen *Colletotrichum falcatum*. *Biotechnology Reports*. 2019;21:e00317. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00317
10. Soumyamol VB, Nejumunnisa PN, Roy CB. Biocontrol adeptness of bacterial endophytes antagonistic to *Colletotrichum* spp. causing *Colletotrichum* leaf disease in rubber (*Hevea brasiliensis*) and harnessing its plant growth-promoting traits. *South African Journal of Botany*. 2023;161:151–160. doi: 10.1016/j.sajb.2023.08.009 EDN: JNVCIW
11. Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*. 2007;31(4):425–448. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x EDN: MHQDER
12. Xie X, Zhang H, Pare PW. Sustained growth promotion in *Arabidopsis* with long-term exposure to the beneficial soil bacterium *Bacillus subtilis* (GB03). *Plant Signaling and Behavior*. 2009;4(10):948–953. doi: 10.4161/psb.4.10.9709
13. Liu Y, Wilson AJ, Han J, Hui A, O'Sullivan L, Huan T, Haney CH. Amino acid availability determines plant immune homeostasis in the Rhizosphere microbiome. *mBio*. 2023;14(2):e03424–22. doi: 10.1128/mbio.03424-22
14. Jancewicz AL, Gibbs NM, Masson PH. Cadaverine's functional role in plant development and environmental response. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:870. doi: 10.3389/fpls.2016.00870
15. González-Hernández AI, Scalschi L, Vicedo B, Marcos-Barbero EL, Morcuende R, Camañes G. Putrescine: A key metabolite involved in plant development, tolerance and resistance responses to stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(6):2971. doi: 10.3390/ijms23062971 EDN: ETSNWO
16. Hendry TL. *The role of citrate in plant-pathogen interactions*. University of Cape Town; 2016.
17. Gökdemir FŞ, Eyidoğan F. The role of H₂S in plant defense against pathogens and herbivores. In: *H&S in Plants. Past, Present and Beyond. Plant Gasotransmitters and Molecules with Hormonal Activity*. 2024. p.231–244. doi: 10.1016/b978-0-323-99035-6.00006-3
18. Britto DT, Kronzucker HJ. NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*. 2002;159(6):567–584. doi: 10.1078/0176-1617-0774 EDN: MCIYBR
19. Olivieri FP, Maldonado S, Tonon CV, Casalongue CA. Hydrolytic activities of *Fusarium solani* and *Fusarium solani* f. sp. *eumartii* associated with the infection process of potato tubers. *Journal of Phytopathology*. 2004;152(6):337–344. doi: 10.1111/j.1439-0434.2004.00851.x EDN: FPHLMT

Об авторах:

Цветкова Юлия Владиславовна — научный сотрудник лаборатории микологии испытательного лабораторного центра, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; аспирант кафедры микологии и альгологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; e-mail: yutska@mail.ru

Смирнова Анна Владимировна — младший научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru
ORCID: 0009-0001-4827-1980 SPIN-код: 5449-5330

Петрухина Анастасия Алексеевна — младший научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: anast.suglobova@gmail.com
ORCID: 0009-0002-2951-9386 SPIN-код: 4281-8197

Доморацкая Дана Алексеевна — младший научный сотрудник лаборатории бактериологии и анализа генетически модифицированных организмов испытательного лабораторного центра, Всероссийский

центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: danadomoratskaya@mail.ru

ORCID: 0009-0005-9362-6655 SPIN-код: 8506-7534

Яремко Анастасия Богдановна — младший научный сотрудник центра коллективного пользования «Молекулярная генетика», Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, пгт. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: an_ya94@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3295-8080 SPIN-код: 4456-1312

About authors:

Tsvetkova Yulia Vladislavovna — Researcher, Mycology Laboratory, Testing Laboratory Center, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; postgraduate student, Mycology and Algology Department, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: yutska@mail.ru

Smirnova Anna Vladimirovna — Junior Researcher, Mycology and Helminthology Department, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: anna.smirnova2328@yandex.ru

ORCID: 0009-0001-4827-1980 SPIN-code: 5449-5330

Petrukhina Anastasia Alekseevna — Junior Researcher, Scientific and Methodological Department of Mycology and Helminthology, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: anast.suglobova@gmail.com

ORCID: 0009-0002-2951-9386 SPIN-coide: 4281-8197

Domoratskaya Dana Alekseevna — Junior Researcher, Laboratory of Bacteriology and Analysis of Genetically Modified Organisms, Testing Laboratory Center, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: danadomoratskaya@mail.ru

ORCID: 0009-0005-9362-6655 SPIN-code: 8506-7534

Yaremko Anastasia Bogdanovna — Junior Researcher, Molecular Genetics Shared Use Center, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogradichnaya st., Bykovo, 140150, Russian Federation; e-mail: an_ya94@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3295-8080 SPIN-code: 4456-1312



Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry






DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-108-121


EDN FUQQTS

УДК 631.4(571.1)

Научная статья / Research article

Трансформация параметров структурно-агрегатного состава почв залежей юго-востока Западной Сибири

Г.Ф. Миллер , Д.А. Филимонова  ,
А.Н. Безбородова , С.В. Соловьев 

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск, Российская Федерация
 dafilimonova_issa@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обосновывается значимостью изучения залежных земель для устойчивого развития сельского хозяйства. Кроме того, представленные материалы не только дополняют ранее опубликованные работы авторов, но и существенно пополняют знания о физических процессах, протекающих в почвах, находящихся в залежном состоянии, Правобережья Оби на территории Новосибирской области. Цель исследования — установление структурно-агрегатного состояния почв дифференцирующихся по возрасту залежей Правобережья Оби на территории Новосибирской области по трем параметрам: коэффициенту структурности, критерию водопрочности агрегатов, водоустойчивости. Для каждой возрастной категории залежей (молодые, средневозрастные и старые) выбирались два наиболее представительных почвенных профиля. Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками отбора и химико-аналитической обработки образцов. Полученные данные проанализировали методами статистического анализа с использованием среды Google Colab на языке Python с использованием библиотеки SciPy. Статистическая обработка результатов анализа проведена на основе непараметрического критерия Краскела — Уоллиса и Уилкоксона — Манна — Уитни. По коэффициенту структурности в пределах пахотного горизонта значения этого показателя для залежей всех возрастов находятся на хорошем уровне (в диапазоне 0,9...5,7). По критерию водопрочности исследованных почв представляется очевидным их нахождение фактически в одной группе, имеющей значения от хороших до отличных на всей глубине взятия образцов. Изменения показателя водопрочности агре-

© Миллер Г.Ф., Филимонова Д.А., Безбородова А.Н., Соловьев С.В., 2026



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

готов вниз по профилю изученных почв залежей имеет сходный характер в почвах средневозрастных и старых залежей, а также целины. По коэффициенту структурности, критерию водопрочности агрегатов и водостойчивости исследованные почвы разновозрастных залежей обнаруживают в целом хорошие показатели структурно-агрегатного состояния, что является особенно важным в связи с расчлененностью рельефа Предсалаирья. Также можно считать установленным, что структурно-агрегатное состояние почв разновозрастных залежей определяется в первую очередь не возрастом залежи, а состоянием ее почв на момент перевода пашни в залежь.

Ключевые слова: залежные земли, структурно-агрегатное состояние, Предсалаирье, Новосибирская область, агротемно-серые типичные почвы, агрочернозем, водопрочность, водостойчивость.

Вклад авторов. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении исследования и анализе результатов, ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.






Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.


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

История статьи: поступила в редакцию 17 марта 2025 г., принята к публикации 16 декабря 2025 г.

Для цитирования: *Миллер Г.Ф., Филимонова Д.А., Безбородова А.Н., Соловьев С.В.* Трансформация параметров структурно-агрегатного состава почв залежей юго-востока Западной Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 108–121. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-108-121 EDN: FUQQT5

Transformation of structural and aggregate composition parameters of fallow soils in the South-East of Western Siberia

German F. Miller , Darya A. Filimonova  
Anna N. Bezborodova , Sergey V. Solovyev 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation
 dafilimonova_issa@mail.ru

Abstract. The study of fallow lands is of great importance for sustainable development of agriculture. In addition, the materials presented in this work not only significantly complement the previously published works of the authors but also significantly replenish the knowledge of physical processes occurring in the fallow soils of the right bank of the Ob River in Novosibirsk Region. The aim of the study was to determine the structural and aggregate state of fallow soils of the right bank of the Ob River differentiated by age in the Novosibirsk Region by three parameters: structure coefficient, criterion of water stability of aggregates, and water resistance. For each age category of fallow lands (young, middle-aged, and old), the two most representative soil profiles were selected. The studies were carried out in accordance with generally accepted methods of selecting soil samples and chemical-analytical processing. To identify the reliability of the differences, the obtained data were analyzed by statistical analysis methods in Google Colab with the SciPy Python library. Statistical analysis of the results was carried out based on the non-parametric Kruskal — Wallis and Wilcoxon — Mann — Whitney tests. Regarding the structure coefficient within the arable horizon, the values of this indicator for fallow lands of all ages are at a good level, being in the range of 0.9...5.7. According to the water stability of the studied soils, it is evident

that they are actually in the same group, with values ranging from good to excellent throughout the sampling depth. Changes in the water stability down the profile of the studied fallow soils have a similar character in the soils of middle-aged and old fallow lands, as well as virgin lands. According to the structure coefficient, water stability criterion, and water resistance, the studied soils of fallow lands of different ages exhibit generally good indicators of the structural-aggregate state, which is especially important in connection with the dissected relief of the Pre-Salair region. It can also be considered established that the structural and aggregate state of soils of fallow lands of different ages is determined primarily not by the age of the fallow land but by the state of its soils at the time of conversion of arable land into fallow land.

Key words: fallow lands, structural-aggregate state, Pre-Salair region, Novosibirsk region, typical agrodark gray forest soils, agrochernozems, water stability, water resistance

Author contributions: All the authors were involved in designing and conducting the experiments, analyzing the results. All authors read and approved the final manuscript.

Funding. The study was carried out according to the state assignment of ISSA SB RAS.

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

Article history: received 17 March 2025; accepted 16 December 2025.

For citation: Miller GF, Filimonova DA, Bezborodova AN, Solovyev SV. Transformation of structural and aggregate composition parameters of fallow soils in the South-East of Western Siberia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):108–121. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-108-121 EDN: FUQQTS

Введение

К факторам, оказывающим определяющее влияние на продуктивность агроценозов, относятся физические характеристики почв, в частности — их структура [1]. Отсюда **целью исследования** было установление структурно-агрегатного состояния почв, дифференцирующихся по возрасту залежей Правобережья Оби на территории Новосибирской области.

Полученные материалы по структурно-агрегатному состоянию залежей существенно дополнили исследование [2], в особенности в контексте процессов восстановления исходных свойств почв залежей разных возрастов, в связи с этим проведенное исследование представляется весьма актуальным.

Почвенным свойствам залежей территории Российской Федерации с 2006 г. уделяется значительное внимание, о чем можно судить по обзору [3], где приведен пространственный список районов исследований и их авторов. Специфика условий Сибири учтена в работах [4–7].

Имеются литературные данные о количестве водопрочных агрегатов в целинных и старопахотных черноземах оподзоленных и выщелоченных Колывань-Томской возвышенности [8], а также старопахотных и целинных черноземах выщелоченных Тогучинского района Новосибирской области [9]. Авторы отмечают снижение количества водопрочных агрегатов в почвах, выведенных из сельскохозяйственного оборота, в сравнении с целинными землями, что объясняется частичной утратой их макроструктуры при распашке.

Вместе с тем исследования трансформации структурно-агрегатного состояния почв разновозрастных залежей на юге Западной Сибири ранее не проводились.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования расположены на Предсалаирской дренированной равнине, занимающей восточную, правобережную часть Новосибирской области, — это территория весьма типична по особенностям рельефа и почвенно-растительного покрова для юго-востока Западной Сибири [10].

Исходя из проведенной ранее почвенно-экологической оценки почв разновозрастных залежей [3, 11], для каждой возрастной категории залежей выбирали два наиболее представительных почвенных профиля. Идентификация и дифференциация залежей по возрасту осуществлялась по принятой методике¹. Таким образом, исследованные почвы залежей можно охарактеризовать как агрочерноземы выщелоченные и агротемно-серые типичные, а почвы целинного участка идентифицируются как черноземы типичные. Выбор данных объектов обусловлен тем, что район исследования характеризуется преобладанием именно выщелоченных типов почв [12], а тот факт, что они близки по своим физико-химическим характеристикам, не противоречит их совместному рассмотрению в данной работе [13, 14].

Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками отбора² и химико-аналитической обработки образцов³ [15, 16].

Для выявления достоверности различий полученные данные проанализировали методами статистического анализа с использованием среды Google Colab на языке Python и библиотеки SciPy. Статистическую обработку результатов анализа провели на основе непараметрического критерия Краскела — Уоллиса и Уилкоксона — Манна — Уитни.

Результаты исследования и обсуждение

Структурно-агрегатное состояние почв напрямую зависит от их гранулометрического состава и содержания гумуса; согласно приведенным данным (табл.), исследуемые почвы разновозрастных залежей обнаруживают близость друг другу по этим характеристикам.

Коэффициент структурности (рис. 1). Почвы молодых залежей уступают по данному показателю почвам залежей средневозрастных и старых лишь в слое 0–10 см; в слое 20–30 см происходит перекрытие значений коэффициента структурности почв молодых и средневозрастных залежей в диапазоне 1,7–3,2; в целом, в пределах пахотного горизонта значения этого показателя для почв залежей всех возрастов соответствуют хорошему уровню, находясь в диапазоне 0,9–5,7 (за исключением одной из почв молодых залежей: ее коэффициент структурности в слое 0–20 см

¹ Степанов М.И., Сысо А.И., Чумбаев А.С., Миронычева-Токарева Н.П. Методические рекомендации по определению сроков пребывания земельных участков сельскохозяйственного назначения Новосибирской области в залежном состоянии. Новосибирск : Наука, 2017. 20 с.

² Практикум по почвоведению / под ред. проф. И.С. Кауричева. М. : Колос, 1973. 279 с.

³ Шейн Е.В. Курс физики почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.

соответствует удовлетворительному). Необходимо отметить, что в слое 20–30 см почвы залежей всех возрастов представляют собой одну группу, хотя минимальным значение коэффициента структурности является у одной из молодых залежей, а максимальным — у одной из старых, включая целину. Примечательно, что кривая значений (рис. 1), построенная по данному показателю для почв целины, занимает на графике положение среди кривых для средневозрастных и старых залежей; в слое 10–30 см кривые залежей всех возрастов, а также кривая целины, группируются вместе. Согласно статистическому анализу на основе критерия Уилкоксона — Манна — Уитни, статистически значимые различия присутствуют в залежах среднего возраста (Критерий (U) = 3,93; $p = 0,04$). Молодые залежи попарно одинаковые (Критерий (U) = 5,33; $p = 0,06$), старые так же попарно одинаковые (Критерий (U) = 0,41; $p = 0,52$). Согласно анализу на основе критерия Краскела — Уоллиса, целина статистически похожа на старые залежи (Критерий (H) = 1,83; $p = 0,4$).

Физико-химические характеристики изученных почв

Содержание илистой фракции, %					
Участок	Глубина, см				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Залежь 3–4 года (почва агротемно-серая типичная среднесуглинистая)	10,96	12,64	24,27	26,32	21,70
Залежь 2–3 года (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	6,68	12,31	22,80	23,40	21,67
Залежь 7–10 лет (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	16,60	17,40	15,60	21,00	24,80
Залежь 10–12 лет (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	11,36	11,30	20,57	25,23	21,23
Залежь 21–23 года (почва агротемно-серая типичная тяжелосуглинистая)	13,73	19,73	22,92	22,66	18,94
Залежь 17–19 лет (почва агрочернозем выщелоченный тяжелосуглинистый)	14,40	31,80	31,89	27,40	22,20
Целина (почва чернозем глинисто-иллювиальный элювирированный)	20,80	19,50	16,90	22,10	30,50
По содержанию илистой фракции значимых различий нет (Критерий Краскела – Уоллиса (H) = 4,84; $p = 0,56$)					

Содержание гумуса, %					
Участок	Глубина, см				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Залежь 3–4 года (почва агротемно-серая типичная среднесуглинистая)	6,1	5,5	3,1	2,0	1,8
Залежь 2–3 года (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	5,5	4,1	2,4	1,7	1,7
Залежь 7–10 лет (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	5,6	4,5	4,0	1,1	0,8
Залежь 10–12 лет (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	13,0	12,0	5,3	1,5	0,4

Окончание табл.

Содержание гумуса, %					
Участок	Глубина, см				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Залежь 21–23 года (почва агротемно-серая типичная тяжелосуглинистая)	17,0	5,6	2,5	1,7	1,7
Залежь 17–19 лет (почва агрочернозем выщелоченный тяжелосуглинистый)	14,8	5,3	1,7	1,2	2,4
Целина (почва чернозем глинисто-иллювиальный элювируемый)	13,3	12,7	10,8	6,9	3,9

По содержанию гумуса значимых различий нет (Критерий Краскела – Уоллиса (H) = 1,95; p = 0,92)

pH					
Участок	Глубина, см				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Залежь 3–4 года (почва агротемно-серая типичная среднесуглинистая)	6,8	6,8	7,0	6,9	6,8
Залежь 2–3 года (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	7,0	7,3	7,4	7,4	6,7
Залежь 7–10 лет (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	5,8	6,1	6,3	6,5	6,6
Залежь 10–12 лет (почва агрочернозем выщелоченный среднесуглинистый)	6,3	6,3	6,1	6,4	7,6
Залежь 21–23 года (почва агротемно-серая типичная тяжелосуглинистая)	8,2	7,5	6,7	6,8	6,4
Залежь 17–19 лет (почва агрочернозем выщелоченный тяжелосуглинистый)	7,1	6,9	6,9	7,9	6,4
Целина (почва чернозем глинисто-иллювиальный элювируемый)	6,2	6,4	6,5	6,6	6,5

По значениям pH значимых различий нет (Критерий Краскела – Уоллиса (H) = 3,88; p = 0,06)

Источник: анализ структурно-агрегатного состава, выполненный Г.Ф. Миллером, Д.А. Филимоновой, А.Н. Безбородовой, С.В. Соловьевым.

Physicochemical characteristics of the studied soils

Silt fraction content, %					
Site	Depth, cm				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Fallow of 3–4 years (Typical Medium-loamy Agro-Dark Gray Soil)	10.96	12.64	24.27	26.32	21.70
Fallow of 2–3 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	6.68	12.31	22.80	23.40	21.67

Continuation table

Silt fraction content, %					
Site	Depth, cm				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Fallow of 7–10 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	16.60	17.40	15.60	21.00	24.80
Fallow of 10–12 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	11.36	11.30	20.57	25.23	21.23
Fallow of 21–23 years (Typical Heavy-loamy Agro-Dark Gray Soil)	13.73	19.73	22.92	22.66	18.94
Fallow of 17–19 years (Leached Heavy-loamy Agrochernozem)	14.40	31.80	31.89	27.40	22.20
Virgin soil (Clay-illuvial Eluviated Chernozem)	20.80	19.50	16.90	22.10	30.50

There are no significant differences in silt content (Kruskal-Wallis test (H) = 4.84; p = 0.56).

Humus content, %					
Site	Depth, cm				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Fallow of 3–4 years (Typical Medium-loamy Agro-Dark Gray Soil)	6.1	5.5	3.1	2.0	1.8
Fallow of 2–3 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	5.5	4.1	2.4	1.7	1.7
Fallow of 7–10 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	5.6	4.5	4.0	1.1	0.8
Fallow of 10–12 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	13.0	12.0	5.3	1.5	0.4
Fallow of 21–23 years (Heavy-loamy Agro-Dark Gray Soil)	17.0	5.6	2.5	1.7	1.7
Fallow of 17–19 years (Leached Heavy-loamy Agrochernozem)	14.8	5.3	1.7	1.2	2.4
Virgin soil (Clay-illuvial Eluviated Chernozem) Typical	13.3	12.7	10.8	6.9	3.9

There are no significant differences in humus content (Kruskal-Wallis test (H) = 1.95; p = 0.92)

pH					
Site	Depth, cm				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Fallow of 3–4 years (Typical Medium-loamy Agro-Dark Gray Soil)	6.8	6.8	7.0	6.9	6.8

Site	pH				
	Depth, cm				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Fallow of 2–3 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	7.0	7.3	7.4	7.4	6.7
Fallow of 7–10 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	5.8	6.1	6.3	6.5	6.6
Fallow of 10–12 years (Leached Medium-loamy Agrochernozem)	6.3	6.3	6.1	6.4	7.6
Fallow of 21–23 years (Typical Heavy-loamy Agro-Dark Gray Soil)	8.2	7.5	6.7	6.8	6.4
Fallow of 17–19 years (Leached Heavy-loamy Agrochernozem)	7.1	6.9	6.9	7.9	6.4
Virgin soil (Clay-illuvial Eluviated Chernozem)	6.2	6.4	6.5	6.6	6.5

There are no significant differences in pH values (Kruskal-Wallis test (H) = 3.88; p = 0.06)

Source: analysis of the structural-aggregate composition of soils was performed by G.F. Miller, D.A. Filimonova, A.N. Bezborodova, S.V. Solovyev.

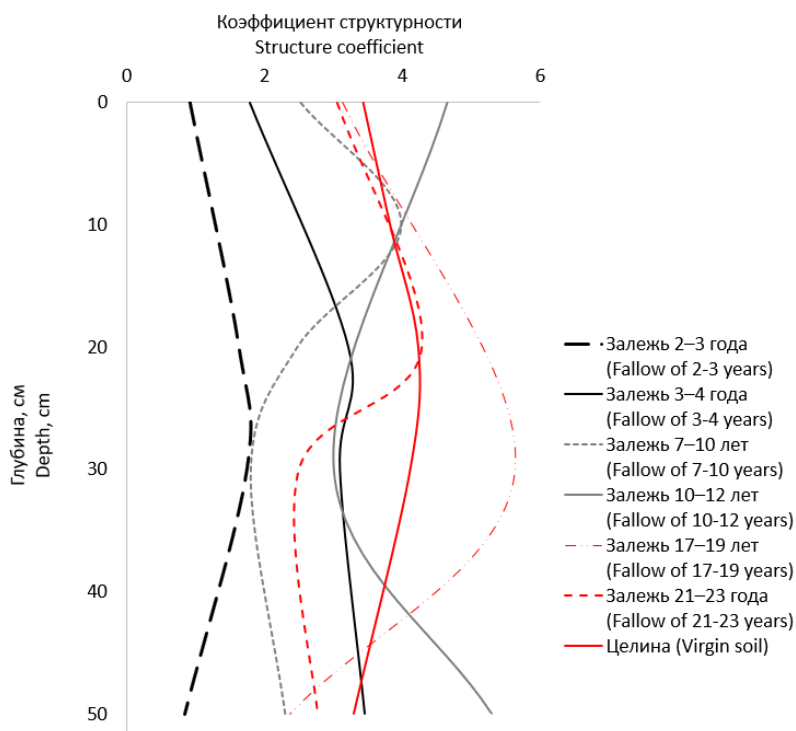


Рис. 1. Коэффициент структурности почв разновозрастных залежей

Источник: выполнили Д.А. Филимонова и А.Н. Безбородова с помощью программы Microsoft Excel.

Fig. 1. The structure coefficient of soils for different aged fallows

Source: compiled by D.A. Filimonova and A.N. Bezborodova using Microsoft Excel.

Критерий водопрочности агрегатов (рис. 2). Как следует из графика, почвы молодых залежей по критерию водопрочности имеют пограничные значения, соответствующие верхней границе удовлетворительного и нижней границе хорошего состояния по данному показателю (80–125), причем не только в 30-сантиметрового антропогенно-преобразованном горизонте, но и на протяжении всей 50-сантиметровой толщи отбора образцов.

Согласно полученным данным, закономерности изменения показателя водопрочности агрегатов вниз по профилю имеют сходный характер в почвах средневозрастных и старых залежей, а также целины, кроме того, все значения находятся в диапазоне от 200 до 1000, что соответствует хорошим и отличным оценкам. Таким образом, можно утверждать, что по данному показателю вышеперечисленные объекты закономерно составляют одну группу.

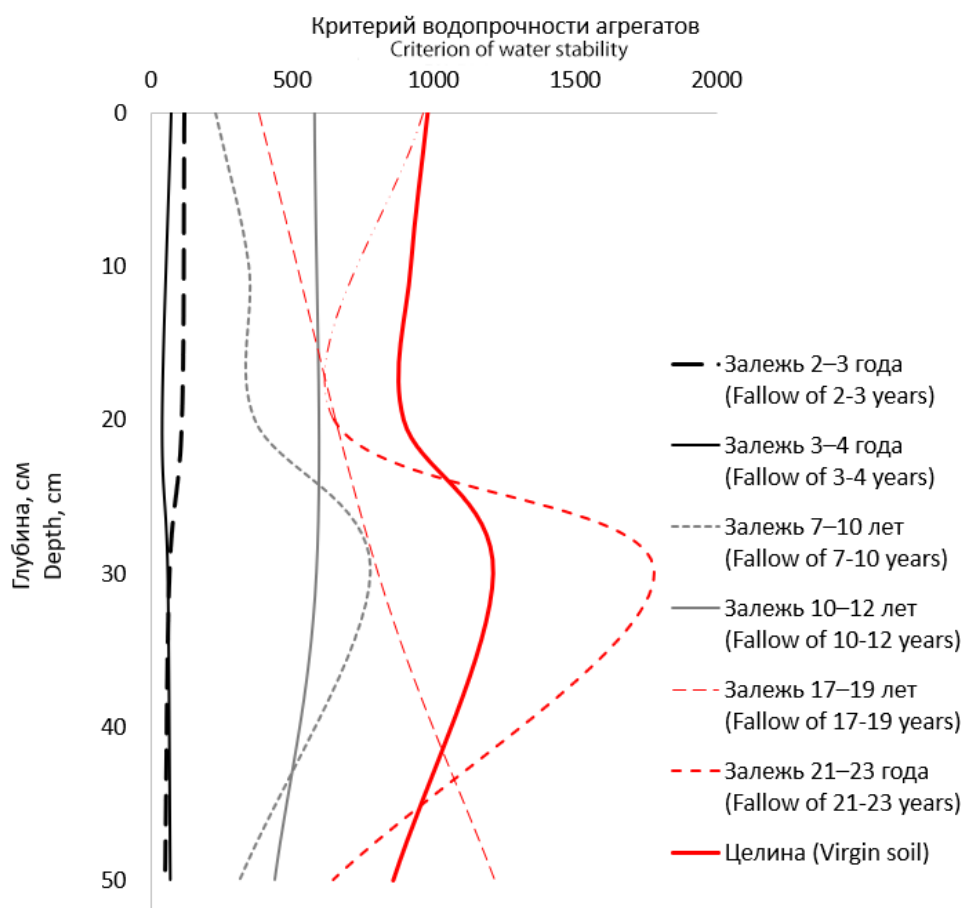


Рис. 2. Критерий водопрочности агрегатов почв разновозрастных залежей

Источник: выполнили Д.А. Филимонова и А.Н. Безбородова с помощью программы Microsoft Excel.

Fig. 2. Criterion of water stability of soil aggregates for different-aged fallows

Source: compiled by D.A. Filimonova and A.N. Bezborodova using Microsoft Excel.

Согласно статистическому анализу, проведенному на основе критерия Уилкоксона — Манна — Уитни, исследуемые залежи попарно не имеют статистически значимых различий по критерию водопрочности агрегатов. Целина, согласно анализу на основе критерия Краскела — Уоллиса, значимо не отличается от старых залежей (Критерий (H) = 0,5; $p = 0,77$).

Водоустойчивость (рис. 3). Анализ полученных данных, отображенных на графике, позволяет сделать заключение, что молодые залежи занимают обособленное положение (значения индекса в диапазоне 15–17), в то время как средневозрастные и старые залежи, а также целина (значения индекса в диапазоне 40...100), могут быть визуально объединены. При этом оценка водоустойчивости почв молодых залежей является неудовлетворительной, а оценки прочих почв — от хороших до избыточно высоких.

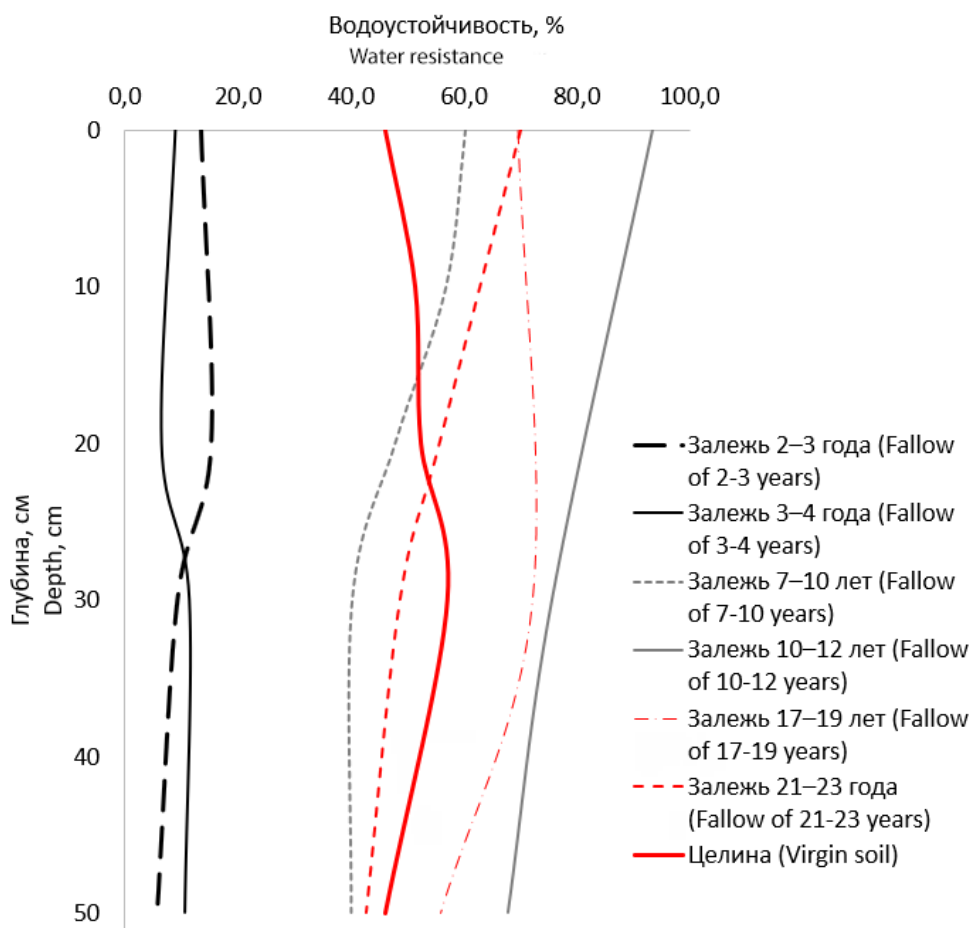


Рис. 3. Водоустойчивость почв разновозрастных залежей

Источник: выполнили Д.А. Филимонова и А.Н. Безбородова с помощью программы Microsoft Excel.

Fig. 3. Water resistance of soils for different-aged fallows

Source: compiled by D.A. Filimonova and A.N. Bezborodova using Microsoft Excel.

По параметру водоустойчивости при сравнении залежей попарно (на основе критерия Уилкоксона — Манна — Уитни) статистически значимых различий не наблюдается. Статистически (согласно критерию Краскела — Уоллиса) целина схожа со старыми залежами (Критерий (H) = 2,09; p = 0,35).

Исследование структурно-агрегатного состояния почв разновозрастных залежей Предсалаирской дренированной равнины позволяет сделать вывод о том, что по всем трем показателям (коэффициенту структурности, критерию водопрочности агрегатов и водоустойчивости) исследованные черноземные и агротемно-серые типичные почвы, включая используемую в качестве контроля целину, обладают хорошей структурностью; хорошей, очень хорошей и отличной водопрочностью агрегатов, а также в целом хорошей (вплоть до избыточно высокой) водоустойчивостью агрегатов. При этом нужно отметить, что хорошая водоустойчивость почвенных агрегатов на территории Предсалаирья, с его подверженностью почвенно-эрозионным процессам, имеет особое значение: именно этот показатель структурно-агрегатного состояния позволяет противостоять размыву и смыву, сохраняя зернистую структуру почвы.

Таким образом, основываясь на полученных данных, не представляется возможным распределить почвы разновозрастных залежей в виде ряда, в котором могло бы наблюдаться постепенное улучшение показателей их структурно-агрегатного состояния в зависимости от возрастной категории залежи. Следовательно, непосредственно продолжительность нахождения бывшей пашни в состоянии залежи не является фактором, определяющим показатели параметров структурно-агрегатного состояния их почв — во всяком случае, на протяжении первых десятков лет.

Заключение

Структурно-агрегатное состояние определяется, в первую очередь, не возрастом залежи, а тем, в каком состоянии находились почвы пашни на момент ее перевода в залежь, что и можно полагать причиной несколько худшего структурно-агрегатного состояния почв исследованных молодых залежей.

Список литературы

1. Рычкова М.И. Структурно-агрегатный состав и плотность почвы в зависимости от способа основной обработки и предшественника озимой пшеницы на эрозионно-опасном склоне // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 11–1 (38). С. 62–66. doi: 10.24411/2500-1000-2019-11697 EDN: FCHGNH
2. Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Безбородова А.Н. Почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Т. 6. № 4. e230. doi: 10.31251/pos.v6i4.230 EDN: NCCGXZ
3. Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Т. 6. № 2. e215. doi: 10.31251/pos.v6i2.215 EDN: GAOIEM

4. Сорокина О.А., Токавчук В.В., Фокина Н.В. Изучение серых лесных почв залежей в Красноярском крае // *Агрохимический вестник*. 2010. № 3. С. 4–8. EDN: MSPMEN
5. Сорокина О.А. Оценка запасов фитомассы и плодородия серых почв залежей // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Т. 1. № 3. С. 170–179. doi: 10.31251/pos.v1i3.40 EDN: VSUDSO
6. Попков А.П., Сорокина О.А. Влияние направления использования залежей на некоторые агрофизические свойства почв // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 1 (55). doi: 10.51419/202131128 EDN: ZSMAXP
7. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Смоленцева Е.Н., Семенова М.П., Личко В.И., Смоленцев Б.А. Влияние типа землепользования на физические свойства черноземов лесостепной зоны Западной Сибири // *Почвоведение*. 2021. Т. 55. № 9. С. 1061–1075. doi: 10.31857/S0032180X21090045 EDN: HWOICG
8. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования: монография. Новосибирск : Сибирское отделение Российской академии наук, 2009. 349 с.
9. Почвы Новосибирской области / отв. ред. Р.В. Ковалев. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1966. 422 с.
10. Безбородова А.Н., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Филимонова Д.А. Почвенно-экологическая оценка эродированных черноземов юга Западной Сибири с учетом специфики климатических и геоморфологических особенностей территории // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 8. С. 59–63. doi: 10.17513/mjprf.11365 EDN: XZPAOD
11. Соловьев С.В., Миллер Г.Ф., Безбородова А.Н., Филимонова Д.А. Сукцессия на молодых и средневозрастных залежах лесостепной зоны Западной Сибири в пределах Новосибирской области // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 10. С. 116–120. doi: 10.17513/mjprf.12427 EDN: YNGTVZ
12. Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель). М. : Изд-во АН СССР, 1962. 422 с.
13. Каюгина С.М., Ерёмин Д.И. Пространственная неоднородность агрофизических свойств серых лесных почв Северного Зауралья // *Вестник аграрной науки*. 2022. № 3 (96). С. 25–30. doi: 10.17238/issn2587–666X.2022.3.25 EDN: ONRHW
14. Каюгина С.М., Ерёмин Д.И. Серые лесные почвы Северного Зауралья // *Эпоха науки*. 2022. № 30. С. 13–17. doi: 10.24412/2409-3203-2022-30-13-17 EDN: ERYJEN
15. Теории и методы физики почв: монография / под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М. : Гриф и К, 2007. 616 с.
16. Цыбулько Н.Н., Цырибко В.Б., Жукова И.И., Логачев И.А. Водостойчивость структуры дерново-подзолистых почв, подверженных водной эрозии, на разных агрофонах // *Научно-агрономический журнал*. 2024. № 1 (124). С. 40–47. doi: 10.34736/FNC.2024.124.1.005.40-47 EDN: APOLJW

References

1. Rychkova MI. Structural-aggregate composition and soil density depending on the main processing method and predecessor of winter wheat on erosion-dangerous slope. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;(11–1):62–66. (In Russ.). doi: 10.24411/2500-1000-2019-11697 EDN: FCHGNH
2. Miller GF, Solovyev SV, Bezborodova AN. Soil-ecological assessment of abandoned lands of diggerent age in the southeast of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2023;6(4): e230. (In Russ.). doi: 10.31251/pos.v6i4.230 EDN: NCCGXZ
3. Nechaeva TV. Abandoned lands in Russia: distribution, agroecological status and perspective use (a review). *The Journal of Soils and Environment*. 2023;6(2): e215. (In Russ.). doi: 10.31251/pos.v6i2.215 EDN: GAOIEM
4. Sorokina OA, Tokavchuk VV, Fomina NV. Research of grey forest fallow soil in Krasnoyarsk region. *Agrochemical Herald*. 2010;(3):4–8. (In Russ.). EDN: MSPMEN

5. Sorokina OA. Estimation of phytomass reserves and fertility of gray soil assets. *The Journal of Soils and Environment*. 2018;1(3):170–179. (In Russ.). doi: 10.31251/pos.v1i3.40 EDN: VSUDSO
6. Popkov AP, Sorokina OA. Influence of the direction of use of deposits on some agrophysical properties of soils. *AgroEcoInfo*. 2023;(1):18. (In Russ.). doi: 10.51419/202131128 EDN: ZSMAXP
7. Kurganova IN, Lopes de Gerenyu VO, Lichko VI, Smolentseva EN, Smolentsev BA, Semenova MP. Influence of land use on the physical properties of chernozems in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(9):1337–1349. (In Russ.). doi: 10.1134/S1064229321090040 EDN: HWOICG
8. Khmelev VA, Tanasienko AA. *Zemel'nye resursy Novosibirskoi oblasti i puti ikh ratsio-nal'nogo ispol'zovaniya* [Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use]. Novosibirsk; 2009. (In Russ.).
9. Kovalev RV. (ed.) *Pochvy Novosibirskoi oblasti* [Soils of the Novosibirsk region]. Novosibirsk: Nauka publ.; 1966. (In Russ.).
10. Bezborodova AN, Miller GF, Solovev SV, Filimonova DA. Pedologic and ecological assessment of eroded chernozems of the south of Western Siberia taking into account specifics of climatic and geomorphological features of the territory. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;(8):59–63. (In Russ.). doi: 10.17513/mjpf.11365 EDN: XZPAOD
11. Solovev SV, Miller GF, Bezborodova AN, Filimonova DA. Succession on young and medium age fallows of the forest-steppe zone of Western Siberia in the Novosibirsk region. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;(10):116–120. (In Russ.). doi: 10.17513/mjpf.12427 EDN: YNGTVZ
12. *Pochvenno-geograficheskoe raionirovanie SSSR (v svyazi s sel'skokhozyaistvennym ispol'zovaniem zemel')* [Soil and geographical zoning of the USSR (in connection with agricultural land use)]. Moscow; 1962. (In Russ.).
13. Kayugina SM, Eremin DI. Spatial heterogeneity of agrophysical properties of gray forest soils of the Northern Trans-Urals. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022;(3):25–30. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2587–666X.2022.3.25 EDN: ONRHHW
14. Kayugina SM, Eremin DI. Gray forest soils of the Northern Trans-Urals. *Epoha nauki*. 2022;(30):13–17. (In Russ.). doi: 10.24412/2409-3203-2022-30-13-17 EDN: ERYJEH
15. Shein EV, Karpachevsky LO. (eds.) *Teorii i metody fiziki pochv* [Theories and methods of soil physics]. Moscow; 2007. (In Russ.).
16. Tsybulko NN, Tsyribko VB, Zhukova II, Logachev IA. Water stability of sod-podzolic soils structure subject to water erosion, on different agrophones. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;(1):40–47. (In Russ.). doi: 10.34736/FNC.2024.124.1.005.40–47 EDN: APOLJW

Об авторах:

Миллер Герман Федорович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 8/2; e-mail: miller_1981_gf@mail.ru ORCID: 0000-0001-9193-0155 SPIN-код: 2780-8541

Филимонова Дарья Александровна — младший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 8/2; e-mail: dafilimonova_issa@mail.ru ORCID: 0000-0002-1917-1681 SPIN-код: 3530-0716

Безбородова Анна Николаевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 8/2; e-mail: bezborodova@issa-siberia.ru ORCID: 0000-0003-3341-3859 SPIN-код: 1812-5308

Соловьев Сергей Викторович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 8/2; e-mail: solovyev_issa@mail.ru ORCID: 0000-0001-8364-9486 SPIN-код: 3880-8588

About authors:

Miller German Fedorovich — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Soil Physical Processes, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Akademika Lavrentieva ave., bldg. 2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: miller_1981_gf@mail.ru
ORCID: 0000-0001-9193-0155 SPIN-code: 2780-8541

Filimonova Darya Alexandrovna — Junior Researcher, Laboratory of Soil Physical Processes, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Akademika Lavrentieva ave., bldg. 2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: dafilimonova_issa@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1917-1681 SPIN-code: 3530-0716

Bezborodova Anna Nikolaevna — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Soil Physical Processes, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Akademika Lavrentieva ave., bldg. 2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: bezborodova@issa-siberia.ru
ORCID: 0000-0003-3341-3859 SPIN-code: 1812-5308

Solovyev Sergey Viktorovich — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Soil Physical Processes, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Akademika Lavrentieva ave., bldg. 2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: solovyev_issa@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8364-9486 SPIN-code: 3880-8588



Животноводство Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-122-136


EDN FWETQR

УДК 636.38:591.132:636.084:591.132

Научная статья / Research article

Морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при введении в рацион соевого фуража

С.В. Карамушкина  , Ф.А. Митькин ,
М.А. Вайнберг , А.А. Агаркова , Е.А. Просекова 

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация
 sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — оценить структурно-функциональные изменения стенки рубца овец эдильбаевской породы при включении соевого фуража (30,3 % клетчатки, 16,15 % протеина) в рацион. Опыт проведен в КФХ «Машрапов» (Амурская область) на 20 овцах возрастом 7–8 месяцев. Материал из преддверия, дорсального и вентрального мешков рубца фиксировали в 10% формалине, готовили срезы (5–6 мкм), окрашивали гематоксилином и эозином. Морфометрию ($n = 34$) проводили на микроскопе Napiomed IW-A1350C, данные обрабатывали в Excel ($p \leq 0,05$). Питательность фуража анализировали в ФГБУ «Станция агрохимической службы „Амурская“». В отсутствие контроля применены данные диссертационной работы Мельникова С.И. (2022) по гистологической и морфометрической характеристике рубца овец эдильбаевской породы на сено-концентратном рационе. Дорсальный мешок показал наибольшую плотность ($80,21 \pm 1,27$ на 1 см^2 , $+167 \dots 300 \%$) и высоту сосочков ($3561 \pm 14,6$ мкм, $+97 \dots 197 \%$) по сравнению с контролем ($20 \dots 30$ на 1 см^2 , $1200 \dots 1800$ мкм), а также истончение рогового слоя ($2,55 \pm 0,07$ мкм, $-15 \dots 36 \%$), что указывает на усиление абсорбции летучих жирных кислот, обусловленное высокой клетчаткой. Вентральный мешок характеризовался утолщением мышечной оболочки ($3577 \pm 16,9$ мкм, $+38 \dots 79 \%$) и сосочков ($120,02 \pm 4,76$ мкм), связанным с механической нагрузкой. Высокое содержание протеина усиливает метаболизм азотистых соединений. Результаты подтверждают

© Карамушкина С.В., Митькин Ф.А., Вайнберг М.А., Агаркова А.А., Просекова Е.А., 2026



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

ценность соевого фуража как грубого корма, оптимизирующего пищеварение и снижающего затраты. Для точной интерпретации необходимы исследования с контрольной группой и анализом микробиома.

Ключевые слова: преджелудки овец, морфометрические показатели, эпителий рубца, сырая клетчатка, фуражные соевые отходы, летучие жирные кислоты

Вклад авторов: Карамушкина С.В. — концепция и схема исследования, сбор и обработка материалов, написание текста, общее руководство научной работой; Митькин Ф.А. — сбор и обработка материалов, написание текста; Вайнберг М.А. — сбор и обработка материалов, написание текста; Агаркова А.А. — сбор и обработка материалов, написание текста; Просекова Е.А. — написание текста.

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


История статьи: поступила в редакцию 12 сентября 2025 г., принята к публикации 27 октября 2025 г.

Для цитирования: Карамушкина С.В., Митькин Ф.А., Вайнберг М.А., Агаркова А.А., Просекова Е.А. Морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при введении в рацион соевого фуража // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С.122–136. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-122-136 EDN: FWETQR

Morphofunctional adaptations of the rumen wall in edilbaev sheep with introduction of soy feed in the diet

Svetlana V. Karamushkina  , Fedor A. Mitkin , Mark A. Vainberg ,
Alisa A. Agarkova , Elena A. Prosekova 

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

 sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. The aim of this study was to evaluate structural and functional changes in the rumen wall of Edilbaev sheep when soy feed (30.3% fiber, 16.15% protein) is included in the diet. The experiment was conducted at the private farm “Mashrapov” (Amur Region) on 20 sheep aged 7–8 months. Samples from the rumen atrium, dorsal sac, and ventral sac were fixed in 10% formalin, sectioned (5–6 μm), and stained with hematoxylin and eosin. Morphometric analysis ($n = 34$) was performed using a Hariomed IW-A1350C microscope, and the data were processed in Excel ($p \leq 0.05$). Feed nutritional value was analyzed at the Federal State Budgetary Institution “Amur Agrochemical Service Station”. In the absence of a control group, data from the dissertation by Melnikov SI (2022) on histological and morphometric characteristics of the rumen in Edilbaev sheep fed a hay-concentrate diet were used for comparison. The dorsal sac showed the highest papilla density (80.21 ± 1.27 per cm^2 , +167...300%) and height (3561 ± 14.6 μm , +97...197%) compared to the control (20...30 per cm^2 , 1200...1800 μm), as well as thinning of the stratum corneum (2.55 ± 0.07 μm , –15...36%), indicating enhanced absorption of volatile fatty acids associated with high fiber content. The ventral sac was characterized by thickening of the muscular layer (3577 ± 16.9 μm , +38...79%) and papillae (120.02 ± 4.76 μm), likely due to increased mechanical load. High protein content enhances nitrogen metabolism. The results confirm the value of soy feed as a roughage that optimizes digestion and reduces feeding costs. For more precise interpretation, further studies with a control group and microbiome analysis are required.

Keywords: sheep rumen, morphometric parameters, rumen epithelium, raw fibre, soybean meal, volatile fatty acids

Author Contributions: Karamushkina SV — study concept and design, collection and processing of materials, manuscript writing, overall supervision; Mitkin FA — collection and processing of materials, manuscript writing; Vainberg MA — collection and processing of materials, manuscript writing; Agarkova AA — collection and processing of materials, manuscript writing; Prosekova EA — manuscript writing.

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

Article history: received 12 September 2025; accepted 27 October 2025.

For citation: Karamushkina SV, Mitkin FA, Weinberg MA, Agarkova AA, Prosekova EA. Morphofunctional adaptations of the rumen wall in Edilbaev sheep with introduction of soy feed in the diet. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):122–136. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-122-136 EDN: FWETQR

Введение

Соевые бобы являются перспективным растительным продуктом, богатым протеином и содержащим девять незаменимых аминокислот. Производство сои увеличивается, и большая часть урожая используется для кормления сельскохозяйственных животных [1–3]. Отходы соевого производства богаты протеином и множеством других питательных веществ. Так, соевый фураж, состоящий из остатков бобов и стручков сои после обмолота, относится к типу грубых кормов.

Пищеварительная система овец приспособлена для переваривания грубого корма и для расщепления клетчатки, и как у всех жвачных животных для этой цели используются преджелудки, позволяющие с помощью микробиома получать продукты гидролиза клетчатки, содержащиеся в растительных кормах, для дальнейшего использования. Важнейшую роль в этом процессе играет рубец, где множество факторов создает оптимальные условия для брожения и всасывания его продуктов [4].

Наибольшая часть (70...85 %) сухого вещества рациона переваривается в рубце и только 15...30 % в последующих отделах желудочно-кишечного тракта животного. Рубец, как и другие органы пищеварения, при изменении рациона способен адаптировать слизистую оболочку для оптимальной работы, например, концентрированный тип кормления способствует увеличению площади сосочков рубца [5, 6].

Исходя из результатов анализа питательности соевого фуража и соевой соломы, а также из способности рубца к адаптации при изменении факторов кормления, предполагается, что рацион с соевым фуражом вызывает приспособительные изменения стенки рубца. Способность к адаптации органов пищеварения к условиям кормления служит залогом для успешного разведения животных в регионах с различными природно-климатическими условиями. Знания о возможных адаптационных перестройках стенки рубца позволяют оптимизировать кормление овец и повысить рентабельность производства за счет снижения себестоимости кормов.

Цель исследования — оценить характер и выраженность морфофункциональных перестроек стенки рубца овец эдильбаевской породы при включении в рацион соевого фуража как источника повышенного уровня клетчатки и протеина.

Соевый фураж рассматривается как новый кормовой ресурс, поэтому исследования по изучению его влияния на строение рубцовой стенки овец эдильбаевской породы фактически не проводились.

Материалы и методы исследования

Опыт проведен в крестьянско-фермерском хозяйстве ИП «Машрапов» Благовещенского района Амурской области. Овцы эдильбаевской породы (возраст 7–8 месяцев, $n = 20$) получали рацион, включающий соевый фураж, сено и соль-лизунец. Соевый фураж, состоящий из соевой половы, шелухи, некондиционных соевых бобов и семян сорных растений, проанализировали на питательность в ФГБУ «Станция агрохимической службы „Амурская“» (табл. 1).

Таблица 1

Питательность соевого фуража

№ п/п	Показатель	Методика испытаний (ГОСТ/метод)	Значение
1	Массовая доля влаги, %	ГОСТ Р 54951 ¹ (высушивание при 103 °С)	21,7
2	Массовая доля сырого протеина, %	ГОСТ 13496.4 ² (метод Кьельдаля)	16,15
3	Массовая доля сырого жира, %	ГОСТ 13496.15 ³ (экстракция)	6,15±0,68
4	Массовая доля сырой клетчатки, %	ГОСТ 31675 ⁴ (п. 6)	30,3±2,4
5	Массовая доля растворимых углеводов, %	ГОСТ 26176 ⁵ (фотометрический метод с антропным реактивом)	4,0±0,8
6	Массовая доля легкогидролизуемых углеводов, %		3,3±0,9
7	Кормовые единицы, кг	Методические указания ЦИНАО, 2002 г. ⁶	0,94
8	Обменная энергия, мДж/кг		10,8
9	Переваримый протеин, г/кг		129,2

Источник: составлено С.В. Карамушкиной, Ф.А. Митькиным, М.А. Вайнбергом, А.А. Агарковой, Е.А. Просековой.

¹ ГОСТ Р 54951–2012. Корма для животных. Определение содержания влаги. М. : Стандартинформ, 2013

² ГОСТ 13496.4–2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М. : Стандартинформ, 2019.

³ ГОСТ 13496.15–2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. М. : Стандартинформ, 2016.

⁴ ГОСТ 31675–2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. М. : Стандартинформ, 2020.

⁵ ГОСТ 26176–2019. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М. : Стандартинформ, 2019.

⁶ Сычев В.Г., Лепешкин В.В. Методические указания по оценке качества и питательности кормов / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства. М. : Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства, 2002. 76 с. EDN: UWFGBZ

Nutritional value of soybean fodder

№	Indicator	Test Method (GOST/Method)	Значение
1	Moisture content, %	GOST R 5495 ⁷ (drying at 103°C)	21.7
2	Crude protein content, %	GOST 13496 ⁸ (Kjeldahl method)	16.15
3	Crude fat content, %	GOST 13496 ⁹ (extraction)	6.15 ± 0.68
4	Crude fiber content, %	GOST 31675 ¹⁰ (Section 6)	30.3 ± 2.4
	Soluble carbohydrates content, %	GOST 26176 ¹¹ (photometric method with anthropic reagent)	4.0 ± 0.8
5 6	Easily hydrolyzable carbohydrates content, %		3.3 ± 0.9
7	Feed units, kg	Head Scientific and Methodological Center for the Agrochemical Service Guidelines, 2002 ¹²	0.94
8	Metabolizable energy, mJ/kg		10.8
9	Digestible protein, g/kg		129.2

Source: compiled by S.V. Karamushkina, F.A. Mitkin, M.A. Weinberg, A.A. Agarkova, E.A. Prosekova.

Материал для исследования получили при убое животных в возрасте 7–8 месяцев, осуществляемом с хозяйственной целью для получения продукции овцеводства. Все операции по сбору материала для исследования выполнены согласно директиве по охране животных, используемых в научных целях 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского Союза от 22.09.2010 г.¹³

Количество сосочков на 1 см² измеряли с помощью штангенциркуля. Анализ гистологических препаратов проводился на базе кафедры ветеринарной медицины РГАУ — МСХА К.А. Тимирязева. Для проведения гистологического исследования был произведен забор свежего материала стенки рубца. Общая выборка составила 20 голов. Материал забирался из трех различных мешков рубца: из преддверия, дорсального и вентрального мешков, с последующей фиксацией в 10% растворе нейтрального (забуференного) формалина в течение 24 ч, после чего обезвоживали, просветляли, проводили парафинизацию и изготавливали срезы на санном микротоме толщиной 5–6 микрометров. Далее материал окрашивали гематоксилином и эозином по общепринятым в гистологии методикам¹⁴. На полученных гистологических срезах рубца проводили 34 измерения для каждого показателя. Измеряли длину и ширину сосочков, толщину рогового слоя эпителия и толщину

⁷ GOST R 54951–2012. Animal feed. Determination of moisture content. Moscow: Standartinform, 2013.

⁸ GOST 13496.4–2019. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining nitrogen and crude protein content. Moscow: Standartinform, 2019.

⁹ GOST 13496.15–2016. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining the mass fraction of crude fat. Moscow: Standartinform, 2016.

¹⁰ GOST 31675–2012. Feed. Methods for Determining Crude Fiber Content Using Intermediate Filtration. Moscow: Standartinform, 2020.

¹¹ GOST 26176–2019. Feed and compound feed. Methods for determining soluble and readily hydrolyzable carbohydrates. Moscow: Standartinform, 2019.

¹² Sychev VG, Lepeshkin VV. *Metodicheskie ukazaniya po otsenke kachestva i pitatel'nosti kormov* [Guidelines for the Evaluation of Feed Quality and Nutritional Value]. Moscow: Central Research Institute for Agrochemical Services in Agriculture, Ministry of Agriculture of the Russian Federation; 2002:76. EDN: UWFGBZ

¹³ Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes // Official Journal of the European Union. 2010. L 276/33.

¹⁴ Микроскопическая техника : руководство / под ред. Д.С. Саркисова, Ю.Л. Перова. М. : Медицина, 1996. 544 с.

всего эпителия, толщину стенок артериол и венул в соединительной ткани сосочка, толщину соединительнотканых элементов собственной пластинки слизистой оболочки рубца в комплексе с подслизистой оболочкой, толщину мышечной оболочки в целом и ее слоев, а также серозную оболочку и стенку рубца.

Анализ гистологических препаратов проводился на базе кафедры ветеринарной медицины РГАУ — МСХА К.А. Тимирязева при помощи светооптического бинокулярного микроскопа *Harioned IW-A1350C SN24/1007*. Микрофотографирование проводили при помощи цифровой фотокамеры *ADF live 4k* и программного обеспечения *ADF*.

Ввиду хозяйственных условий опыта контрольная группа на стандартном рационе не формировалась; для сравнения использовались данные Мельникова (2022) [12] для эдильбаевских овец того же возраста на рационе с сеном, что позволило оценить морфофункциональные адаптации рубца к соевому фуражу.

Полученные данные подвергли статистической обработке с помощью программы *Excel*. Достоверными считали показатели при $p \leq 0,05$. Используемые анатомические и гистологические термины удовлетворяют требованиям международной номенклатуры¹⁵.

Результаты исследования и обсуждение

Слизистая оболочка рубца представлена многослойным плоским ороговевающим эпителием, которая подстигается рыхлой соединительной тканью собственной пластинки. Мышечная пластинка слизистой не развита. Сосочки рубца имеют ланцетовидную форму (рис. 1). Каждый сосочек рубца состоит из соединительнотканной основы, покрытой многослойным плоским эпителием. На верхушках сосочков встречаются мелкие кровеносные сосуды овального или округлого сечения. Мышечная оболочка стенки рубца представлена циркулярным и продольным слоями гладкомышечной ткани. Серозная оболочка состоит из соединительнотканной основы, покрытой однослойным плоским эпителием. Все эти особенности гистологического строения описаны в [7–11].

Для сравнения с контрольными показателями были использованы данные [12], полученные для эдильбаевских овец того же возраста (7–8 месяцев) на стандартном рационе (сено).

Согласно С.И. Мельникову (см. табл. 3 [12]), плотность сосочков в дорсальном мешке составляет 20...30 на 1 см², высота сосочков — 1200...1800 мкм, толщина рогового слоя эпителия — 3,0...4,0 мкм, толщина эпителия — 20–30 мкм, толщина подслизистой оболочки — 50...80 мкм, а толщина мышечной оболочки — 2000–2600 мкм. Наши результаты показали, что в дорсальном мешке плотность сосочков ($80,21 \pm 1,27$) на 167...300 % выше, высота ($3561 \pm 14,6$ мкм) на 97...197 % больше, а толщина рогового слоя ($2,55 \pm 0,07$ мкм) на 15...36 % меньше, чем в контроле. Толщина мышечной оболочки в вентральном мешке ($3577 \pm 16,9$ мкм) превышает

¹⁵ Международная гистологическая номенклатура / под ред. В.В. Семченко, Р.П. Самусева, М.В. Моисеева, З.Л. Колосовой. Омск : Омская медицинская академия, 1999. 156 с.

контрольные значения на 38...79 %, что указывает на усиление моторной функции под воздействием соевого фуража. Эти различия подтверждают морфофункциональную адаптацию рубца к рациону с высоким содержанием клетчатки.

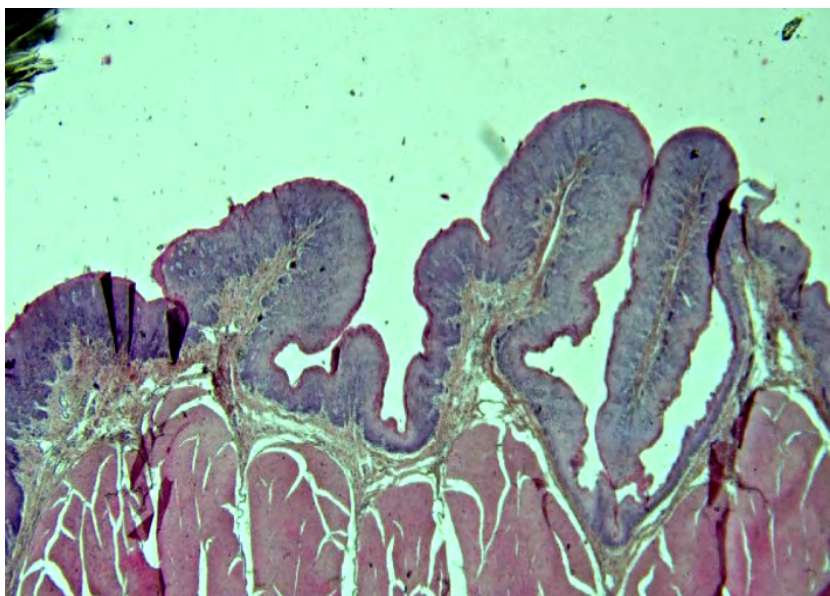


Рис. 1. Преддверие рубца овцы эдильбаевской породы при кормлении соевым шротом. Увеличение 12,5х. Окраска гематоксилин-эозин

Источник: выполнено Ф.А. Митькиным.

Fig. 1. Rumen vestibule of an Edilbaev sheep fed soybean meal. Magnification 12.5x. Hematoxylin and eosin staining

Source: compiled by F.A. Mitkin.

Толщина сосудистой стенки характеризует интенсивность процессов всасывания: чем тоньше стенка, тем интенсивней через нее происходит всасывание метаболитов рубцовой ферментации. Из табл. 2 видим, что наименьшая толщина стенки артериолы наблюдается в дорсальном мешке, что в 1,6 раза меньше, чем в вентральной части, и в 1,5 раза — чем в преддверии. Толщина венул в дорсальном мешке на 15 % ниже, чем в вентральном мешке, и на 10 % — чем в преддверии. Большая толщина эпителия и стенок сосудов в вентральном мешке вероятно связана с давлением содержимого рубца на этот отдел.

Еще одним подтверждающим фактом усиленного всасывания питательных веществ служит толщина рогового слоя сосочков в дорсальном мешке, которая ниже на 21 %, чем в вентральном мешке, и на 22 % — в преддверии.

Высокие и узкие сосочки дорсального мешка, покрытые эпителием небольшой толщины, вероятно, создают оптимальные условия для всасывания летучих жирных кислот, которые в дальнейшем поступают в сосуды собственной пластинки, что объясняет ее лучшее развитие в данном участке.

Таблица 2

Морфометрия структур стенки рубца овец эдильбаевской породы при кормлении соевым фуражом $M \pm m$, $n = 34$

Параметры	Отделы рубца		
	Преддверие	Дорсальный мешок	Вентральный мешок
Количество сосочков на 1 см ² , шт.	59,71 ± 0,63 ^a	80,21 ± 1,27	50,71 ± 0,73 ^a
Высота сосочков, мкм	1901 ± 7,3 ^a	3561 ± 14,6	1241 ± 4,5 ^a
Толщина сосочков, мкм	88,15 ± 3,12 ^a	75,96 ± 2,72	120,02 ± 4,76 ^a
Толщина стенок артериол, мкм	2,23 ± 0,12 ^a	1,46 ± 0,15	2,27 ± 0,14 ^a
Толщина стенок венул, мкм	1,10 ± 0,20	1,00 ± 0,30	1,15 ± 0,05
Толщина рогового слоя эпителия сосочков, мкм	3,26 ± 0,14 ^a	2,55 ± 0,07	3,21 ± 0,11 ^a
Толщина эпителия, мкм	23,93 ± 1,67 ^a	19,76 ± 1,12	32,72 ± 2,56 ^a
Толщина слизистой оболочки между сосочками (min), мкм	216,65 ± 8,63 ^a	370,56 ± 15,08	160,21 ± 5,99 ^a
Толщина подслизистой оболочки, мкм	71,64 ± 6,54 ^a	124,09 ± 5,04	35,34 ± 1,47 ^a
Кольцевой слой мышечной оболочки, мкм	1890 ± 8,7 ^a	1401 ± 11,9	2330 ± 16,3 ^a
Продольный слой мышечной оболочки, мкм	1051 ± 6,74	1166 ± 7,55	1247 ± 17,55
Мышечная оболочка, мкм	2941 ± 9,5 ^a	2567 ± 9,7	3577 ± 16,9 ^a
Серозная оболочка, мкм	24,41 ± 1,59 ^a	18,68 ± 0,87	20,53 ± 3,9 ^a
Толщина органа, мкм	3253 ± 12,80 ^a	3080 ± 17,21	3793 ± 22,87 ^a

Примечание. ^a $p < 0,05$ уровень достоверности при сравнении с дорсальным мешком.

Источник: составлено С.В. Карамушкиной, Ф.А. Митькиным, М.А. Вайнбергом, А.А. Агарковой, Е.А. Просековой.

Table 2

Morphometry of rumen wall structures in Edilbaev sheep fed soybean forage $M \pm m$, $n = 34$

Parameters	Rumen departments		
	Vestibule	Dorsal bag	Ventral bag
Number of papillae per 1 cm ² , pcs.	59.71 ± 0.63 ^a	80.21 ± 1.27	50.71 ± 0.73 ^a
Papillae height, μm	1901 ± 7.3 ^a	3561 ± 14.6	1241 ± 4.5 ^a
Papillae thickness, μm	88.15 ± 3.12 ^a	75.96 ± 2.72	120.02 ± 4.76 ^a
Arteriole wall thickness, μm	2.23 ± 0.12 ^a	1.46 ± 0.15	2.27 ± 0.14 ^a
Venule wall thickness, μm	1.10 ± 0.20	1.00 ± 0.30	1.15 ± 0.05
Papillary epithelial stratum corneum thickness, μm	3.26 ± 0.14 ^a	2.55 ± 0.07	3.21 ± 0.11 ^a
Epithelial thickness, μm	23.93 ± 1.67 ^a	19.76 ± 1.12	32.72 ± 2.56 ^a
Interpapillary mucosal thickness (min), μm	216.65 ± 8.63 ^a	370.56 ± 15.08	160.21 ± 5.99 ^a
Submucosa thickness, μm	71.64 ± 6.54 ^a	124.09 ± 5.04	35.34 ± 1.47 ^a
Circular muscularis propria, μm	1890 ± 8.7 ^a	1401 ± 11.9	2330 ± 16.3 ^a
Longitudinal muscularis propria, μm	1051 ± 6.74	1166 ± 7.55	1247 ± 17.55
Muscularis propria, μm	2941 ± 9.5 ^a	2567 ± 9.7	3577 ± 16.9 ^a
Serous membrane, μm	24.41 ± 1.59 ^a	18.68 ± 0.87	20.53 ± 3.9 ^a
Organ thickness, μm	3253 ± 12.80 ^a	3080 ± 17.21	3793 ± 22.87 ^a

Note. ^a $p < 0.05$ significance level when compared with the dorsal sac.

Source: compiled by S.V. Karamushkina, F.A. Mitkin, M.A. Weinberg, A.A. Agarkova, E.A. Prosekova.

Таблица 3

Контрольные морфометрические показатели стенки рубца овец эдильбаевской породы на стандартном рационе

Параметр	Преддверие	Дорсальный мешок	Вентральный мешок
Количество сосочков на 1 см ² , шт.	18–28	20–30	15–25
Высота сосочков, мкм	1000–1500	1200–1800	800–1200
Толщина сосочков, мкм	90–110	80–100	100–120
Толщина рогового слоя эпителия, мкм	3,0–4,0	3,0–4,0	3,0–4,0
Толщина эпителия, мкм	20–30	20–30	25–35
Толщина подслизистой оболочки, мкм	40–60	50–80	30–50
Толщина мышечной оболочки, мкм	2000–2500	2000–2600	2100–2600
Толщина серозной оболочки, мкм	20–30	20–30	20–30

Источник: [12].

Table 3

Control morphometric parameters of the rumen wall in Edilbaev sheep fed a standard diet

Parameter	Vestibule	Dorsal bag	Ventral bag
Number of papillae per 1 cm ² , pcs.	18–28	20–30	15–25
Papillae height, μm	1000–1500	1200–1800	800–1200
Papillae thickness, μm	90–110	80–100	100–120
Corneumonic layer thickness, μm	3.0–4.0	3.0–4.0	3.0–4.0
Epithelial thickness, μm	20–30	20–30	25–35
Submucosa thickness, μm	40–60	50–80	30–50
Muscular layer thickness, μm	2000–2500	2000–2600	2100–2600
Serosa thickness, μm	20–30	20–30	20–30

Source: [12].

Немаловажный показатель моторной функции рубца — толщина мышечной оболочки его стенки. На рис. 2 приведены морфометрические данные продольного и кольцевого слоя мышечной оболочки.

Наибольшая толщина мышечной стенки рубца регистрируется в вентральном мешке — $3577 \pm 16,9$ мкм (см. табл. 2) — за счет увеличения толщины кольцевого слоя до $2330 \pm 16,3$ мкм, что в 1,7 раза выше, чем в вентральном мешке, и в 1,2 раза, чем в преддверии.

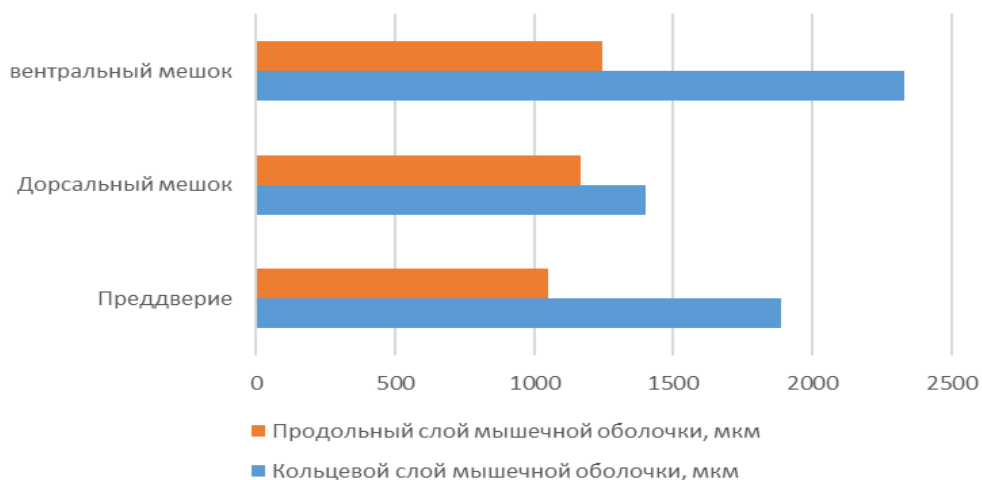


Рис. 2. Сравнительная характеристика толщины мышечной оболочки различных отделов рубца овец при введении в рацион соевого фуража

Источник: выполнено С.В. Карамушкиной.

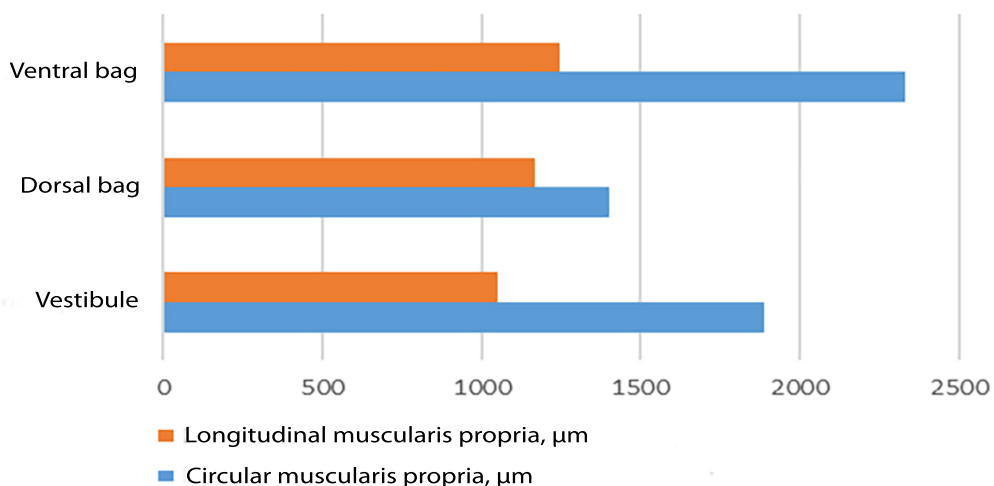


Fig. 2. Comparative characteristics of the thickness of the muscular membrane of various sections of the rumen of sheep fed soybean forage

Source: compiled by S.V. Karamushkina.

Проводя сравнительный анализ других оболочек рубцовой стенки овец, можно отметить значительное увеличение подслизистого слоя в дорсальном мешке — до $124,09 \pm 5,04$ мкм. Данный факт связан с интенсивной всасывающей активностью и характеризуется расположением в этом слое кровеносных сосудов и нервов (рис. 3).

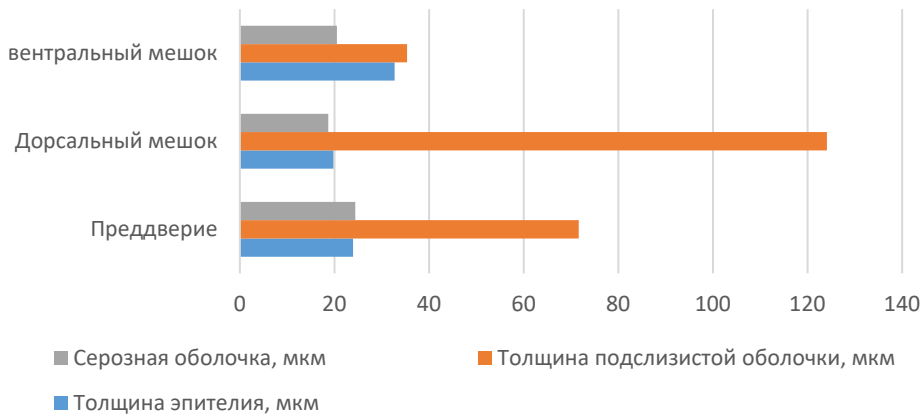


Рис. 3. Сравнительная характеристика толщины слоев рубцовой стенки овец, при введении в рацион соевого фуража.

Источник: выполнено С.В. Карамушкиной.

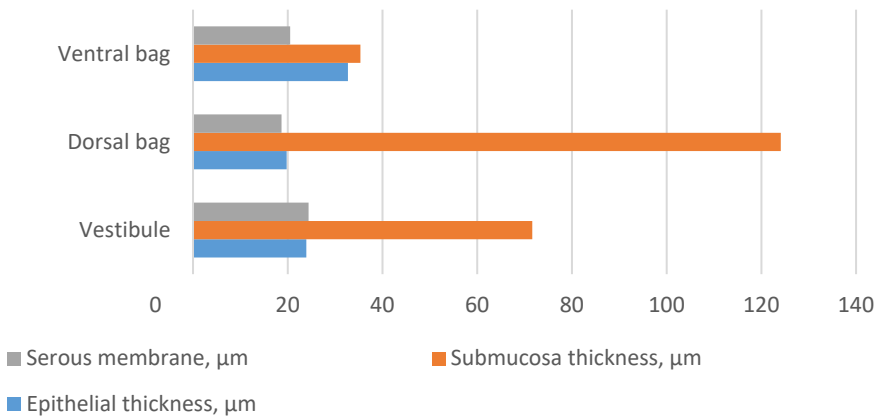


Fig. 3. Comparative characteristics of the rumen wall layers thickness in sheep fed soybean forage

Source: compiled by S.V. Karamushkina.

Мы изучили морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы при кормлении соевым фуражом, состоящим из соевой половины, шелухи, некондиционных бобов и семян сорных растений. Анализ питательности фуража, проведенный в ФГБУ «Станция агрохимической службы «Амурская», показал высокое содержание сырой клетчатки ($30,3 \pm 2,4\%$), сырого протеина ($16,15\%$) и переваримого протеина ($129,2$ г/кг), а также обменной энергии ($10,8$ мДж/кг), что делает фураж полноценным грубым кормом, сравнимым с качественным сеном. Эти характеристики определили выраженные изменения гистоструктуры рубца, особенно в дорсальном мешке, где наблюдались наибольшая плотность ($80,21 \pm 1,27$ на 1 см^2) и высота сосочков ($3561 \pm 14,6$ мкм).

Эти изменения указывают на усиление абсорбционной функции дорсального мешка, что согласуется с данными В.В. Малашко и др. [13] о роли летучих жирных кислот (ЛЖК) в морфологии рубца. Высокое содержание клетчатки в фураже (30,3 %) стимулирует активность целлюлозоразрушающих бактерий, таких как *Ruminococcus* и *Fibrobacter*, что увеличивает производство ЛЖК (например, уксусной кислоты), способствующих удлинению сосочков и истончению рогового слоя для улучшения всасывания.

Толщина мышечной оболочки в вентральном мешке ($3577 \pm 16,9$ мкм) на 38...79 % превышает контрольные значения (2000...2600 мкм), что отражает повышенную механическую нагрузку на этот отдел рубца ввиду введения в рацион корма, включающего полосу и шелуху. Увеличение толщины подслизистого слоя в дорсальном мешке ($124,09 \pm 5,04$ мкм против 50...80 мкм) и истончение стенок артериол ($1,46 \pm 0,15$ мкм против 2,0...3,0 мкм) подтверждают адаптацию к интенсивному транспорту метаболитов. Высокое содержание протеина в фураже (16,15 %) и переваримого протеина (129,2 г/кг), вероятно, усиливает метаболизм азотистых соединений в дорсальном мешке, что согласуется с исследованиями Zhao и др. [14], показавшими увеличение сосочков при добавлении высокопротеиновых кормов.

Различия между отделами рубца (длинные и тонкие сосочки в дорсальном мешке, короткие и широкие в вентральном) связаны как с функциональными особенностями (абсорбция в дорсальном, механическое давление в вентральном), так и с составом микробиоты. Большое содержание клетчатки в фураже, предположительно, способствует росту целлюлозолитических бактерий и анаэробных грибов (*Neocallimastix*, *Piromyces*), которые, согласно Gruninger и др. [15], увеличивают деградацию клеточных стенок на 20...30 %, повышая концентрацию ЛЖК. Это объясняет морфологические изменения, особенно в дорсальном мешке.

Ограничением исследования является отсутствие контрольной группы, обусловленное хозяйственными условиями опыта (убой в производственных целях). Сравнение с данными С.И. Мельникова компенсирует это, но для более точной интерпретации необходимо сравнение с прямой контрольной группой на сенноконцентратном рационе. Также дальнейший анализ микробиома рубца (например, секвенирование 16S рРНК) позволит уточнить роль фуража в изменении микробного состава и его влиянии на морфологию.

Заключение

Исследование выявило морфофункциональные адаптации стенки рубца овец эдильбаевской породы к рациону с соевым фуражом (30,3 % клетчатки, 16,15 % протеина). Дорсальный мешок показал наибольшую плотность ($80,21 \pm 1,27$ на 1 см^2) и высоту сосочков ($3561 \pm 14,6$ мкм), что соответственно на 167...300 % и 97...197 % выше контроля, указывая на усиление абсорбции ЛЖК. Вентральный мешок характеризовался утолщением мышечной оболочки ($3577 \pm 16,9$ мкм, +38...79 %) и сосочков ($120,02 \pm 4,76$ мкм), обусловленным механической нагрузкой.

кой грубого корма. Эти адаптации, связанные с высокой клетчаткой и протеином фуража, подтверждают его ценность как кормового ресурса, позволяющего оптимизировать пищеварение и снизить затраты на кормление.

Список литературы

1. Валькова В.В., Бушукина О.С., Здоровинин В.А. Морфология многокамерного желудка овец эдильбаевской породы при искусственном выращивании // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2014. Т. 218. № 2. С. 33–37. EDN: SEXZFT
2. Грушкин А.Г., Шевелев Н.С. О морфофункциональных особенностях микробиоты рубца жвачных животных и роли целлюлозолитических бактерий в рубцовом пищеварении // Сельскохозяйственная биология. 2008. Т. 43. № 2. С. 12–19. EDN: ISIEDX
3. Задорин А.М., Зеленов А.А., Мордвина М.В. Достижения селекции Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур в аспекте роста соевого производства в России // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 2 (30). С. 53–56. doi: 10.24411/2309–348X-2019–11088 EDN: OGZYRY
4. Карамушкина С.В., Курятова Е.В., Вадько А.В., Осипов Я.А. Структурная адаптация рубцовой стенки у овец к отходам соевого производства // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2024. Т. 60. № 3. С. 13–17. doi: 10.52368/2078-0109-2024-60-3-13-17 EDN: KORVHD
5. Клименкова И.В., Баркалова Н.В. Микроморфологические особенности органов пищеварительной системы овец // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сборник научных трудов в 2-х частях. Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. С. 46–54. EDN: IQKUAW
6. Клычова Г.С., Цыпин А.П., Валиев А.Р. Перспективы развития рынка сои и его значимость для Российской экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 128–134. doi: 10.12737/2073-0462-2021-128-134 EDN: PBULND
7. Мельников С.И., Щипакин М.В. Постнатальный гистогенез преджелудков у овец эдильбаевской породы // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика : сб. трудов Всеросс. (национальной) науч.-практ. конф., Москва, 01–04 июня 2021 г. М. : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина», 2021. С. 127–130. EDN: IBJYCR
8. Мельников С.И., Щипакин М.В. Артериальное кровоснабжение сычуга овец эдильбаевской породы // Актуальные вопросы развития аграрной науки : сб. материалов Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 15-летию со дня образования института биотехнологии и ветеринарной медицины, Тюмень, 12 окт. 2021 г. Тюмень : Гос. аграр. ун-т Северного Зауралья, 2021. С. 248–250. EDN: UNGCAV
9. Мельников С.И., Щипакин М.В. Гистологическая характеристика стенки рубца овец эдильбаевской породы // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 292–295. doi: 10.17238/issn2072–2419.2021.1.292 EDN: HELYZX
10. Плужникова З.М. Возрастные особенности гистологического строения рубца овцы // Труды Оренбургского СХИ. 1964. Т. 10. С. 115–121.
11. Шпыгова В.М. Динамика морфометрических параметров эпителия рубца крупного рогатого скота в постнатальном онтогенезе // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (52). С. 134–139. doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-134-139 EDN: YNOJCL
12. Мельников С.И. Морфологические основы функционального становления многокамерного желудка овец эдильбаевской породы : дис. ... канд. вет. наук. СПб., 2022. 181 с. EDN: ENLZJK
13. Малашко В.В., Тумилович Г.А., Али О.Х. и др. Структурно-метаболические процессы в рубце и влияние на них факторов питания // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы : сб. науч. тр. / Гродненский гос. аграрный ун-т. Гродно, 2016. Т. 33: Ветеринария. С. 88–100. EDN: XAXXTB
14. Zhao J., Zhao X., Gao J. et al. Ensiled diet improved the growth performance of Tibetan sheep by regulating the rumen microbial community and rumen epithelial morphology // Journal of Animal Science. 2024. Vol. 102. doi: 10.1093/jas/skae173 EDN: DTVHEW
15. Gruninger R., Puniya A., Callaghan T., Edwards J., Youssef N., Dagar S., Fliiegerová K., Griffith G., Forster R., Tsang A., McAllister T., Elshahed M. Anaerobic fungi (phylum *Neocallimastigomycota*): advances

in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential // *FEMS microbiology ecology*. 2014. Vol. 90. № 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12383>

References

1. Valkova VV, Bushukina OS, Zdorovinin VA. The morphology of edilbaevskaya sheep multi-chambered stomach in artificial breeding. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. 2014;218(2):33–37. (In Russ.). EDN: SEXZFT
2. Grushkin AG, Shevelev NS. About morphofunctional features of rumen microbiota in ruminant animals and the role of cellulolytic bacteria in ruminant digestion. *Agricultural Biology*. 2008;43(2):12–19. (In Russ.). EDN: ISIEDX
3. Zadorin AM, Zelenov AA, Mordvina MV. Achievements of selection of federal scientific center of legumes and grain crops in the aspect of the growth of soybean production in Russia. *Legumes and Grain Crops*. 2019;(2):53–56. (In Russ.). doi:10.24411/2309-348X-2019-11088 EDN: OGZYRY
4. Karamushkina SV, Kuryatova EV, Vadko AV, Osipov YA. Structural adaptation of rumen wall to soybean production wastes in sheep. *Transactions of the Educational Establishment «Vitebsk the Order of 'the Badge of Honor' State Academy of Veterinary Medicine*. 2024;60(3):13–17. (In Russ.). doi: 10.52368/2078-0109-2024-60-3-13-17 EDN: KORVHD
5. Klimenkova IV, Barkalova NV. Micromorphological features of the digestive system organs in sheep. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva: sbornik nauchnykh trudov v 2-kh chastyakh*. [Actual Problems of Intensive Development of Animal Husbandry: Proceedings]. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy. 2016:46–54. (In Russ.). EDN: IQKUAW
6. Klychova GS, Tsy-pin AP, Valiev AR. Prospects for the soybean market development and its importance for the Russian economy. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021;16(3):128–134. (In Russ.). doi: 10.12737/2073-0462-2021-128-134 EDN: PBULND
7. Melnikov SI, Shchipakin MV. Postnatal histogenesis of the forestomachs in Edilbaev sheep. *Morfologiya v XXI veke: teoriya, metodologiya, praktika: sb. trudov Vseross. (natsional'noi) nauch.-prakt. konf., Moskva, 01–04 iyunya 2021 g. [Morphology in the XXI Century: Theory, Methodology, Practice: Proceedings All-Russian Scientific-Practical Conference]*. Moscow; 2021:127–130. (In Russ.). EDN: IBJYCR
8. Melnikov SI, Shchipakin MV. Arterial blood supply abomasum of edilbaevskoy breed sheep. In: *Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnoi nauki: sb. materialov Vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashch. 15-letiyu so dnya obrazovaniya instituta biotekhnologii i veterinarnoi meditsiny, Tyu-men', 12 okt. 2021 g. [Current issues in the development of agricultural science: collection of materials from the All-Russian (nats.) scientific and practical conference dedicated to the 15th anniversary of the founding of the Institute of Biotechnology and Veterinary Medicine, Tyumen, October 12, 2021]*. Tyumen: State Agrarian University of Northern Trans-Urals; 2021:248–250. (In Russ.). EDN: UNGCAV
9. Melnikov SI, Shchipakin MV. Histological characteristics of the rumen wall of edilbaevskaya sheep. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2021;(1):292–295. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2072-2419.2021.1.292 EDN: HELYZX
10. Pluzhnikova ZM. Age-related features of the histological structure of the sheep rumen. *Trudy Orenburgskogo SKhI*. 1964;10:115–121. (In Russ.).
11. Shpygova VM. Dynamics of morphometric parameters of cicatricial epithelium in cattle in postnatal ontogenesis. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;(4):134–139. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-134-139 EDN: YNOJCL
12. Melnikov SI. *Morfologicheskie osnovy funktsional'nogo stanovleniya mnogokamernogo zheludka ovets ehdiil'ba-evskoi porody [Morphological bases of functional development of the multichamber stomach in Edilbaev sheep]*. PhD thesis. Saint Petersburg; 2022. (In Russ.). EDN: ENLZJK
13. Malashko VV, Tumilovich GA, Ali OH, et al. Structural and metabolic processes in rumen and influence of nutritive factors on these processes (theoretical and practical aspects of digestion of ruminant animals). In: *Sel'skoe khozyaistvo — problemy i perspektivy: sb. nauch. tr. / Grodnenskiy gos. agrarniy un-t. Grodno, 2016. T. 33: Veterinariya [Agriculture — problems and prospects: collection of scientific papers / Grodno State Agrarian University. Grodno, 2016. Vol. 33: Veterinary science]*. Grodno: Grodno State Agrarian University; 2016;33:88–100. (In Russ.). EDN: XAXXTB

14. Zhao J, Zhao X, Gao J, et al. Ensiled diet improved the growth performance of Tibetan sheep by regulating the rumen microbial community and rumen epithelial morphology. *Journal of Animal Science*. 2024;102. doi: 10.1093/jas/skae173 EDN: DTVHEW

15. Gruninger R, Puniya A, Callaghan T, et al. Anaerobic fungi (phylum Neocallimastigomycota): advances in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential. *FEMS Microbiology Ecology*. 2014;90(1):1–17. doi: 10.1111/1574-6941.12383

Об авторах:

Карамушкина Светлана Владимировна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: sveta.vetmed@mail.ru
ORCID: 0009-0009-6485-7146 SPIN-код: 4828-4148

Митькин Фёдор Александрович — студент института зоотехнии и биологии, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: fedormitkin24@gmail.com
ORCID: 0009-0008-0467-958X SPIN-код: 3954-4844

Вайнберг Марк Александрович — студент института зоотехнии и биологии, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: vajnbergmark8@gmail.com
ORCID: 0009-0008-9702-9577 SPIN-код: 1394-6706

Агаркова Алиса Анатольевна — ассистент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: agarkova-vasilisa@mail.ru
ORCID: 0009-0003-2696-2320 SPIN-код: 2006-9679

Просекова Елена Александровна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: proseka2004@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1819-0618 SPIN-код: 1052-1132

About the Authors:

Karamushkina Svetlana Vladimirovna — Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: sveta.vetmed@mail.ru
ORCID: 0009-0009-6485-7146 SPIN-code: 4828-4148

Mitkin Fedor Aleksandrovich — Student, Institute of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: fedormitkin24@gmail.com
ORCID: 0009-0008-0467-958X SPIN-code: 3954-4844

Vainberg Mark Aleksandrovich — Student, Institute of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: vajnbergmark8@gmail.com
ORCID: 0009-0008-9702-9577 SPIN-code: 1394-6706

Agarkova Alisa Anatolevna — Assistant, Department of Morphology and Veterinary Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: agarkova-vasilisa@mail.ru
ORCID: 0009-0003-2696-2320 SPIN code: 2006-9679

Prosekova Elena Aleksandrovna — Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Morphology and Veterinary Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: proseka2004@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1819-0618 SPIN-code: 1052-1132



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-137-145

EDN FXAFEP

УДК 636.8:619:616.617-089

Научная статья / Research article

Эзофагостомальное кормление в ранний постоперационный период у кошек после уретротомии при обструкции мочеточника

В.А. Люст^{1,2}  , Ю.А. Ватников¹ , В.И. Семёнова¹ , Е.В. Куликов¹ ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Сеть ветеринарных клиник «Алисавет», г. Москва, Российская Федерация 1142220008@rudn.ru

Аннотация. Приведены результаты раннего постоперационного эзофагостомального кормления у кошек после уретротомии на фоне обструкции мочеточника с входящими показателями креатинина в районе 1200 мкмоль/л. Цель исследования — оценить постановку эзофагостомы у кошек на восстановление в послеоперационный период после обструкции мочеточника. Создано 2 группы: контрольная, состоящая из 8 пациентов, и опытная — из 5 пациентов. Входные показатели креатинина были около 1200 мкмоль/л, показатели мочевины в пределах 51...53 ммоль/л. Медикаментозное лечение идентичное в двух группах: анальгезия, инфузионная терапия кристаллоидными растворами с перерасчетом каждый день и антибиотикотерапия в течение всего исследования. В опытной группе во время оперативного вмешательства по устранению обструкции в мочеточниках устанавливали пищевой зонд для кормления через эзофагостому, также дополнительно в терапию добавлена инфузия метоклопрамидом в дозировке 1–2 мг/кг/сут. До и после операции, на 3, 5, 7, 14 день оценивали показатели мочевины и креатинина. Результаты показали однозначно улучшенную динамику снижения азотемии в опытной группе. На 14 день исследования показатель мочевины в опытной группе был ниже на 6,5 %, чем в контрольной, как и показатель креатинина — на 7,5 %. В среднем показатель азотемии в опытной группе снижался на 11 % быстрее, чем в контрольной. Также пациенты из опытной группы показали самостоятельный аппетит на 2,8 ± 0,4 день (в отличие от контрольной (на 4,8 ± 0,5)), что положительно сказывалось на общем самочувствии пациентов. Кормление по эзофагостоме в ранний постоперационный период у кошек на фоне обструкции мочеточника показывает, что оно является важной составляющей в терапии и позволяет улучшить динамику снижения показателей мочевины и креатинина у пациентов.

Ключевые слова: лечение, анализ крови, раннее послеоперационное кормление, азотемия

© Люст В.А., Ватников Ю.А., Семёнова В.И., Куликов Е.В., 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: Авторы в равной степени внесли свой вклад в подготовку данного исследования и написание текста.

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

История статьи: поступила в редакцию 15 декабря 2025 г., принята к публикации 14 января 2026 г.


Для цитирования: Луст В.А., Ватников Ю.А., Семёнова В.И., Куликов Е.В. Эзофагостомальное кормление в ранний постоперационный период у кошек после уретротомии при обструкции мочеточника // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 137–145. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-137-145 EDN: FXAFEP

Esophagostomy feeding in the early postoperative period in cats after ureterotomy for ureteral obstruction

Vladislav A. Lust^{1,2}  , Yuri A. Vatnikov¹ , Valentina I. Semenova¹ ,
Evgeny V. Kulikov¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Veterinary clinics “Alisavet”, Moscow, Russian Federation

 1142220008@rudn.ru

Abstract. The study presents the results of early postoperative esophagostomy feeding in cats after ureterotomy performed for ureteral obstruction, with initial creatinine levels around 1200 $\mu\text{mol/L}$. The aim of the study was to evaluate the effect of esophagostomy tube placement on recovery in the postoperative period in cats with ureteral obstruction. Two groups were formed: a control group consisting of 8 patients, and an experimental group consisting of 5 patients. Initial creatinine values were approximately 1200 $\mu\text{mol/L}$, urea values were ranged from 51 to 53 mmol/L. Drug therapy was identical in both groups and included analgesia, infusion therapy with crystalloid solutions (recalculated daily), and antibiotic therapy throughout the study period. In the experimental group, during the surgical intervention to eliminate urethral obstruction, a feeding tube was placed for esophagostomy feeding. Additionally, metoclopramide infusion at a dose of 1–2 mg/kg/day was included in the treatment protocol. Urea and creatinine levels were assessed before surgery and on days 3, 5, 7, and 14 postoperatively. The results demonstrated a clearly improved rate of reduction in azotemia in the experimental group. By day 14, urea levels in the experimental group were 6.5% lower than in the control group, and creatinine levels were 7.5% lower. On average, azotemia decreased 11% faster in the experimental group. Additionally, patients in the experimental group showed spontaneous appetite earlier (2.8 ± 0.4 days) compared to the control group (4.8 ± 0.5 days), which positively affected their overall condition. Early postoperative esophagostomy feeding in cats with ureteral obstruction is therefore an important component of therapy, improving the dynamics of urea and creatinine reduction.

Keywords: treatment, blood test, early postoperative feeding, azotemia

Authors' contribution: The authors contributed equally to the preparation of this study and writing of the text.

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

Article history: received 15 December 2025; accepted 14 January 2026.

For citation: Lyust VA, Vatnikov YuA, Semenova VI, Kulikov EV. Esophagostomy feeding in the early postoperative period in cats after ureterotomy for ureteral obstruction. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):137–145. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-137-145 EDN: FXAFEP

Введение

Раннее кормление в постоперационный период у кошек — один из основополагающих факторов, влияющих на качество и скорость восстановления после операции. У пациентов, перенесших уретротомию с показателем креатинина свыше 1000 мкмоль/л, как правило, регистрируются анорексия, рвота, депрессия, снижение активности [1, 2]. При этом длительное отсутствие поступления пищи может увеличивать риск липидоза печени, а раннее начало питания может улучшить прогноз и скорость восстановления пациента после операции и выписки на амбулаторное лечение [3, 4]. Нутритивная поддержка важна для животных в период восстановления после болезни или операции. Многие животные выздоравливают после легких заболеваний или стандартных хирургических вмешательств в домашних условиях, но пациенты с более серьезными заболеваниями или состояниями во время восстановления находятся в стационаре. Ранняя нутритивная поддержка улучшает прогноз и сокращает время госпитализации у собак [5]. Правильное усвоение жидкости, энергии и необходимых питательных веществ имеет важнейшее значение в течение первых 14 дней после травмы или начала заболевания [5]. Животному, восстанавливающемуся после болезни или операции, важно получать питательные вещества, чтобы обеспечить оптимальное функционирование желудочно-кишечного тракта. Энтеральное питание предпочтительнее парентерального, поскольку внутрисветные средства стимулируют работу желудочно-кишечного тракта [5].

Следует отметить, что после перенесенной операции [6–10] и стабилизации острая почечная недостаточность переходит в хроническую стадию, которая требует пожизненной терапии. В стандартном протоколе ведения таких пациентов описано применение инфузионной терапии (стерофундинд, рингер, йоностерил), антибиотикотерапии и анальгезии [11–13]. Нутритивная поддержка наряду с инфузионной терапией требует детального изучения и проработки протоколов постоперационного ведения животных по причине того, что в послеоперационный период у кошек может отсутствовать самостоятельный аппетит по таким факторам, как боль, стресс в условиях стационара, тошнота и рвота на фоне азотемии [14]. По сравнению с другими животными у кошек есть ряд метаболических адаптаций, которые влияют на их способность поддерживать гомеостаз в условиях травм, болезней и недостатка пищи [15]. Например, им требуется больше белка и некоторых аминокислот [15].

На данный момент нет исследований обструкции мочеточников у кошек, у которых показатель креатинина свыше 1000 мкмоль/л, с превентивной постановкой эзофагостомы для кормления с целью улучшения качества восстановления после операции.

Цель исследования — оценить влияние постановки эзофагостомы у кошек на восстановление в послеоперационный период при уретротомии по поводу обструкции мочеточника.

Материалы и методы исследования

В ветеринарную клинику «Алисавет» с 02.01.2025 по 13.06.2025 поступило 13 кошек с острой ренальной недостаточностью, связанной с обструкцией мочеточника. Данных животных разделили на 2 группы. Первая контрольная группа включала в себя 8 пациентов, вторая, опытная — 5. Пациенты обеих групп на момент исследования имели креатинин свыше 1000 мкмоль/л, что являлось серьезной степенью развития болезни и говорило о тяжелом состоянии животных. Во всех группах причиной обструкции служил конкремент в просвете мочеточника, который уже вызывал частичную или полную обструкцию. Все пациенты в первые 7 дней постоперационного периода получали антибиотик пенициллинового ряда в виде амоксициллин + клавулановая кислота в объеме 20 мг/кг внутривенно 2 раза в день или подкожно 1 раз в день [15–18].

Кошки получали инфузионную терапию до и после операции, включающую раствор стерофундина для коррекции дегидратации и электролитных нарушений [19–21].

Вместе с этим определяли дефицитный объем циркулирующей крови, продолжающиеся потери и поддерживающий объем жидкости.

Дефицитный объем рассчитывали по формуле

$$\% \text{ дегидратации} \times \text{масса тела, кг} \times 8, \quad (1)$$

где 8 — постоянная величина.

Продолжающуюся терапию рассчитывали при присутствии диареи и рвоты по формуле

$$1,5 \times \text{масса тела, кг} \times 24, \quad (2)$$

где 1,5 и 24 является постоянными величинами.

Поддерживающий объем определяли по формуле

$$(30 \times \text{Масса тела, кг}) + 70, \quad (3)$$

где 30 и 70 — постоянные величины.

Весь объем необходимой инфузии с одной скоростью поступал все 24 часа в сутки. Перерасчет объема необходимой инфузии производился ежедневно.

Во второй группе дополнительно в терапии использовалась внутривенная инфузия метоклопрамида для улучшения перистальтики желудка и тонкого кишечника в дозировке 1–2 мг/кг/сут на момент нахождения в стационаре.

Животным была проведена операции в объеме уретротомии, которая подразумевала под собой визуализацию пораженного мочеточника с конкрементом. После производился линейный разрез над конкрементом. После извлечения накладывался узловатый простой шов из нерассасывающегося монофиламента пропилен USP 7/0. После этого производили оценку состоятельности шва и послойно ушивали операционную рану.

Также во второй группе во время оперативного вмешательства устанавливали эзофагостому. Вводили зажим хирургический Хальстеда в пищевод через ротовую полость. Пальпировали место выпячивания конца инструмента и делали разрез.

Зажимом хирургического Хальстеда через раневое отверстие захватывали конец зонда и вынимали в сторону рта. После этого конец зонда вводили в пищевод. Проводили рентгенографию для оценки правильности постановки зонда и фиксировали с помощью кисетного шва.

Снятие эзофагостомы проводили через сутки после появления у пациента самостоятельного аппетита. Процедуру проводили без анестезии посредством снятия фиксирующего шовного материала и вытаскиванием зонда. После этого раневое отверстие никак не зашивалось: заживало по вторичному натяжению, но проводили ежедневные обработки хлоргексидином 0,05 % и бетадином.

Отслеживали пациентов в день операции, после операции на 3, 5, 7, 14 день. Оценивали такие показатели, как концентрация мочевины и креатинина в сыворотке крови, по причине того, что они являются явными факторами функциональности почек. Также производилась оценка самостоятельного аппетита. Все исследования проводили на биохимическом анализаторе DRI-CHEM NX500.

Весь статистический анализ проводили на персональном компьютере с использованием программы Microsoft Excel (Analysis ToolPak).

Результаты исследования и обсуждение

Клинические исследования показали, что нутритивная поддержка через установленную эзофагостому во второй группе на фоне инфузионной терапии осуществлялась на протяжении 3–4 дней, в последующем она снималась по причине того, что пациенты имели самостоятельный аппетит. Кормление начинали производить через 6...8 часов после операции. В первой группе самостоятельный аппетит появился только на 4–5 день.

Исследования показали однонаправленное изменение мочевины и креатинина, но разную эффективность в двух группах. У данных пациентов в течение 14 дней отмечалось улучшение общего состояния, что коррелировало с положительной динамикой показателей крови (табл.).

После оперативного вмешательства отмечено резкое снижение уровня мочевины: в первой группе на 9, во второй на 10,9 %, что свидетельствует об успешности разрешения односторонней обструкции мочеточника

В последующие сутки после операции концентрация мочевины постепенно снижалась. Уровень мочевины уменьшился: на 3-й день в первой группе на 17 % и во второй группе на 22 %, на 5-й день — на 7 и 18 %, а на 7-е сутки — на 39 и 29 % соответственно. К 14-му дню наблюдалось снижение показателя мочевины, однако он так и не достиг физиологической нормы. Видна более стремительная тенденция к снижению показателей азотемии со времени после операции до 5-го дня наблюдения, но на 7-й день она ускорила. К концу исследования, на 14-й день, показатели мочевины в первой группе было выше на 6,5 %, чем во второй.

После оперативного вмешательства отмечено резкое снижение уровня креатинина: в первой и второй группах на 73 %, что свидетельствует об успешности разрешения односторонней обструкции мочеточника. Уже на 3-й день уровень

креатинина уменьшился в первой группе на 29 % и во второй — на 41 %, на 5-й день на 26 и 36 % соответственно, а на 7-е сутки — на 49 % в обеих группах. К 14-му дню после операции показатели приблизились к референсным показаниям, но их не достигли. К концу исследования, на 14-й день, показатель креатинина в первой группе был выше на 7,5 %, чем во второй.

Биохимические показатели сыворотки крови кошек в постоперационный период

Показатели	Время после операции	ФП	Группы животных $M \pm t$	
			1	2
Мочевина, ммоль/л	До операции	3,28...10,24	51,8 ± 2,6	52,9 ± 2,5
	После операции		47,5 ± 1,8	47,7 ± 1,1
	3 день		40,9 ± 1,9	38,9 ± 1,1
	5 день		38,0 ± 1,8	32,9 ± 0,6
	7 день		27,3 ± 1,6	25,4 ± 0,7
	14 день		13,1 ± 1,3	12,3 ± 1,1
Креатинин, мкмоль/л	До операции	35...124	1190,6 ± 50,9	1179,6 ± 51,9
	После операции		684,4 ± 50,7	680,2 ± 66,6
	3 день		492,5 ± 38,7	479,6 ± 31,4
	5 день		388,6 ± 21,5	350,4 ± 10,4
	7 день		260,4 ± 16,7	235,6 ± 8,6
	14 день		186,3 ± 13,8	173,6 ± 15,5
День после операции, когда появился самостоятельный аппетит			4,8 ± 0,5	2,8 ± 0,4

Примечание. ФП — физиологический показатель; $p < 0,05$ по отношению к ФП.

Источник: составлено В.А. Люстом, Ю.А. Ватниковым, В.И. Семёновой, Е.В. Куликовым.

Также важно отметить, что в первой группе пациенты начали самостоятельно потреблять корм только на $4,8 \pm 0,5$ сут., тогда как во второй — уже на $2,8 \pm 0,4$.

Во второй группе сразу после операции питание выполнялось через эзофагостому, также для улучшения перистальтики пациенты получали метоклопрамид в дозировке 1–2 мг/кг/сут внутривенно. Раннее начало самостоятельного питания можно объяснить тем, что поступала пища, которая косвенно влияла на работу перистальтики, и пациенты получали прокинетики, которые способствовали продвижению химуса. Метаболические изменения, зафиксированные у кошек в критическом состоянии, включают снижение концентрации инсулина в крови и повышение концентрации глюкозы, лактата, кортизола, глюкогона, норадреналина и неэтерифицированных жирных кислот [22, 23]. Запасы гликогена быстро истощаются, особенно с учетом того, кошки имеют ограниченные запасы гликогена. Это приводит усилению протеолиза. Кошки обладают высокой обязательной скоростью окисления белка и не-

способностью подавлять глюконеогенез или протеолиз в условиях недостаточного потребления белка [24, 25]. При продолжающемся недостатке пищи энергия почти полностью получается за счет ускоренного протеолиза, который сам по себе является энергоемким процессом. Последствия продолжающейся потери мышечной массы включают негативное влияние на заживление ран, иммунный ответ, общее состояние и, в конечном счете, на общий прогноз [26].

Однако стоит заметить, что пациенты во второй группе показали меньшую скорость снижения показателя креатинина на 2,69 % в 3-й день и на 10,5 % на 5-й и 7-й день по сравнению с первой. Хотя впоследствии, на 14-й день исследования, показатели мочевины и креатинина снова начали сближаться. При длительной анорексии или голодании организм начинает расщеплять мышечный белок, чтобы получать энергию. Креатинин — продукт распада креатина из мышечной ткани, поэтому при активном катаболизме его образование повышается. При раннем постоперационном кормлении энергетические потребности покрываются, катаболизм замедляется, по этой причине уровень креатинина снижается не только из-за улучшения фильтрации, но и из-за уменьшения его продукции [26].

Заключение

По результатам исследований снижение показателей креатинина во второй группе, в которой во время оперативного вмешательства устанавливали эзофагостому, было более стремительное, в среднем на 11 % с момента после операции до 5-го дня исследования по сравнению с первой группой. На 7-й день скорость снижения сравнялась, однако на 14-й день во второй группе все равно показатели креатинина и мочевины были ниже на 7 %, что связано с более ранним проявлением самостоятельного аппетита пациентами второй группы на фоне постановки эзофагостомы и применения метоклопрамида. В первой группе начинали потреблять корм в среднем на сроке 4,8 дня, во второй — 2,8 дня. В связи с этим, можно отметить важность раннего послеоперационного кормления через эзофагостому с применением прокинетики, так как они позволяют ускорить снижение показателей азотемии и обеспечить скорейшее самостоятельное потребление корма.

Список литературы

1. Fischer JR. Acute ureteral obstruction in cats: diagnosis, management options, and outcomes. *Advances in Small Animal Medicine and Surgery*. 2006;19(7):1–3. doi: 10.1016/j.asams.2006.06.010
2. Culp WT, Palm CA, Hsueh C, Mayhew PD, Hunt GB, Johnson EG, Drobatz KJ. Outcome in cats with benign ureteral obstructions treated by means of ureteral stenting versus ureterotomy. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2016;249(11):1292–1300. doi: 10.2460/javma.249.11.1292
3. Center SA. Feline hepatic lipidosis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2005;35(1):225–269. doi: 10.1016/j.cvsm.2004.10.002
4. Corbee R, Kerkhoven W. Nutritional support of dogs and cats after surgery or illness. *Open Journal of Veterinary Medicine*. 2014;4(4):44–57. doi: 10.4236/ojvm.2014.44006

5. Chung CK, Whitney R, Thompson CM, et al. Experience with an enteral-based nutritional support regimen in critically ill trauma patients. *Journal of the American College of Surgeons*. 2013;217(6):1108–1117. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2013.08.006
6. Hardie EM, Kyles AE. Management of ureteral obstruction. *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2004;34(4):989–1010. doi: 10.1016/j.cvsm.2004.03.008
7. Bartges JW, Kirk C, Lane IF. Update: management of calcium oxalate uroliths in dogs and cats. *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2004;34(4):969–987. doi: 10.1016/j.cvsm.2004.03.011
8. Berent AC. Ureteral obstructions in dogs and cats: a review of traditional and new interventional diagnostic and therapeutic options. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care (San Antonio)*. 2011;21(2):86–103. doi: 10.1111/j.1476–4431.2011.00628.x
9. Cannon AB, Westropp JL, Ruby AL, Kass PH. Evaluation of trends in urolith composition in cats: 5230 cases (1985–2004). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2007;231(4):570–576. doi: 10.2460/javma.231.4.570
10. Culp WT, Palm CA, Hsueh C, Mayhew PD, Hunt GB, Johnson EG, Drobatz KJ. Outcome in cats with benign ureteral obstructions treated by means of ureteral stenting versus ureterotomy. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2016;249(11):1292–1300. doi: 10.2460/javma.249.11.1292
11. Bahn Zobbe V, Rygaard H, Rasmussen D, et al. Glucagon in acute ureteral colic: a randomized trial. *European Urology*. 1986;12(1):28–31. doi: 10.1159/000472572
12. Silverstein D. Daily intravenous fluid therapy. In: Silverstein DC, Hopper K. (eds.), *Small Animal Critical Care Medicine*. Saunders Elsevier, St. Louis, MO, 2009, pp. 271–275. doi: 10.1016/B978-1-4160-2591-7.10064-5
13. Degner D, Clarke D. Urinary obstruction: ureteral obstruction. In: *Small Animal Surgical Emergencies*. 2015. doi: 10.1002/9781118487181.ch21
14. Taylor S, Chan DL, Villaverde C, et al. 2022 ISFM consensus guidelines on management of the inappetent hospitalised cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2022;24(7):614–640. doi: 10.1177/1098612X221106353 EDN: RSNTNV
15. MacDonald ML, Rogers QR, Morris JG. Nutrition of the domestic cat, a mammalian carnivore. *Annual Review of Nutrition*. 1984;4:521–562. doi: 10.1146/annurev.nu.04.070184.002513
16. Kyles AE, Hardie EM, Wooden BG, et al. Clinical, clinicopathologic, radiographic, and ultrasonographic abnormalities in cats with ureteral calculi: 163 cases (1984–2002). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2005;226(6):932–936. doi: 10.2460/javma.2005.226.932
17. Snow SJ, Jutkowitz LA, Brown AJ. Trends in plasma transfusion at a veterinary teaching hospital: 308 patients (1996–1998 and 2006–2008). *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care (San Antonio)*. 2010;20(4):441–445. doi: 10.1111/j.1476-4431.2010.00557.x
18. Wormser C, Clarke DL, Aronson LR. Outcomes of ureteral surgery and ureteral stenting in cats: 117 cases (2006–2014). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2016;248(5):518–525. doi: 10.2460/javma.248.5.518
19. Guidet B, Martinet O, Boulain T, et al. Assessment of hemodynamic efficacy and safety of 6% hydroxyethyl starch 130/0.4 vs 0.9% NaCl in severe sepsis: the CRYSTMAS study. *Critical Care*. 2012;16(3): R94. doi: 10.1186/cc11358 EDN: AZFRRR
20. Langston C, Eatroff A. Acute kidney injury. In: *August's Consultations in Feline Internal Medicine*, 2016;7:483–498. doi: 10.1016/B978-0-323-22652-3.00050-5
21. Myburgh JA, Finfer S, Bellomo R, et al. Hydroxyethyl starch or saline for fluid resuscitation in intensive care. *The New England Journal of Medicine*. 2012;367(20):1901–1911. doi: 10.1056/NEJMoa1209759
22. Brown B, Mauldin GE, Armstrong J, Moroff SD, Mauldin GN. Metabolic and hormonal alterations in cats with hepatic lipidosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2000;14(1):20–26. doi: 10.1892/0891-6640(2000)014<0020: mahaic>2.3.co;2
23. Rogers QR, Morris JG, Freedland RA. Lack of hepatic enzymatic adaptation to dietary protein levels in the adult cat. *Enzyme*. 1977;22(5):348–356. doi: 10.1159/000458816

24. Green AS, Ramsey JJ, Villaverde C, et al. Cats adapt protein oxidation to protein intake if requirements are met. *The Journal of Nutrition*. 2008;138(6):1053–1060. doi: 10.1093/jn/138.6.1053

25. Remillard RL. Nutritional support in critical care patients. *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 2002;32(5):1145–1164. doi: 10.1016/s0195–5616 (02) 00050–5

26. Fascetti AJ, Mauldin GE, Mauldin GN. Correlation between serum creatine kinase activities and anorexia in cats. *Journal of veterinary internal medicine*. 1997;11(1):9–13. doi: 10.1111/j.1939–1676.1997.tb00066.x

Об авторах:

Люст Владислав Андреевич — аспирант департамента ветеринарной медицины агротехнологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ветеринарный врач-хирург, сеть ветеринарных клиник «Алисавет», Российская Федерация, 119634, г. Москва, ул. Чоботовская, д. 17, к. 1; e-mail: 1142220008@rudn.ru
ORCID: 0009-0003-7605-120X SPIN-код: 4691-2786

Ватников Юрий Анатольевич — доктор ветеринарных наук, профессор, директор департамента ветеринарной медицины агротехнологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vatnikov@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-0036-3402 SPIN-код: 2726-8270

Семенова Валентина Ивановна — кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: semenova-vi@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-1610-1637 SPIN-код: 2152-5318

Куликов Евгений Владимирович — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: kulikov-ev@rudn.ru
ORCID: 0000-0001-6936-2163 SPIN-код: 6199-2479



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-146-155

EDN GANKBV

УДК 619:617.3:636.04:616–08–039.73

Научная статья / Research article

Сравнение способов лечения углеводно-ассоциированного ламинита лошадей

М.М.К. Албадан¹ , А.В. Ткачев^{1,2}  , О.Л. Ткачева³ , Е.А. Нотина¹ ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Российская Федерация³Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Медицинский колледж № 7», г. Москва, Российская Федерация sasha_sashaola@mail.ru

Аннотация. Заболеваемость лошадей ламинитом — актуальное направление исследований. Опасность ламинита у лошадей подтверждается статистическими данными: летальность может составлять более 40 %. Полное восстановление трудоспособности после переболевания ламинитом может наблюдаться только у одной из 6–7 лошадей. Цель исследования — сравнить клиническую эффективность различных схем лечения углеводно-ассоциированного ламинита лошадей. Исследование выполняли с 2020 по 2025 г. в г. Москве, в ветеринарной клинике КСК «Битца», которая также оказывает услуги по лечению лошадей в Московской области. В аналитическую часть исследования вошло 173 головы лошадей с общим диагнозом ламинит. В экспериментальной части исследования использовали 16 лошадей с диагнозом ламинит, ведущим звеном этиопатогенеза которого был дисбаланс углеводов в рационе и в крови. Животных разделили на 3 группы. Выявлено, что наиболее часто встречался обменно-эндокринный ламинит лошадей, вызванный дисбалансом углеводов в рационе и/или в крови: на 1,74 % чаще посттравматического ламинита, на 4,05 % чаще ламинита, вызванного применением кортикостероидов и на 5,21 % чаще ламинита неясной/неустановленной этиологии. Несмотря на наибольшее валовое количество углеводно-ассоциированного ламинита, он ни разу не был самой частой встречающейся формой патологии в разрезе календарного года. Полное выздоровление от углеводно-ассоциированного ламинита лошадей наступило к шестому месяцу лечения при применении третьей схемы лечения, что на месяц позже ($p < 0,01$), чем в первой схеме лечения, и на 1,03 месяца позже ($p < 0,01$), чем при применении второй схемы лечения. Хромота полностью прошла ближе к пятому месяцу терапии при применении третьей схемы лечения, что на 0,63 месяца позже ($p < 0,01$) второй и на месяц позже ($p < 0,01$) первой. Возможно, что именно дополнительное применение хондропротекторов способствовало ускорению выздоровления животных. Применение Глибенкламида позволило снизить уровень глюкозы в крови лошадей в 2,1 раза ($p < 0,001$)

© Албадан М.М.К., Ткачев А.В., Ткачева О.Л., Нотина Е.А., 2026

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

в течение месяца терапии и поддерживать этот уровень и на завершении терапии. Применение Метформина позволило так же эффективно снизить уровень глюкозы в крови: в 1,9 раза ($p < 0,001$) во второй и в 2,06 раза ($p < 0,001$) в третьей группе в течение месяца лечения. С учетом того, что Метформин дешевле на 20...25 %, его применение экономически более оправданно.

Ключевые слова: хромота, метформин, кетоджект, терафлекс, диетотерапия






Вклад авторов: Албадан М.М.К. — выполнение исследований, написание статьи, подготовка первичных данных для статистической обработки; Ткачев А.В. — выполнение исследований, написание статьи, статистическая обработка данных; Ткачева О.Л. — выполнение исследований, написание статьи; Нотина Е.А. — обработка англоязычной литературы.

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

История статьи: поступила в редакцию 31 июля 2025 г., принята к публикации 16 сентября 2025 г.

Для цитирования: Албадан М.М.К., Ткачев А.В., Ткачева О.Л., Нотина Е.А. Сравнение способов лечения углеводно-ассоциированного ламинита лошадей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 146–155. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-146-155 EDN: GANKBV


Comparison of treatment methods for carbohydrate-associated laminitis in horses

Mohammad M.K. Albadan¹ , Aleksandr V. Tkachev^{1,2}  ,
Olga L. Tkacheva³ , Elena A. Notina¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Moscow, Russian Federation

³Medical College 7, Moscow, Russian Federation

 sasha_sashaola@mail.ru

Abstract. The incidence of laminitis in horses is an important area of research. The severity of laminitis in horses is confirmed by statistical data: mortality rates exceed 40%. Full recovery of working capacity after laminitis can be observed only in one out of 6–7 horses. The aim of the study was to compare the clinical effectiveness of various treatment regimens for carbohydrate-associated laminitis in horses. The study was conducted from 2020 to 2025 in Moscow at the veterinary clinic of ESC “Bitsa”, which also provides equine treatment services in the Moscow region. The analytical part of the study included 173 horses diagnosed with laminitis. The experimental part of the study involved 16 horses with laminitis, in which the leading etiopathogenetic factor was an imbalance of carbohydrates in the diet and blood. The animals were divided into 3 groups. It was found that metabolic-endocrine laminitis caused by carbohydrate imbalance in the diet and/or blood was the most common type: occurring 1.74% more frequently than post-traumatic laminitis, 4.05% more frequently than corticosteroid-induced laminitis, and 5.21% more frequently than laminitis of unknown etiology. Despite the highest overall prevalence of carbohydrate-associated laminitis, it was never the most common form within a single calendar year. Complete recovery from carbohydrate-associated laminitis occurred by the sixth month of treatment when using the third treatment regimen, which was one month later ($p < 0.01$) than with the first regimen and 1.03 months later ($p < 0.01$) than with the second regimen. Lameness completely resolved closer to the fifth month of therapy with the third regimen, which was 0.63 months later ($p < 0.01$) than the second

regimen and one month later ($p < 0.01$) than the first. It is possible that the additional use of chondroprotective agents contributed to faster recovery in animals. The use of glibenclamide reduced blood glucose levels in horses by 2.1 times ($p < 0.001$) within one month of therapy and maintained this level until the end of treatment. Metformin was also effective in reducing blood glucose levels: by 1.9 times ($p < 0.001$) in the second group and by 2.06 times ($p < 0.001$) in the third group within one month of treatment. Considering that metformin is 20–25% cheaper, its use is more economically justified.

Keywords: lameness, metformin, Ketodject, Teraflex, diet therapy

Contribution of the authors: Albadan M.M.K. — conducted research, wrote the manuscript, prepared primary data for statistical processing; Tkachev A.V. — conducted research, wrote the manuscript, performed statistical analysis; Tkacheva O.L. — conducted research, wrote the manuscript; Notina E.A. — processed English-language literature.

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

Article history: received 31 July 2025; accepted 16 September 2025.

For citation: Albadan MMK, Tkachev AV, Tkacheva OL, Notina EA. Comparison of treatment methods for carbohydrate-associated laminitis in horses. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(4):146–155. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-146-155 EDN: GANKBV

Введение

Проблема ламинита существует с тех пор, как человек одомашнил лошадь. Поэтому мы знаем очень много пословиц и выражений, которые указывают на важность проблемы ламинита. Например, существует очень старое выражение «нет копыта — нет лошади» или «копыто — это второе сердце лошади» и др. Серьезность ламинита у лошадей подтверждается статистическими данными о том, что летальность при этом заболевании может составлять более 40 %. Последствия переболевания ламинитом у лошадей также очень тяжелые, так, например полное восстановление трудоспособности может наблюдаться только у одной из 6–7 лошадей [1–3]. Поэтому поиск более эффективных схем лечения ламинита лошадей всегда будет актуален.

Коробчук М.В. с соавторами указывают на отсутствие системности в вопросах диагностики и лечения ламинита лошадей и предлагают разработать некий общий системный подход. Этот аспект, на наш взгляд, вполне можно объяснить большим количеством причин, способных вызвать развитие ламинита у лошадей. В то же время этот общий системный подход по непонятным причинам предлагается не на группах животных больных ламинитом, а на примере единичных клинических случаев [4]. Безусловно системность и комплексность в диагностике и лечении ламинита лошадей и всех остальных болезней животных очень важна. Однако эти два принципа являются основополагающими теоретическими постулатами всех клинических учебных дисциплин, которые изучают студенты на факультетах ветеринарной медицины.

По нашему мнению, следует больше внимания уделить сравнению различных схем лечения тех или иных форм течения ламинита лошадей, а уже затем предлагать

некий единый системный и комплексный подход к диагностике и лечению этой патологии. Так как любой практикующий ветеринарный врач всегда старается применить максимально полный перечень доступных методов диагностики ламинита лошадей — от проб на степень хромоты до рентгенологических исследований, что является уже вполне доступным практически для любой ветеринарной клиники.

Схема лечения ламинита зависит от вызвавших его причин. К наиболее частым причинам возникновения ламинита лошадей относят нарушения кормления животных, интоксикацию, травмы у спортивных и рабочих лошадей, применение кортикостероидов при лечении других заболеваний [5–8]. В нашей практике наиболее часто встречающимися этиологическими факторами развития ламинита у лошадей стали диета и избыток углеводов в пище, а потом уже травмы и применение кортикостероидов при лечении других заболеваний. Поэтому мы решили изучить особенности лечения лошадей при дисбалансе рациона.

Цель исследования — сравнить клиническую эффективность различных схем лечения углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита лошадей.

Материал и методы исследования

Исследование выполняли с 2020 по 2025 г. в г. Москве в ветеринарной клинике КСК «Битца», оказывающей и услуги по лечению лошадей в Московской области в двух этапах: аналитическом и экспериментальном.

В аналитическую часть исследования вошло 173 головы лошадей независимо от возраста с общим диагнозом ламинит. В этой части исследования животных разделили на 4 группы в зависимости от этиологического фактора ламинита: 1 группа — углеводно-ассоциированный или обменно-эндокринный ламинит; 2 группа — посттравматический ламинит; 3 группа — ламинит, вызванный применением кортикостероидов при лечении других болезней; 4 группа — ламинит неустановленной этиологии. Также в аналитической части исследования провели анализ частоты встречаемости вышеуказанных четырех групп ламинита в разрезе шести календарных лет, начиная с 2020 г.

В экспериментальной части исследования использовали 16 лошадей в возрасте от 5 до 12 лет с диагнозом ламинит, ведущим звеном этиопатогенеза которого был дисбаланс углеводов в рационе и соответственно в крови. Животных разделили на 3 группы в зависимости от схемы лечения ламинита. В первой группе 5, во второй — 6, в третьей группе — 5 голов. Первую группу больных ламинитом лошадей лечили по следующей схеме: Кетоджект (действующее вещество кетопрофен) внутривенно в дозировке 10 мл/голову; Терафлекс (глюкозамин + хондроитин) по 2 капсулы на 100 кг массы тела 1 раз в сутки не менее 3 месяцев; Глибенкламид по 10 мг на 100 кг массы тела 2 раза в сутки. Терапию второй группы лошадей проводили по следующей схеме: Кетоджект внутривенно в дозировке 10 мл/голову; Терафлекс по 2 капсулы на 100 кг массы тела 1 раз в сутки не менее 3 месяцев; Метформин по 1000 мг на 100 кг массы тела 2 раза в сутки. Третью группу лошадей лечили по следующей схеме: Кетоджект

внутривенно в дозировке 10 мл/голову; Метформин по 1000 мг на 100 кг массы тела 2 раза в сутки.

Общим в схеме лечения трех групп было применение диетотерапии, балансирование рациона по углеводам и сахаропротеиновому отношению, исключение комбикорма из рациона не менее чем на 6 месяцев. Также общим в трех группах было применение ортопедической помощи в виде расчистки и запила копыт исходя из степени деформации копытного рога и положения костей пальца на рентгенограмме с целью минимизации клинического проявления хромоты.

Кровь лошадей для диагностических исследований отбирали из яремной вены, используя одноразовые системы для взятия крови в объеме 10–15 мл в стерильную пробирку с антикоагулянтом (ЭДТА или раствор цитрата натрия). Пробирки маркировали для дальнейшей идентификации проб крови и транспортировали в тот же день в термоконтейнерах при температуре от 5 до 20 °С в лабораторию ООО НИЦ «Черкизово», где проводили клинический и биохимический анализ крови лошадей [9].

Математико-статистическая обработка результатов клинических исследований эффективности различных схем лечения ламинита лошадей осуществляли по общепринятому критерию Стьюдента в SPSS for Windows (IBM, USA).

Результаты исследования и обсуждение

Изучение эффективности различных схем лечения углеводно-ассоциированного ламинита лошадей в Москве мы решили начать с анализа частоты встречаемости этой патологии исходя из ведущего этиологического фактора. Проанализировав основные причины возникновения ламинита, нами были получены результаты, которые приведены на рис. 1.

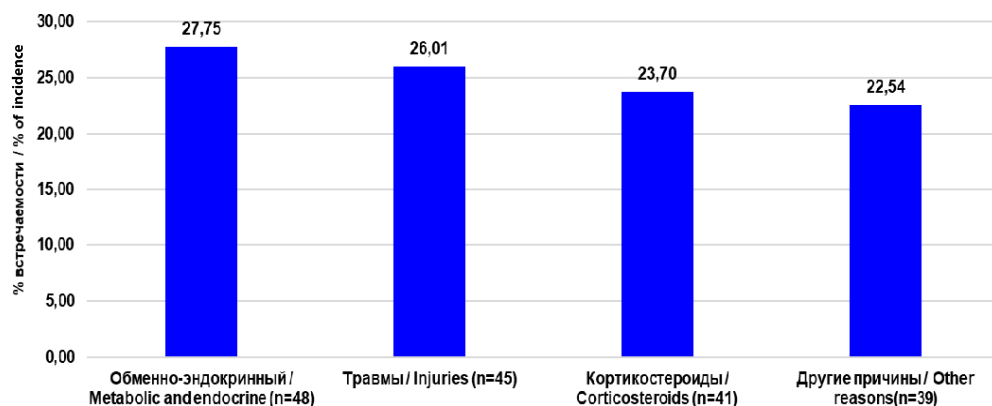


Рис. 1. Этиологические факторы развития ламинита лошадей по результатам наблюдений ($M \pm m$, $n = 173$)

Источник: выполнено М.М.К. Албадан, А.В. Ткачевым, О.Л. Ткачевой, Е.А. Нотиной.

Fig. 1. Etiological factors of equine laminitis development according to the results of observations ($M \pm m$, $n = 173$)

Source: compiled by M.M.K. Albadan, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva, E.A. Notina.

Анализ данных (рис. 1) позволяет заключить, что в условиях города Москвы ведущие этиологические факторы ламинита, по сути, не отличаются от таковых у других исследователей. Однако существуют некоторые особенности в преобладании того или иного этиологического фактора ламинита лошадей [10–15]. Наиболее часто в представленном исследовании встречался обменно-эндокринный ламинит лошадей, вызванный дисбалансом углеводов в рационе и/или в крови, что было чаще на 1,74 %, чем посттравматический ламинит, на 4,05 % больше от ламинита, вызванного применением кортикостероидов, на 5,21 % больше от ламинита неясной/неустановленной этиологии. Таким образом, складывается ощущение, что нарушения в кормлении лошадей чаще приводят к возникновению ламинита, чем другие этиологические факторы. Однако это не так.

Следующим этапом исследования был анализ основных этиологических факторов ламинита лошадей по годам (рис. 2).

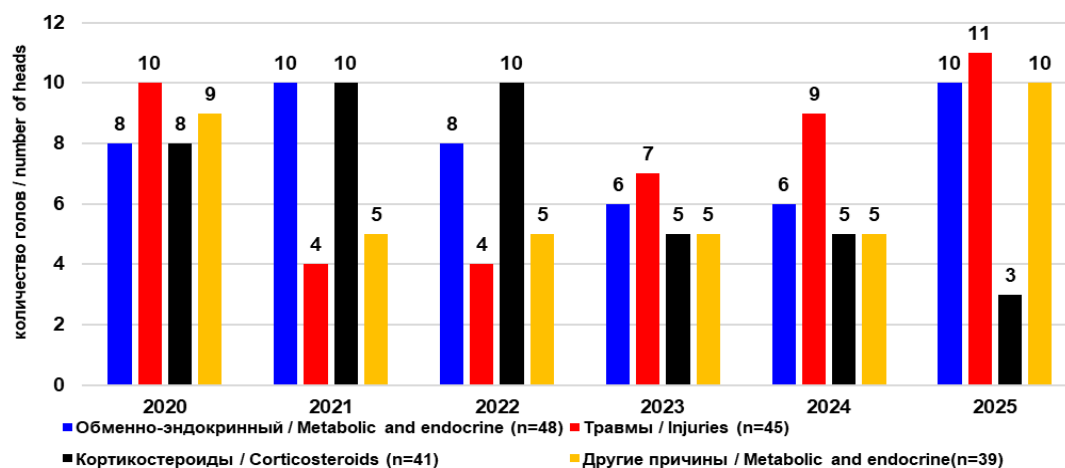


Рис. 2. Этиологические факторы развития ламинита лошадей с 2020 по 2025 г. ($M \pm m$, $n = 173$)
Источник: выполнено М.М.К. Албадан, А.В. Ткачевым, О.Л. Ткачевой, Е.А. Нотиной.

Fig. 2. Etiological factors of equine laminitis development over the past 6 years ($M \pm m$, $n = 173$)
Source: compiled by M.M.K. Albadan, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva, E.A. Notina.

Анализ данных рис. 2 позволяет заключить, что несмотря на наибольшее валовое количество углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита, он ни разу не был наиболее часто встречающимся в разрезе календарного года. В 2020 г. наиболее часто встречался посттравматический ламинит (10 случаев), затем 9 случаев ламинита неустановленной этиологии, и по 8 клинических случая углеводно-ассоциированного и кортикостероидо-ассоциированного ламинита. В 2021 г. в условиях нашей ветеринарной клиники регистрировали по 10 случаев кортикостероидо- и углеводно-ассоциированного ламинита, 5 случаев ламинита невыясненной этиологии и 4 случая посттравматического ламинита. В 2022 г. наиболее часто регистрировали кортикостероидо-ассоциированного ламинит (10 случаев), затем обменно-эндокринный (8 случаев), ламинит невыясненной

этиологии — 5 случаев и посттравматический ламинит — 4 случая. В 2023 г. общая встречаемость ламинитом снизилась и колебалась от 7 случаев посттравматического ламинита до 5 случаев кортикостероидо-ассоциированного и ламинита невыясненной этиологии на фоне 6 случаев углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита. В 2024 г. чаще других встречался посттравматический ламинит (9 случаев), затем обменно-эндокринный (6 случаев) и по 5 случаев ламинита невыясненной этиологии с ламинитом, вызванного применением кортикостероидов. В 2025 календарном году наиболее часто встречался посттравматический ламинит (11 случаев), по 10 случаев углеводно-ассоциированного ламинита и ламинита неустановленной этиологии, лишь 3 случая ламинита, вызванного применением кортикостероидов.

Следующим этапом исследования было изучение клинической эффективности различных схем лечения углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита лошадей (табл.).

Клиническая эффективность разных схем лечения углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита лошадей ($M \pm m$)

Показатель	Группа (схема лечения)		
	1 ($n = 5$)	2 ($n = 6$)	3 ($n = 5$)
Месяц, на который наступило выздоровление	5,2 ± 0,2	5,17 ± 0,17	6,2 ± 0,2**
Месяц, на который прошла хромота	3,8 ± 0,2	4,17 ± 0,17	4,8 ± 0,2**
Глюкоза, ммоль/л (на начало лечения)	8,5 ± 0,52	8,53 ± 0,41	8,7 ± 0,54
Глюкоза, ммоль/л (через месяц лечения)	4,14 ± 0,29	4,47 ± 0,27	4,22 ± 0,35
Глюкоза, ммоль/л (на завершении лечения)	4,24 ± 0,28	4,13 ± 0,32	4,16 ± 0,31

Примечание. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ в сравнении с 1-й группой.

Источник: выполнено М.М.К. Албадан, А.В. Ткачевым, О.Л. Ткачевой, Е.А. Нотиной.

Clinical efficacy of different treatment regimens for carbohydrate-associated (metabolic-endocrine) laminitis in horses ($M \pm m$)

Indicator	Group (treatment regimen)		
	1 ($n = 5$)	2 ($n = 6$)	3 ($n = 5$)
The month of recovery	5.2 ± 0.2	5.17 ± 0.17	6.2 ± 0.2 **
The month in which the lameness disappeared	3.8 ± 0.2	4.17 ± 0.17	4.8 ± 0.2 **
Glucose, mmol/l (at the beginning of treatment)	8.5 ± 0.52	8.53 ± 0.41	8.7 ± 0.54
Glucose, mmol/l (after one month of treatment)	4.14 ± 0.29	4.47 ± 0.27	4.22 ± 0.35
Glucose, mmol/l (at the end of treatment)	4.24 ± 0.28	4.13 ± 0.32	4.16 ± 0.31

Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ compared to the 1-st group.

Source: compiled by M.M.K. Albadan, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva, E.A. Notina.

Анализ данных (см. табл.) позволяет заключить, что наибольший клинический эффект лечения углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита лошадей получен при 1-й и 2-й схемах лечения: выздоровление наступило на месяц раньше, чем при применении 3-й схемы, в которой отсутствовали хондропротекторы (Терафлекс). Полное выздоровление от углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита лошадей наступило к шестому месяцу лечения при 3-й схеме, что на месяц позже ($p < 0,01$) 1-й и на 1,03 месяца ($p < 0,01$) 2-й схемы лечения.

Хромота полностью прошла ближе к пятому месяцу терапии при применении 3-й схемы лечения, что на 0,63 месяца позже ($p < 0,01$), чем во 2-й, и на месяц позже ($p < 0,01$), чем в 1-й. Возможно, что именно дополнительное применение хондропротекторов способствовало ускорению выздоровления животных.

Уровень глюкозы в крови на начало лечения был на примерно сопоставимом уровне — более 8,5 единиц. В первую очередь, для снижения уровня глюкозы из рациона лошадей исключили концентрированные корма (комбикорма) и добавили гипогликемические препараты, снижающие уровень глюкозы в крови. Выбранные препараты (Глибенкламид и Метформин) показали высокую клиническую эффективность и достаточно быстро позволили нормализовать уровень глюкозы в крови. Применение 1-й схемы лечения (использовали Глибенкламид) позволило снизить уровень глюкозы в крови лошадей в 2,1 раза ($p < 0,001$) в течение месяца терапии и поддерживать этот уровень и на завершении терапии. Применение 2-й схемы (с Метформином) так же эффективно снизило уровень глюкозы в крови (в 1,9 раза ($p < 0,001$)) в течение месяца терапии и поддерживало этот уровень и на завершении терапии. В 3-й группе животных уровень глюкозы в крови снизился в 2,06 раза ($p < 0,001$) в течение месяца лечения, в которой также применялся Метформин. С учетом того, что Метформин дешевле на 20...25 %, его применение более оправданно экономически.

Таким образом, показана различная клиническая эффективность анализируемых схем лечения углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита лошадей, подтверждающая существенную важность диетотерапии животных, без применения которой фармакологические препараты просто не смогли бы обеспечить полученный клинический эффект.

Заключение

В исследовании установлено, что в условиях города Москвы наиболее часто ламинит у лошадей вызывали нарушения обменно-эндокринного характера из-за дисбаланса углеводов. Частота заболевания углеводно-ассоциированным ламинитом выше: на 1,74 %, чем посттравматическим, на 4,05 %, чем ламинитом, вызванным применением кортикостероидов, и на 5,21 %, чем ламинитом неустановленной этиологии. Однако при этом углеводно-ассоциированный (обменно-эндокринный) ламинит лошадей ни разу не был самой часто встречающейся формой патологии в разрезе календарного года. Применение гипогликемических препаратов Глибен-

кламида и Метформина показало сопоставимую клиническую эффективность, однако экономически более выгоден Метформин, который на 20...25 % дешевле. Добавление в схему лечения углеводно-ассоциированного (обменно-эндокринного) ламинита хондропротекторов глюкозамина и хондроитина позволяет на месяц сократить период лечения по сравнению со схемой лечения, в которой хондропротекторы отсутствуют. Ежегодное преобладание той или иной формы ламинита лошадей постоянно меняется, что указывает на доминирующее значение индивидуальной предрасположенности животных к разным этиопатогенетическим факторам развития патологии. Следовательно, все более необходим и актуален поиск генетических маркеров восприимчивости лошадей к различным формам ламинита.

Список литературы / References

1. Wylie CE, Collins SN, Verheyen KLP, Richard Newton J. Frequency of equine laminitis: A systematic review with quality appraisal of published evidence. *The Veterinary Journal*. 2011;189(3):248–256. doi: 10.1016/j.tvjl.2011.04.014
2. Orsini JA, Wrigley J, Riley P. Home care for horses with chronic laminitis. *The Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010;26(1):215–223. doi: 10.1016/j.cveq.2009.12.012
3. Karklin AI, Balashova OV, Korobchuk MV. Practical experience of supporting therapy of chronic laminitis in case of wales pony. *Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2019;(4):90–94. (In Russ.). EDN: HYUHGU
Карклин А.И., Балашова О.В., Коробчук М.В. Практический опыт поддерживающей терапии хронического ламинита на примере пони уэльской породы // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2019. № 4. С. 90–94. EDN: HYUHGU
4. Korobchuk MV, Karklin AI, Romanova OV, Nechaev AY. Comprehensive approach to treatment of chronic laminitis in ponies: a clinical case report. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2024;23(1):21–30. (In Russ.). doi: 10.23947/2949-4826-2024-23-1-21-30 EDN: HIDSUM
Коробчук М.В., Карклин А.И., Романова О.В., Нечаев А.Ю. Комплексный подход к лечению хронического ламинита у пони. Описание клинического случая // Ветеринарная патология. 2024. Т. 23. № 1. С. 21–30. doi: 10.23947/2949-4826-2024-23-1-21-30 EDN: HIDSUM
5. Reilly PT, Dean EK, Orsini JA. First aid for the laminitic foot: therapeutic and mechanical support. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010;26(2):451–458. doi: 10.1016/j.cveq.2010.06.004
6. Geor RJ. Pasture-associated laminitis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2009;25(1):39–50. doi: 10.1016/j.cveq.2009.01.004
7. Belknap JK, Black SJ. Sepsis-related laminitis. *Equine Veterinary Journal*. 2012;44(6):738–740. doi: 10.1111/j.2042-3306.2012.00668.x
8. Pollitt CC, Visser MB. Carbohydrate alimentary overload laminitis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010;26(1):65–78. doi: 10.1016/j.cveq.2010.01.006
9. Tkachev AV, Tkacheva OL, Korovin YuI, Vertiprakhov VG. *Molecular genetic techniques in practical physiology, veterinary medicine and animal husbandry*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022. (In Russ.). EDN: PXDELI
Ткачев А.В., Ткачева О.Л., Коровин Ю.И., Вертипрахов В.Г. Молекулярно-генетические методики в практической физиологии, ветеринарии и животноводстве : монография. М. : Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. 317 с. EDN: PXDELI
10. Amulungu PK, Tkachev AV, Tkacheva OL. Physiological features of the antioxidant system of the *Equus caballus* organism of different genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(1):139–150. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-1-139-150 EDN: IRVQJQ
11. Boyko NN, Zhilyakova ET, Pisarev DI et al. A novel method for the extraction of the main compounds from the essential oil of clove buds. *Farmacia*. 2020;68(1):170–175. doi: 10.31925/farmacia.2020.1.24 EDN: AUPIIS
12. Kovalenko AM, Tkachev AV, Tkacheva OL et al. Analgesic effectiveness of new nanosilver drug. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020;10(1):300–306. doi: 10.15421/2020_47 EDN: KFUIXG

13. Kovalenko AM, Tkachev AV, Tkacheva OL et al. Distal extremities diseases in dairy cattle related to qualitative and quantitative indicators of embryos obtained from donor cows. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020;29(S9):1271–1282. EDN: VITBHR

14. Mitchell CF, Fugler LA, Eades SC. The management of equine acute laminitis. *Veterinary medicine (Auckland, N.Z.)*. 2014;22(6):39–47. doi: 10.2147/VMRR.S39967

15. Marcato PS, Perillo A. Equine laminitis, new insights into the pathogenesis: a review. *Large Animal Review (LAR)*. 2020;26(6):353–363.

Об авторах:

Албадан Мохаммед МК — аспирант департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: mohammadalbadan2020@gmail.com
ORCID: 0009-0005-6965-4461

Ткачев Александр Владимирович — доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры пожарной и техносферной безопасности, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 73; профессор департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: sasha_sashaola@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7721-5742 SPIN-код: 4852-0353

Ткачева Ольга Леонидовна — кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель, Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение города Москвы «Медицинский колледж № 7», 109004, Российская Федерация, г. Москва, Николоямская ул., д. 33, стр. 1; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5573-6117 SPIN-код: 7638-9512

Нотина Елена Александровна — кандидат филологических наук, заведующая кафедрой иностранных языков, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: notina-ea@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-1283-8834 SPIN-код: 5031-6764

About authors:

Albadan Mohammad M.K. — Postgraduate student of the Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: mohammadalbadan2020@gmail.com
ORCID: 0009-0005-6965-4461

Tkachev Aleksandr Vladimirovich — Doctor of Agricultural Sciences, Senior researcher, Professor of the Department of Fire and Technosphere Safety, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), 73 Zemlyanoy Val st., 109004, Moscow, Russian Federation; Professor of Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: sasha_sashaola@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7721-5742 SPIN-code: 4852-0353

Tkacheva Olga Leonidovna — Candidate of Agricultural Sciences, lecturer, Medical College 7, 33 Nikoloyamskaya st., bldg. 1, 109004, Moscow, Russian Federation; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5573-6117 SPIN-code: 7638-9512

Notina Elena Alexandrovna — Candidate of Philological Sciences, Head of the Department of Foreign Languages, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: notina-ea@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-1283-8834 SPIN-code: 5031-6764










DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-156-166

EDN GFTPXZ

УДК 619:615.1


Научная статья / Research article

Исследование ассортимента лекарственных средств в виде мягких лекарственных форм для ветеринарного использования

Е.А. Белоусов¹ , О.В. Белоусова¹ , Е.О. Новикова² ,
М.Ю. Новикова³ , Е.А. Кротова² , О.О. Новиков²  

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород,
Российская Федерация

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

³Московский медицинский университет «Реавиз», г. Москва, Российская Федерация
 novikov-oo@rudn.ru

Аннотация. Создание новых лекарственных средств (ЛС) и лекарственных форм, предназначенных для профилактики и оказания квалифицированного лечения животных, — одна из важнейших задач ветеринарной медицины. Существующий рынок ветеринарных ЛС постоянно расширяется по ряду причин, в т.ч. из-за активного импортозамещения. Проведено маркетинговое исследование ассортимента мягких лекарственных форм для ветеринарного применения на фармацевтическом рынке РФ по фармакотерапевтическим группам, количеству действующих веществ, государствам-производителям, компаниям-производителям, видам мягких лекарственных форм, отпуску из аптек, группам животных которым предназначены исследуемые лекарственные средства, местам сосредоточения производственных мощностей компаний-производителей. Проведенное исследование, по мнению авторов, позволит обеспечить информированность профильных специалистов в предметной области.

Ключевые слова: маркетинг, ветеринария, фармакотерапевтические группы, структура ассортимента, производители лекарств

Вклад авторов: Белоусов Е.А. — переработка и структурирование полученной информации, контент-анализ исследуемых данных; Новикова Е.О. — поиск и первичная систематизация исследуемых данных; Белоусова О.В. — структурный анализ исследуемых данных; Новикова М.Ю. — графический анализ исследуемых данных; Кротова Е.А. — лингвистическое оформление полученного материала; Новиков О.О. — общее руководство научной работой. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

© Белоусов Е.А., Белоусова О.В., Новикова Е.О., Новикова М.Ю., Кротова Е.А., Новиков О.О., 2026



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

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

История статьи: поступила в редакцию 2 октября 2025 г., принята к публикации 4 ноября 2025 г.

Для цитирования: Белоусов Е.А., Белоусова О.В., Новикова Е.О., Новикова М.Ю., Кротова Е.А., Новиков О.О. Исследование ассортимента лекарственных средств в виде мягких лекарственных форм для ветеринарного использования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 156–166. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-156-166 EDN: GFTPXZ


Study of the assortment of medicinal products in the form of soft dosage forms for veterinary use

Evgeniy A. Belousov¹ , Olga V. Belousova¹ , Ekaterina O. Novikova² ,
Marina Yu. Novikova³ , Elena A. Krotova² , Oleg O. Novikov²  

¹Belgorod State National Research University, *Belgorod, Russian Federation*

²RUDN University, *Moscow, Russian Federation*

³Moscow Medical University “Reaviz”, *Moscow, Russian Federation*

 novikov-oo@rudn.ru

Abstract. The design of new medications and dosage forms intended for the prevention and provision of qualified animal treatment is one of the most important tasks of veterinary medicine. The existing market for veterinary drugs is constantly expanding for a number of reasons, including due to active import substitution. A marketing study of the assortment of soft dosage forms for veterinary use in the pharmaceutical market of the Russian Federation was carried out by pharmacotherapeutic groups, the number of active substances, manufacturing countries, manufacturing companies, types of soft dosage forms, dispensing from pharmacies, groups of animals to which the investigational drugs are intended, places of concentration of production capacities of manufacturing companies. The conducted research, according to the authors, will ensure the awareness of subject matter specialists.

Keywords: marketing, veterinary medicine, pharmacotherapeutic groups, assortment structure, drug manufacturers

Contribution of the authors: Belousov E.A. — processing and structuring of the received information, content analysis of the studied data; Novikova E.O. — search and primary systematization of the studied data; Belousova O.V. — structural analysis of the studied data; Novikova M. Yu. — graphical analysis of the studied data; Krotova E.A. — linguistic design of the received material; Novikov O.O. — general management of scientific work. All authors reviewed the final version of the manuscript and approved it.

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

Article history: received 2 October 2025; accepted 4 November 2025.

For citation: Belousov EA, Belousova OV, Novikova EO, Novikova MYu, Krotova EA, Novikov OO Study of the range of drugs in the form of soft dosage forms for veterinary use. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):156–166. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-156-166 EDN: GFTPXZ

Введение

Небольшое количество лекарственных средств (ЛС) в виде мягких лекарственных форм (МЛФ) для ветеринарного применения выпускается в виде паст и гелей, суппозиториев для внутриматочного введения и кремов для нанесения на кожную поверхность [1–3]. Для местной терапии в ветеринарной практике широко используются также мази, линименты и гели для наружного применения [4–7].

МЛФ для ветеринарного использования представлены во многих фармакотерапевтических группах. Они просты в применении и достаточно эффективны, особенно в терапии открытых ран и воспалительных процессов кожи и слизистой [8–13].

Ветеринарные ЛС в виде МЛФ для внутреннего применения предназначены для сублингвального (транsbукарального) введения или введения per os. Они состоят из одного или нескольких фармакологически активных веществ, растворенных или распределенных в одно- или многофазной основе из веществ различного происхождения (натуральные, синтетические).

В состав ветеринарных ЛС в виде МЛФ для внутреннего использования в качестве вспомогательных веществ могут также вводиться консерванты, пластификаторы, загустители, эмульгаторы, стабилизаторы, корригенты и пр.

Данные лекарственные препараты обычно выпускаются в одно- или многодозовых контейнерах, позволяющих их точно дозировать в соответствии с массой животного.

Государственный реестр лекарственных средств для животных насчитывает 2443 торговых наименования (ТН), из которых доля ЛС в виде МЛФ составляет 73 ТН, что соответствует 3%. Данное обстоятельство позволяет говорить о недостатке предметных ЛС в общей структуре ассортимента [14, 15].

Цель исследования — изучить представленный на фармацевтическом рынке России ассортимент ЛС в виде МЛФ для ветеринарного применения.

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы следующие источники: Государственный реестр лекарственных средств для животных¹, справочник Видаль², иные материалы опубликованных маркетинговых исследований из печатных и электронных общедоступных источников информации, аналитические материалы исследуемого профильного рынка.

Использованные методы: структурный анализ, контент-анализ, графический анализ, аналитическое исследование [16].

¹ Государственный реестр лекарственных средств для ветеринарного применения (перечень лекарственных препаратов, прошедших государственную регистрацию) // Россельхознадзор: официальный сайт. Режим доступа: <https://fsvps.gov.ru/files/gosudarstvennyj-reestr-lekarstvennyh-sredstv-dlja-veterinarnogo-primenija-perechen-lekarstvennyh-preparatov-proshedshih-gosudarstvennuju-registraciju/> (дата обращения: 17.09.2025).

² Справочник Видаль. Режим доступа: <https://www.vidal.ru/> (дата обращения: 17.09.2025).

Результаты исследования и обсуждение

В ходе исследования российского реестра ЛС для ветеринарного применения, сформирован информационный массив МЛФ, структуру ассортимента которого определяют 33 компании-производители.

Исследование ассортимента МЛФ по фармакологической принадлежности выявило 23 фармакотерапевтические группы (ФТГ) (табл., рис. 1). Количество ЛС в виде МЛФ, обладающих противомикробным действием, составляет 56 ТН — 76,6 %, что говорит о доминанте спроса.

Распределение ассортимента МЛФ по фармакотерапевтическим группам

Фармакотерапевтические группы	Количество единиц ТН	Доля от общего ассортимента МЛФ, %
Антисептические ЛС	25	34,2
Антисептики и дезинфицирующие в комбинациях	9	12,3
Местно-раздражающие средства	1	1,4
Местно-раздражающие средства в комбинациях	1	1,4
Антибактериальные средства	2	2,7
Комбинированные антибактериальные препараты	1	1,4
Тетрациклины	2	2,7
Амфениколы	2	2,7
Амфениколы в комбинациях	3	4,1
Сульфаниламиды	2	2,7
Производные 8-оксихинолина	1	1,4
Другие антибактериальные в комбинациях	2	2,7
Противогрибковые средства	1	1,4
Противопаразитарные средства	1	1,4
Противопаразитарные средства в комбинациях	1	1,4
Антигельминтные средства	1	1,4
Антигельминтные в комбинациях	1	1,4
Инсектоакарицидные средства	5	6,8
Другие ненаркотические анальгетики, включая нестероидные и другие противовоспалительные средства, в комбинациях	1	1,4
Дерматотропные средства	6	8,2
Иммуномодуляторы	2	2,7
Иммунодепрессанты	1	1,4
Гомеопатические средства	2	2,7

Источник: составлено Е.А. Белоусовым, Е.А. Сладковой, Е.О. Новиковой, О.В. Белоусовой, М.Ю. Новиковой, О.О. Новиковым.

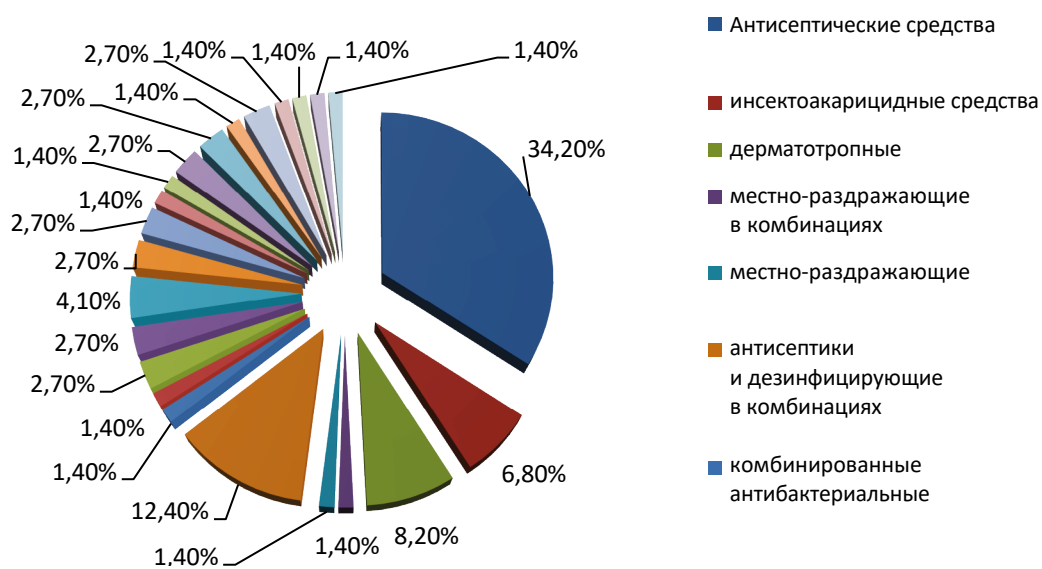


Рис. 1. Распределение ассортимента МЛФ в зависимости от фармакотерапевтических групп, %
 Источник: выполнено Е.А. Белоусовым, Е.А. Сладковой, Е.О. Новиковой, О.В. Белоусовой, М.Ю. Новиковой, О.О. Новиковым.

Структура ассортимента в зависимости от количества активных компонентов в ЛС состоит из монокомпонентных, составляющих 55 ТН, или 75,3 %, и многокомпонентных, содержащих два и более действующих веществ, — 18 ТН (24,7 %) (рис. 2).

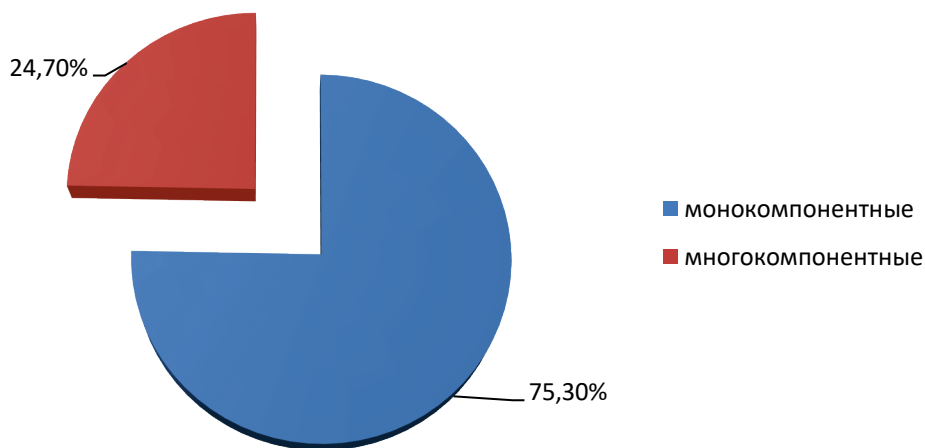


Рис. 2. Ранжирование ЛС в зависимости от количества активных компонентов, %
 Источник: выполнено Е.А. Белоусовым, Е.А. Сладковой, Е.О. Новиковой, О.В. Белоусовой, М.Ю. Новиковой, О.О. Новиковым.

По производственной принадлежности структура ассортимента выглядит следующим образом: ЛС, произведенные в РФ, определяют 66 ТН, или 90,4 %; Испании — 1 ТН (1,4 %); Франции — 3 ТН (4,0 %); Беларуси — 1 ТН (1,4 %); Индии — 1 ТН (1,4 %); Бразилии — 1 ТН (1,4 %). На диаграмме (рис. 3) отчетливо видно, что количество российских препаратов в данном сегменте рынка в 9 раз превосходит пул импортных ЛС в виде МЛФ, что может говорить об успешном импортозамещении в данном сегменте рынка.

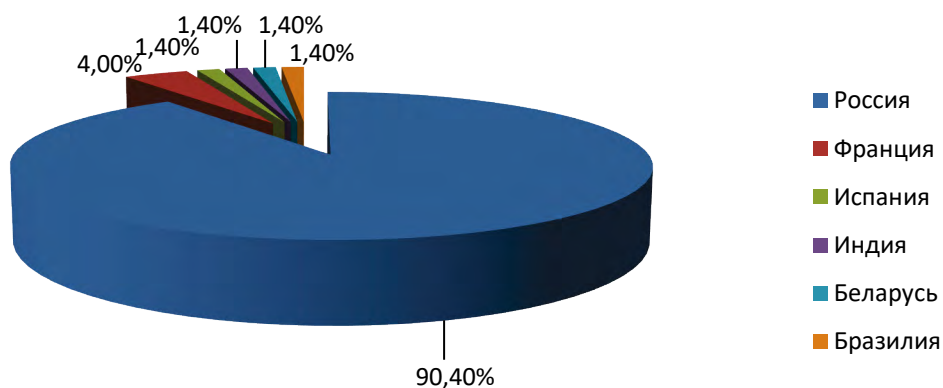


Рис. 3. Структурирование ассортимента ЛС по странам-производителям, %

Источник: выполнено Е.А. Белоусовым, Е.А. Сладковой, Е.О. Новиковой, О.В. Белоусовой, М.Ю. Новиковой, О.О. Новиковым.

На следующем этапе исследования проведено ранжирование предприятий-производителей ЛС в виде МЛФ. Так, АО Завод «Ветеринарные препараты» с 12 ТН занимает лидирующие позиции, определяя 16,3 % целевого рынка. ЗАО «НПП «ФАРМАКС» с 7 ТН — 9,5 %, находится на второй позиции. Фармацевтическая компания ООО «НИТА-ФАРМ» (5 ТН, 6,8 %) — 3-е место; ООО «СПАЗ-фарм», ООО «НПО «ЛИКОМ» — по 4 ТН (5,5 %); ЗАО «Био-Про», ЗАО «Росветфарм», АО «Агробιοпром» — по 3 ТН (4,1 %); компании ООО «Фармбиомедсервис», «Торговый дом «БИАГРО», «Апиценна», НПП «Агрофарм», «Ветторг», «БиоФармГарант», «АЛЕКСАНН» — по 2 ТН (2,7 %); на долю ООО «Оренбургзооветснаб», VETOQUINOL S.A., The Himalaya Drug Company, ИУП «ВИК — здоровье животных», TriRx Serge, ФКП «Армавирская биологическая фабрика», АО «МЕДХИМ», ООО «Агросервис», ЗАО Пчеловодный комбинат «Коломенский», ООО Фирма «БиоХимФарм», ООО «Научно-исследовательское общество «МЕДИТЭР», Industrial Veterinaria, S.A. INVESA, Intervet Productions S.A., ООО ФИРМА «Научно-производственный ветеринарный и звероводческий центр», ООО «БИОГАРД», ООО НПЦ «ФОКС и Ко», Boehringer Ingelheim Animal Health do Brasil Ltda, ЗАО «Виватон» в совокупности приходится 25,2 % исследуемого ассортимента (рис. 4).

На следующем этапе более детально изучали самую популярную и востребованную лекарственную форму — мази.

Согласно Государственной фармакопее РФ XIV издания (ОФС.1.4.1.0008.18³), мазь — МЛФ, предназначенная для нанесения на кожу, раны и слизистые оболочки. Мазь — МЛФ, состоящая из основы и равномерно распределенных в ней действующих веществ. По видам мази подразделяются на наружные и местные. В ветеринарном реестре на сегодняшний день из 49 ТН мази для местного применения составляют 35 ТН (71,4 %), для наружного применения — 14 ТН (28,6 %). Одно ЛС — мазь «Оптимун®» — относится к глазным лекарственным формам.

Из аптечных организаций все ЛС в виде МЛФ, представленные в реестре, отпускаются без рецепта ветеринарного врача.

Мы исследовали ассортимент предметных ЛС по преимущественному применению у отдельных определенных групп животных. Так, наружные ЛС, применяемые для поддержания на допустимом уровне здоровья сельскохозяйственных и домашних животных составляют 39 ТН, что соответствует 53,4 %; ЛС, применяемые преимущественно для лечения домашних животных, определяют 8 ТН, или 11,0 % от исследуемого ассортимента; сельскохозяйственных — 16 ТН (21,9 %), а количество ЛС для лечения животных, не вошедших в предыдущие группы, составляет 10 ТН — 13,7 % (рис. 6).

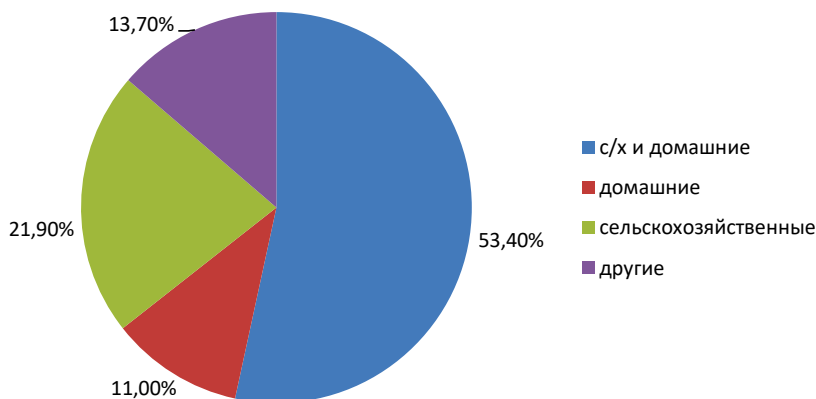


Рис. 6. Распределение наружных ЛС по применению к определенным группам животных, %
 Источник: выполнено Е.А. Белоусовым, Е.А. Сладковой, Е.О. Новиковой, О.В. Белоусовой, М.Ю. Новиковой, О.О. Новиковым.

Далее изучили распределение предприятий-производителей предметных ЛС по географической привязке к Федеральным округам РФ. Основное производство ЛС в виде МЛФ сосредоточено в Центральном федеральном округе — 40 ТН, или 55 % от исследуемого ассортимента МЛФ, в Москве и Московской области производится 16 ТН (22 %), во Владимирской области — 17 ТН (23,3 %); на предприятиях

³ Мази. ОФС.1.4.1.0008.18 // Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания. Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-4/1-4-1/mazi/> (дата обращения: 17.09.2025).

Приволжского федерального округа — 18 ТН (24,6 %), в Кировской области — 7 ТН (9,6 %), Саратовской области — 9 ТН (12,3 %); в Сибирском федеральном округе — 6 ТН (8,2 %); на долю Южного и Северо-Западного округов приходится по 1 ТН (1,4 %) (рис. 7).

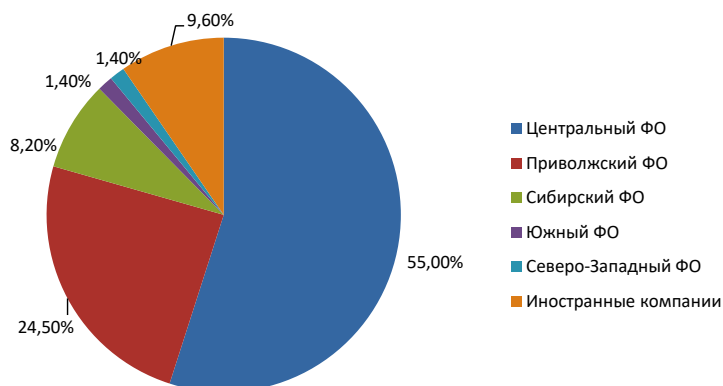


Рис. 7. Сегментация по географическому расположению основных предприятий, производящих ЛС, %

Источник: выполнено Е.А. Белоусовым, Е.А. Сладковой, Е.О. Новиковой, О.В. Белоусовой, М.Ю. Новиковой, О.О. Новиковым.

Заключение

Таким образом ассортимент ЛС в виде МЛФ составляет 3 % от всего зарегистрированного терапевтического инструментария, что недостаточно для успешного лечения группы ряда патологий, например, травматических. Это должно определять вектор на создание новых ЛС и МЛФ.

Несмотря на ограниченный ассортимент ЛС в виде МЛФ, доля российских препаратов достигла 90,4 %, что говорит об успешности проводимой программы по импортозамещению.

Основные мощности по производству целевых ЛС расположены на европейской части РФ, и потому существует потребность в развитии профильных мощностей в других федеральных округах России.

Проведенное маркетинговое исследование, по нашему мнению, позволит обеспечить информированность профильных специалистов в предметной области.

Список литературы

1. Дзюба А.С., Трофимова Е.О. Современное состояние и перспективы развития рынка суппозиторииев // Фармация. 2014. № 3. С. 27–30. EDN: SCZMQV
2. Шишкина А.В., Багирова В.Л. Анализ отечественного фармацевтического рынка мягких лекарственных форм // Фармация. 2013. № 1. С. 28–30. EDN: PXKFZL

3. Мушкина О.В., Гурина Н.С. Маркетинговые исследования ранозаживляющих лекарственных средств на рынке Республики Беларусь // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2021. № 3. С. 100–105. EDN: ASOIRN
4. Гузев К., Гузева А. Ситуационный анализ производства и реализации мазей в России // Ремедиум. 2005. № 1–2. С. 111–115. EDN: IJWNPB
5. Овод А.И., Новикова М.Д., Солянина В.А. Маркетинговый анализ лекарственных препаратов для лечения ран и язв // Лабораторная и клиническая медицина. Фармация. 2022. Т. 2. № 3. С. 4–12. doi: 10.14489/lcmr.2022.03.pp.004–012 EDN: BQLVFI
6. Гаммель И.В., Жукова О.В., Кононова С.В., Кононова М.А. Исследование ассортимента лекарственных средств в лекарственной форме мази // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. Т. 22. № 8. С. 3–9. doi: 10.29296/25877313–2019–08–01 EDN: TCTFKP
7. Белоусов Е.А., Петухова Е.П., Белоусова О.В. Анализ потребительского спроса средств, применяемых для местного лечения ран на локальном фармацевтическом рынке // Ученые записки Брянского государственного университета. 2020. № 3 (19). С. 34–40. EDN: ZMDEBB
8. Тарасов А.В., Кузьмина Е.В., Семенов М.П., Родин И.А., Околелова А.И. Применение препарата «Гентадиовет» при открытых механических повреждениях у коров // Ветеринария Кубани. 2015. № 5. С. 13–15. EDN: ZXJRBD
9. Родин И.А., Кузьмина Е.В., Тарасов А.В., Околелова А.И. К вопросу о лечении животных с открытыми механическими повреждениями // Ветеринария Кубани. 2017. № 3. С. 12–14. EDN: VBRCAX
10. Парфенюк А.А., Сампиев А.М., Семенов М.П., Семенов К.А. Актуальность разработки комбинированного ранозаживляющего препарата для ветеринарного применения и его перспективный компонентный состав // Ветеринарный фармакологический вестник. 2023. № 2 (23). С. 76–90. doi: 10.17238/issn2541–8203.2023.2.76 EDN: IAEUYU
11. Лунегов А.М., Соколов В.Д., Войтенко В.Д. Лечение гнойных ран // Иппология и ветеринария. 2016. № 2 (20). С. 96–98. EDN: WCGEGJ
12. Грязнева Т.Н., Гаврилов В.А., Кудинова Т.А. Перспективы и проблемы производства ветеринарных препаратов в Российской Федерации // Эффективное животноводство. 2019. № 7 (155). С. 32–34. EDN: CCULWV
13. Быщенко В.В., Кныш О.И., Задираченко Л.Н., Егорова А.О., Родина Ю.С. Современное состояние рынка ветеринарных лекарственных препаратов Тюменской области // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. 2022. Т. 15. № 2. С. 267–283. doi: 10.17749/2070–4909/farmakoeconomika.2022.133 EDN: OODYZE
14. Белоусов Е.А., Новикова Е.О., Белоусова О.В., Карасев М.М., Ватников Ю.А., Сахно Н.В., Новиков О.О. Анализ ассортимента антисептических и дезинфицирующих средств для ветеринарного применения на российском рынке // Ветеринарный фармакологический вестник. 2023. № 2 (23). С. 91–104. doi: 10.17238/issn2541–8203.2023.2.91 EDN: JUTUHV
15. Казаков Д.А., Шуешкин Д.С., Мовсесян А.Г., Алексеев К.В. Анализ лекарственных форм, применяемых в ветеринарной фармации // Восточно-европейский научный журнал. 2021. № 3–2 (67). С. 67–70. EDN: IWDSHT
16. Белоусов Е.А., Новикова Е.О., Карасев М.М., Белоусова О.В., Нотина Е.А., Новиков О.О. Гормональные препараты для ветеринарного применения на фармацевтическом рынке: анализ ассортимента // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 2. С. 182–193. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-2-182-193 EDN: LYTGYN

Об авторах:

Белоусов Евгений Александрович — кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры биохимии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85; e-mail: belousovea@mail.ru
ORCID: 0000–0002–4424–5814 SPIN-код: 6554–4467

Белоусова Ольга Викторовна — кандидат фармацевтических наук, преподаватель медицинского колледжа, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85; e-mail: belousovaov31@mail.ru
ORCID: 0000–0001–9038–6397 SPIN-код: 1381–8401

Новикова Екатерина Олеговна — студент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: novikova490@gmail.com
ORCID: 0009-0001-0710-1723 SPIN-код: 1380-6622

Новикова Марина Юрьевна — кандидат фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармации, Московский медицинский университет «РЕАВИЗ», Российская Федерация, 117465, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 27, к. 2; e-mail: marin42011@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1804-6619 SPIN-код: 1763-5366

Кротова Елена Александровна — кандидат ветеринарных наук, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: krotova-ea@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-1771-6091 SPIN-код: 8847-7220

Новиков Олег Олегович — доктор фармацевтических наук, профессор департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: novikov-oo@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-7038-9803 SPIN-код: 7695-1263




DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-167-174

EDN GFXMWW

УДК 619:616.284-002.2-073.756.8:599.323.45

Научная статья / Research article

Диагностика хронического отита у крысы с применением компьютерной томографии

А.В. Чечнева^{1, 2}  , Д.А. Вильмис^{1, 2} ¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация anast_asia@bk.ru

Аннотация. Рентгенологическое исследование чувствительно для диагностики среднего отита, однако при применении данного метода невозможно выявить сопутствующие изменения структуры в области головы. В связи с этим для подтверждения отита также необходимо использовать радиологические методы диагностики. При патологиях среднего уха применяют компьютерную (КТ) или магнитно-резонансную томографию. Преимущества проведения КТ заключаются в визуализации изменений костных структур, определении патологического содержимого барабанного пузыря, а также изменений мягких тканей краниофасциальной области. Представлен клинический случай интерпретации результатов серии сканов КТ у крысы со средним отитом. Материал исследования — декоративная крыса в возрасте 2 лет с признаками вестибулярного синдрома в анамнезе и воспалением наружного слухового канала при клиническом обследовании. Диагноз — хронический отит — подтвержден по результатам интерпретации изображений, полученных в ходе проведения КТ, на которых визуализировалось снижение пневматизации барабанного пузыря, изменение его структуры за счет истончения и/или утолщения костной ткани.

Ключевые слова: декоративная крыса, средний отит, визуальная диагностика, опухоль, контрастное вещество

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 25 сентября 2025 г., принята к публикации 21 октября 2025 г.

© Чечнева А.В., Вильмис Д.А., 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: Чечнева А.В., Вильмис Д.А. Диагностика хронического отита у крысы с применением компьютерной томографии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 167–174. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-167-174 EDN: GFXMVW

Diagnostics of chronic otitis in rats using computer tomography

Anastasia V. Chechneva^{1,2}  , Darya A. Vilmis^{1,2} 

¹Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH), Moscow, Russian Federation

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 anast_asia@bk.ru

Abstract. Radiographic examination is sensitive for diagnosing otitis media; however, this method fails to detect concomitant structural changes in the head. Therefore, radiological diagnostic methods are also necessary to confirm otitis media. Computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI) are used for middle ear pathologies. The advantages of CT include visualization of bone changes, detection of pathological contents of the tympanic bulla, and craniofacial soft tissue changes. A clinical case of interpreting the results of a series of CT scans in a rat with otitis media is presented. The study subject was a 2-year-old domestic rat with a history of vestibular syndrome and inflammation of the external auditory canal during a clinical examination. The diagnosis of chronic otitis media was confirmed by interpreting the CT images, which showed decreased pneumatization of the tympanic bulla and changes in its structure due to thinning and/or thickening of the bone tissue.

Keywords: rat, otitis media, visual diagnostics, tumor, contrast agent

Author Contributions: The authors contributed equally to the collection and processing of the study results and the writing of the article.

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

Article history: received 25 September 2025; accepted 21 October 2025.

For citation: Chechneva AV, Vilmis DA. Diagnostics of chronic otitis in rats using computer tomography. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):167–174. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-167-174 EDN: GFXMVW

Введение

В мегаполисах увеличивается количество грызунов — домашних питомцев. Одним из самых распространенных видов грызунов, содержащихся в неволе в России, является декоративная крыса (лат. *Rattus norvegicus* f. *domestica*) — подвид одомашненной формы серых крыс, и отличающаяся развитым интеллектом и высокой способностью к обучению по сравнению с прочими представителями грызунов [1]. В связи с ростом популярности содержания крыс в качестве питомцев увеличилось и количество обращений их владельцев в ветеринарные клиники [2]. Одной из частых патологий у крыс является средний отит, который сопровождается вестибулярным синдромом [3]. Воспаление слизистой оболочки

среднего уха у крыс часто является осложнением респираторного синдрома грызунов, вследствие которого развивается восходящая инфекция с транслокацией бактерий из носовой полости или гортани [4–7]. Как правило, этот диагноз является ведущим при проведении общего осмотра животного, при котором может быть обнаружен центральный или периферический вестибулярный синдром, а также воспаление наружного слухового канала. Применение компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии в ветеринарии при диагностике патологий области головы является «золотым стандартом» [4, 8]. КТ имеет ряд преимуществ, которые включают в себя точность и высокую скорость проводимого исследования, что снижает длительность анестезиологического сопровождения при проведении диагностической процедуры. Выявление локализации патологического процесса обеспечивает постановку диагноза и определение тактики последующей диагностики и плана лечения животных. Однако, литературные данные о диагностике патологий в области среднего уха у грызунов весьма ограничены и описывают лишь анатомические особенности [9] или экспериментальные методики [10–12], реализуемые с целью оценки применения новых методов в лечении патологий слухового канала у людей. Также стоит отметить, что доступные результаты исследования среднего и внутреннего уха у грызунов с применением КТ в медицине человека проводят после гуманной эвтаназии животных [13–15], что подчеркивает актуальность выбранной темы и возможность использования полученных данных в практике ветеринарных врачей.

Цель исследования — оценить возможность применения КТ в диагностике среднего отита у крыс.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужила декоративная крыса в возрасте 2 лет с признаками вестибулярного синдрома в анамнезе и воспалением наружного слухового канала при клиническом обследовании. Для уточнения локализации и этиологии поражения нервной системы было принято решение о проведении КТ.

КТ выполняли при использовании сканера *Siemens Somatom go. Now* (Германия) с толщиной среза 1 мм в положении пациента лежа на животе до введения контрастного вещества (нативное спиральное сканирование). Далее в латеральную хвостовую вену был введен неионный контрастный препарат Йогексол-Акос в дозировке 750 мг йода/кг с помощью автоматического инжектора, настроенного на максимальное давление, после чего через 30, 60, 120 и 180 секунд проводили спиральное сканирование животного.

Результаты исследования и обсуждение

При оценке серии нативных срезов КТ в «мягкотканном» окне было выявлено нарушение пневматизации барабанного пузыря (буллы) и дистальной части

слухового канала справа (рис. 1, а–в), а также локальное утолщение, деструкция и ремоделирование буллы справа в «костном» окне (рис. 1, г–е).

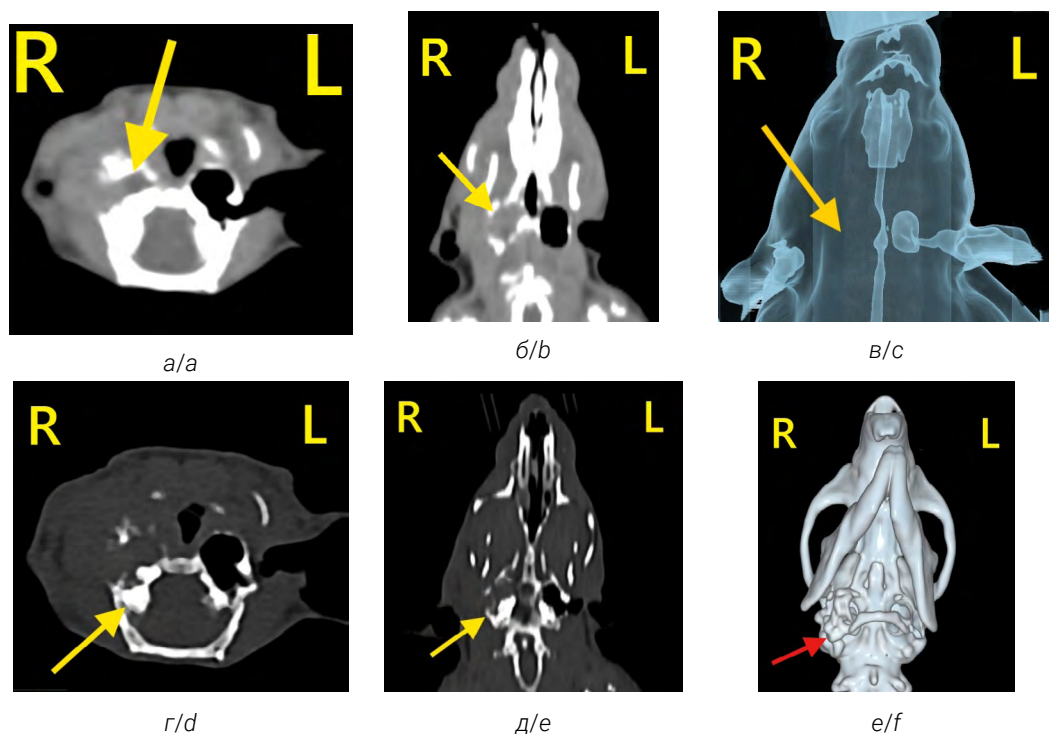


Рис. 1. Компьютерная томография области головы до введения контрастного вещества (нативная фаза): 3D-реконструкция (в) и режим «мягкотканное окно» – нарушение пневматизации барабанного пузыря и дистальной части слухового канала справа в аксиальной (а) и коронарной (б) плоскостях; 3D-реконструкция (е) и режим «костное окно» – ремоделирование барабанного пузыря справа в аксиальной (в) и коронарной (г) плоскостях

Источник: выполнено А.В. Чечневой.

Fig. 1. Computed tomography of the head before contrast administration (native phase): 3D reconstruction (c) and soft tissue window mode – impaired pneumatization of the tympanic bulla and distal part of the auditory canal on the right in the axial (a) and coronal (b) planes; 3D reconstruction (f) and bone window mode – remodeling of the tympanic bulla on the right in the axial (c) and coronal (d) planes

Source: compiled by A.V. Chechneva.

Для оценки сосудов, мягких тканей и определения распространенности патологического процесса необходимо выполнение исследования с применением контрастирования. Данная методика позволяет отличать воспалительные процессы от новообразований.

При проведении сканирования пациента через 30 секунд после внутривенного введения контрастного вещества (артериальная фаза) наблюдается неоднородное повышение контрастного усиления содержимого барабанного пузыря справа, а также мягких тканей, окружающих буллу (рис. 2, а, б). При оценке серии снимков через

60 секунд после введения контрастного вещества (портальная фаза) отсутствует контрастное усиления мягких тканей в области правого наружного и среднего уха (рис. 2, в, г), что позволяет исключить онкологическое заболевание и подтвердить диагноз наружный и средний отит.

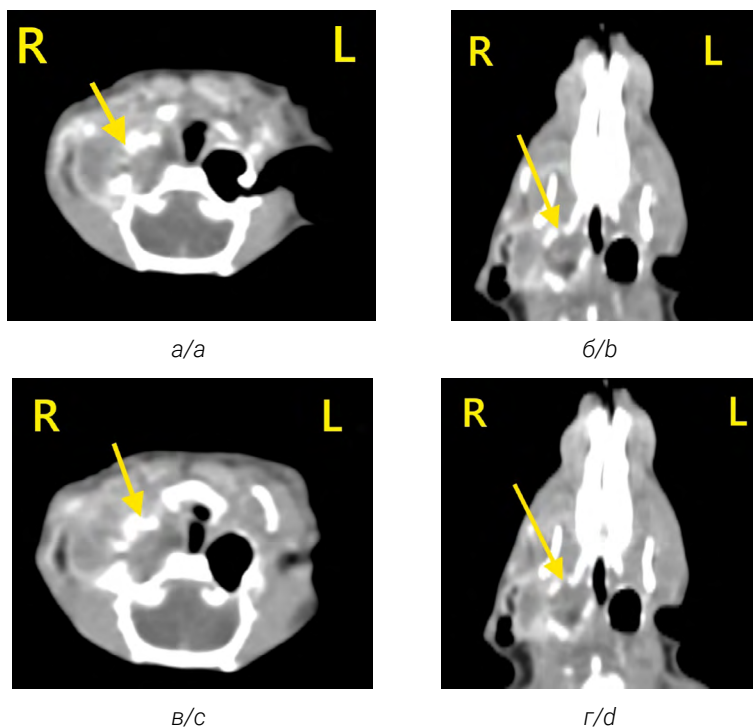


Рис. 2. КТ области головы в артериальную (а, б) и венозную (б, в) фазу: режим «мягкотканное окно»: неоднородное контрастное усиление содержимого правого барабанного пузыря и окружающих тканей в аксиальной (а, в) и коронарной (б, г) областях

Источник: выполнено А.В. Чечневой.

Fig. 2. CT scan of the head in the arterial (a, b) and venous (b, c) phases: “soft tissue window” mode: heterogeneous contrast enhancement of the contents of the right tympanic bulla and surrounding tissues in the axial (a, c) and coronary (b, d) areas

Source: performed by A.V. Chechneva.

Через 120 и 180 секунд после введения контрастного вещества (выделительная и отсроченная фаза соответственно) результаты серии сканировании соответствовали результатам нативной серии сканов в «костном окне»: нарушение пневматизации барабанного пузыря и дистальной части слухового канала справа (рис. 3), что указывает на наличие патологического субстрата в полости наружного и среднего уха, а также локальное утолщение, деструкция и ремоделирование буллы справа, характерные для хронического течения воспалительного процесса и, наиболее вероятно, для процесса резорбции костной ткани.

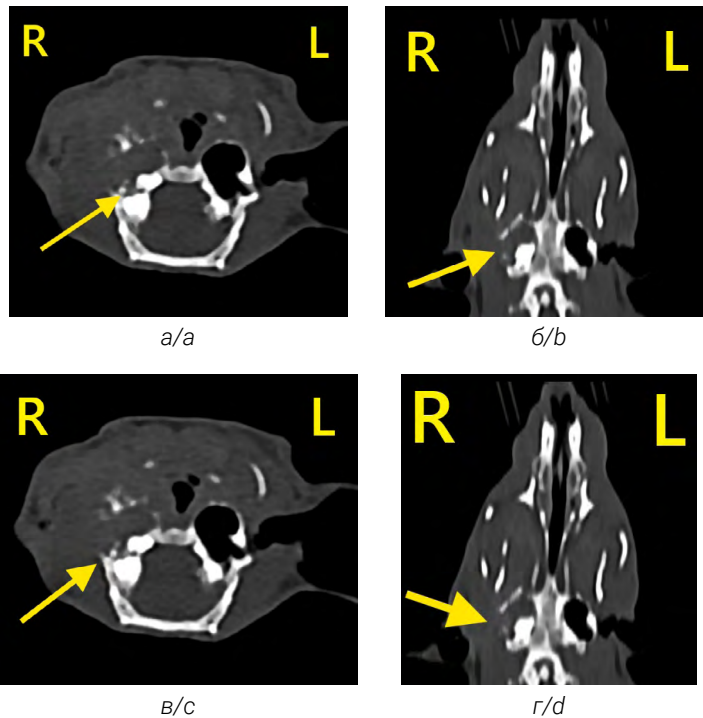


Рис. 3. КТ области головы в экскреторную (а, б) и отсроченную (в, г) фазу: режим «костное окно» — повышение денсивности содержимого дистальной части наружного уха и барабанного пузыря в аксиальной (а, в) и коронарной (б, г) плоскости

Источник: выполнено А.В. Чечневой.

Fig. 3. CT scan of the head in the excretory (a, b) and delayed (c, d) phases: “bone window” mode — increased density of the contents of the distal part of the outer ear and tympanic bulla in the axial (a, c) and coronal (b, d) planes

Source: compiled by A.V. Chechneva.

Заключение

Проведение КТ области головы у крысы позволило определить структурные изменения наружного слухового канала, барабанного пузыря и окружающих тканей. Признаками хронического течения отита у крыс являются снижение пневматизации барабанного пузыря за счет накопления патологического субстрата, ремоделирование буллы, проявляющееся в истончении и/или утолщении костной ткани. Таким образом, КТ в диагностике патологий органа слуха у крыс показало объективную, визуализированную картину изменений в области среднего уха.

Признаками хронического течения отита у крыс являются снижение пневматизации барабанного пузыря за счет накопления патологического субстрата, ремоделирование буллы, проявляющееся в истончении и/или утолщении костной ткани.

Результаты исследования имеют высокую практическую значимость для ветеринарных врачей и могут быть приняты как руководство для оптимизации проведения КТ и оценки серии снимков с целью установления патологических изменений области головы грызунов.

Список литературы / References

1. Turitsyna EG, Pronina EA. Clinical and morphological features of brain disease in decorative rats. *Bulletin of KrasGAU*. 2019;(1):97–103. (In Russ.). EDN: YZCQUP
Турицына Е.Г., Пронина Е.А. Клинико-морфологические особенности поражений головного мозга у декоративных крыс // Вестник КрасГАУ. 2019. № 1 (142). С. 97–103. EDN: YZCQUP
2. Tolmacheva PA, Skosyrskikh LN. Pathologies of rats requiring surgical intervention. In: *Molodezhnaya nauka dlya razvitiya APK: sb. trudov LX Studencheskoi nauch.-prak. konf. [Youth science for the development of the agro industrial complex: Proceedings of the LX student scientific and practical conference]*. State Agrarian University of the Northern Trans Urals; 2023:41–45. (In Russ.). EDN: KKKHRE
Толмачева П.А., Скосырских Л.Н. Патологии крыс, требующие хирургического вмешательства // Молодежная наука для развития АПК : сб. трудов LX Студенческой науч.-прак. конф., Тюмень, 14 ноября 2023 г. Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. С. 41–45. EDN: KKKHRE
3. Sannikova VA. Otitis in rats. *Russian Veterinary Journal. Small Domestic and Wild Animals*. 2014;(4):15–16. (In Russ.). EDN: SJGMMH
Санникова В.А. Отиты у крыс // Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные. 2014. № 4. С. 15–16. EDN: SJGMMH
4. Kazemirchuk MS. Otitis media in rodents. *Veterinary Petersburg*. 2019;(2):43–45.
Каземирчук М.С. Средние отиты у грызунов // Ветеринарный Петербург. 2019. № 2. С. 43–45.
5. Eriksson PO, Hellström S. Acute otitis media develops in the rat after intranasal challenge of *Streptococcus pneumoniae*. *The Laryngoscope*. 2003;113(11):2047–2051. doi: 10.1097/00005537-200311000-00036
6. Tonnaer EL, Sanders EA, Curfs JH. Bacterial otitis media: a new non-invasive rat model. *Vaccine*. 2003;21(31):4539–4544. doi: 10.1016/s0264-410x(03)00501-2
7. Piltcher OB, Swarts JD, Magnuson K, Alper CM, Doyle WJ, Hebda PA. A rat model of otitis media with effusion caused by eustachian tube obstruction with and without *Streptococcus pneumoniae* infection: methods and disease course. *Otolaryngology — Head and Neck Surgery*. 2002;126(5):490–498. doi: 10.1067/mhn.2002.124935
8. Akiyama N, Yamamoto-Fukuda T, Takahashi H. Influence of continuous negative pressure in the rat middle ear. *Laryngoscope*. 2014;124(10):2404–2410. doi: 10.1002/lary.24767
9. Albuquerque AA, Rossato M, Oliveira JA, Hyppolito MA. Understanding the anatomy of ears from guinea pigs and rats and its use in basic otologic research. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2009;75(1):43–49. doi: 10.1016/s1808-8694 (15) 30830-2
10. Zou J, Poe D, Ramadan UA, Pyykkö I. Oval window transport of Gd-DOTA from rat middle ear to vestibulum and scala vestibuli visualized by in vivo magnetic resonance imaging. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*. 2012;121(2):119–128. doi: 10.1177/000348941212100209
11. Zou J, Hannula M, Misra S, et al. Micro CT visualization of silver nanoparticles in the middle and inner ear of rat and transportation pathway after transtympanic injection. *Journal of Nanobiotechnology*. 2015;13(1):5. doi: 10.1186/s12951-015-0065-9 EDN: SMTEPI
12. Davidoss NH, Varsak YK, Santa Maria PL. Animal models of acute otitis media — a review with practical implications for laboratory research. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*. 2018;135(3):183–190. doi: 10.1016/j.anorl.2017.06.013
13. Cossellu D, Vivado E, Batti L, Gantar I, Pizzala R, Perin P. Volumetric atlas of the rat inner ear from microCT and iDISCO+ cleared temporal bones. *Peer J*. 2025;13:e19512. doi: 10.7717/peerj.19512 EDN: CSUVGR
14. Daoudi H, Ferrary E, Moula C, et al. Micro-CT analysis of rodent temporal bones: identifying optimal species for otological research. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*. 2025;10(3): e70190. doi: 10.1002/lio2.70190 EDN: NZUHLG
15. Ovsyannikov VG, Zolotova TV, Lobzina EV, Dubinskaya NV. Pathological changes in the inner ear in experimental modeling of sensorineural hearing loss in animals. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2018;25(3): 82–87. (In Russ.). doi: 10.25207/1608-6228-2018-25-3-82-87 EDN: XTUVRF

Овсянников В.Г., Золотова Т.В., Лобзина Е.В., Дубинская Н.В. Патологические изменения во внутреннем ухе при экспериментальном моделировании сенсоневральной тугоухости у животных // Кубанский научный медицинский вестник. 2018. Т. 25. № 3. С. 82–87. doi: 10.25207/1608-6228-2018-25-3-82-87 EDN: XTVURF

Об авторах:

Чечнева Анастасия Вячеславовна — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных, Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; интерн кафедры ветеринарной интернатуры, Донской государственной технической университет, Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; e-mail: anast_asia@bk.ru
ORCID: 0009-0002-4723-1423 SPIN-код: 3056-9855

Вильмис Дарья Александровна — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры болезней мелких домашних, лабораторных и экзотических животных, Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; интерн кафедры ветеринарной интернатуры, Донской государственной технической университет, Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; e-mail: vilmisda@mgupp.ru
ORCID: 0009-0007-0921-627X SPIN-код: 1928-8260

About the authors:

Chechneva Anastasia Vyacheslavovna — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory and Exotic Animals, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 11 Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, Russian Federation; Intern of the Department of Veterinary Internship, Don State Technical University, 1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation; e-mail: anast_asia@bk.ru
ORCID: 0009-0002-4723-1423 SPIN-code: 3056-9855

Vilmis Darya Aleksandrovna — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Diseases of Small Domestic, Laboratory and Exotic Animals, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 11 Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, Russian Federation; Intern of the Department of Veterinary Internship, Don State Technical University, 1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation; e-mail: vilmisda@mgupp.ru
ORCID: 0009-0007-0921-627X SPIN-code: 1928-8260






DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-175-194

EDN GIPEBI

УДК 636.09

Научная статья / Research article


Возрастная и половая предрасположенность к разрыву передней крестовидной связки у собак карликовых пород

К.А. Козляков^{1, 2}  , С.А. Ягников^{1, 2} ,

А.Д. Трухачев^{1, 2} , Л.С. Барсегян¹ 

¹Центр ветеринарной хирургии «ВетПрофАльянс», г. Чехов, Российская Федерация

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

 89104379646kk@gmail.com

Аннотация. В условиях современного мегаполиса отмечается рост популярности мелких и карликовых пород собак, что повышает актуальность изучения характерных для них патологий. Разрыв передней крестообразной связки (ПКС) является одной из наиболее распространенных причин хромоты тазовых конечностей у собак, однако данные о возрастной и половой предрасположенности к этому заболеванию именно у карликовых пород остаются недостаточными. Цель исследования — изучить возрастную и половую предрасположенность к разрыву ПКС у собак карликовых пород и уточнить диагностические критерии. Впервые на значительном клиническом материале проведена детальная статистическая оценка взаимосвязи возраста и пола с частотой разрыва ПКС в этой специфической группе животных. Исследование проведено на базе департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов и Центра ветеринарной хирургии «ВетПрофАльянс» (Москва, Чехов). Выполнен ретроспективный анализ историй болезни 84 собак карликовых пород с первично диагностированным разрывом ПКС за период с января 2016 по июль 2024 г. Дополнительно анализировали 14 случаев билатерального поражения коленных суставов. Диагностика ПКС включала визуальный и клинический осмотр, специальные тесты (симптом переднего выдвигающего ящика, компрессионный тест по Хендерсону) и рентгенографическое исследование. Статистический анализ проводился методом интервальной оценки биномиальной вероятности и методом наименьших квадратов для нелинейной корреляции. Статистически значимой половой предрасположенности к разрыву ПКС у собак карликовых пород не выявлено; данные позволяют предполагать отсутствие таких различий. Также не установлено статистически значимого различия в частоте дегенеративно-дистрофических изменений правого и левого коленных суставов, равно как и влияния пола или стороны поражения на вероятность осложнения ПКС сопутствующими заболеваниями. Однако обнаружена устойчивая нелинейная корреляция между возрастом собак и относительной частотой возникновения разрыва ПКС: наибольшая частота случаев зафиксирована у собак в возрасте 6–8 лет, что указывает на возрастную пик разрыва ПКС.

© Козляков К.А., Ягников С.А., Трухачев А.Д., Барсегян Л.С., 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: миниатюрные породы, разрыв ПКС, возрастная предрасположенность, гендерная предрасположенность, ортопедические патологии, эпидемиология, мелкие животные






Вклад авторов: Козляков К.А. — концепция и дизайн исследования; Ягников С.А., Барсемян Л.С. — анализ полученных данных; Трухачев А.Д. — обработка материалов, статистические данные. Все авторы одобрили окончательную версию рукописи.


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

История статьи: поступила в редакцию 2 июня 2025 г.; принята к публикации 22 сентября 2025 г.

Для цитирования: Козляков К.А., Ягников С.А., Трухачев А.Д., Барсемян Л.С. Возрастная и половая предрасположенность к разрыву передней крестовидной связки у собак карликовых пород // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 175–194. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-175-194 EDN: GIPEBI

Age and sex predisposition to cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs

Kirill A. Kozlyakov^{1, 2}  , Sergey A. Yagnikov^{1, 2} ,
Andrey D. Trukhachev^{1, 2} , Lusine S. Barsegyan¹ 

¹Veterinary Surgery Center “VetProfAlliance”, Chekhov, Russian Federation
²RUDN University, Moscow, Russian Federation
 89104379646kk@gmail.com

Abstract. The rising prevalence of small and toy dog breeds in urban environments necessitates a deeper understanding of their breed-specific pathologies. Cranial cruciate ligament (CCL) rupture is a leading orthopedic cause of hindlimb lameness in dogs, yet comprehensive data regarding age and sex predisposition specifically within small-breed populations remain limited. The aim of this study was to investigate age and sex predisposition to CCL rupture in small breed dogs and to refine diagnostic criteria. For the first time, a detailed statistical assessment of the relationship between age, sex, and the incidence of CCL rupture in this specific group of animals was conducted based on extensive clinical material. The research was conducted at the Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, and the VetProfAlliance Veterinary Surgery Center (Moscow and Chekhov). A retrospective analysis was conducted on the medical records of 84 small-breed dogs diagnosed with CCL rupture between January 2016 and July 2024. The cohort included 14 cases of bilateral involvement. CCL rupture was diagnosed via clinical examination (cranial drawer sign and tibial compression/Henderson’s test) and confirmed through radiographic imaging. Statistical analysis employed interval estimation of binomial probability for binary factors and the least squares method for non-linear correlation. The study found no statistically significant sex predisposition to CCL rupture, nor was there a significant difference in frequency between the right and left stifle joints. Additionally, neither sex nor the affected side influenced the likelihood of comorbidities. However, a stable non-linear correlation was identified between age and incidence: the highest frequency of CCL rupture occurred in dogs aged 6–8 years, indicating a distinct age-related peak for this demographic. While sex and laterality do not appear to be significant risk factors, age is a critical determinant in the manifestation of CCL rupture in small-breed dogs, with middle-to-senior age marking the highest period of risk.

Keywords: small breeds, toy breeds, CCL rupture, age predisposition, gender predisposition, orthopedic pathologies, epidemiology, small animals

Author contributions: Kozlyakov K.A. — study concept and design; Yagnikov S.A., Barsegyan L.S. — data analysis; Trukhachev A.D. — data processing, statistical data. All authors approved the final version of the manuscript.

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

Article history: received 2 June 2025; accepted 22 September 2025.

For citation: Kozlyakov KA, Yagnikov SA, Trukhachev AD, Barsegyan LS. Age and sex predisposition to cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):175–194. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-175-194 EDN: GIPEBI

Введение

Жители мегаполисов отдают предпочтение содержанию собак мелких и карликовых пород [1–3]. В связи с этим изучение патологий, характерных для этих животных, приобретает особое значение. К таким патологиям, в частности, относят хромоту тазовых конечностей, которая может быть вызвана различными заболеваниями костей и суставов. Чрезвычайно важна своевременная и точная диагностика заболевания, которая в обязательном порядке учитывает не только клинические симптомы, но и результаты рентгенографии, артроскопии и магнитно-резонансной томографии. Задержка с постановкой диагноза может привести к прогрессированию атрофии мышц, что снижает эффективность корректирующих операций [4–6].

В литературе подробно описаны такие заболевания, как медиальный вывих коленной чашки и болезнь Легга — Кальве — Пертеса. Эти заболевания часто вызывают хромоту у собак в период роста. Медиальный вывих коленной чашки определяется ее миграцией при сгибании (флексии) коленного сустава медиально или латерально по отношению к межмышцелковому желобу бедренной кости. *Os patella* может находиться в данном положении, вправляться или не вправляться в межмышцелковый желоб путем приложения усилия. Болезнь Легга — Кальве — Пертеса проявляется болями при отведении бедра, изменениями структуры костной ткани и конфигурации головки бедренной кости на рентгенограмме. Оперативное вмешательство на ранней стадии диагностики значительно увеличивает шансы на полное восстановление опорной и двигательной функции конечности [1–3].

Разрыв передней крестовидной связки (РПКС) — одна из наиболее часто встречаемых у собак ортопедических патологий. По данным [1], за период наблюдения продолжительностью один год (2014–2015, г. Москва) из 209 животных с диагностированной ортопедической патологией тазовых конечностей в 64 случаях (30,62 % всех патологий тазовой конечности и 20,9 % общего числа наблюдений) был выявлен РПКС. В масштабных исследованиях, проведенных на базе страховой компании *Agria Pet Insurance* (Швеция) в период с января 2011 по декабрь 2016 г., примерно у 60 тысяч зарегистрированных собак выявили 4167 случаев патологий передней крестовидной связки (ПКС). Общий уровень заболеваемости РПКС составил 23,8 (23,1...24,6) случаев на 10 000 зарегистрированных животных в год. Данное заболевание зарегистрировано у собак 181 породы [3]. Отметим, что РПКС чаще

регистрируют у взрослых собак крупных пород, однако достаточно большое число случаев приходится также на мелкие и карликовые породы.

РПКС у собак следует считать полиэтиологичным заболеванием. Точный этиопатогенез до конца не изучен. Патология, вероятно, обуславливается многими факторами: связанными с генетикой, особенностями анатомии животного, наличием воспалительного компонента, — которые в совокупности создают дисбаланс между биомеханическими силами, приложенными к связке, и ее способностью выдерживать нагрузки, что в конечном итоге приводит к разрыву ПКС и нестабильности сустава [2, 3, 7–11].

Ввиду отсутствия достоверной информации о возрастной и половой предрасположенности у собак карликовых пород к РПКС, актуальным представляется исследование этих параметров для уточнения диагностических критериев заболевания [11, 13–14].

Цель исследования — определить степень возрастной и половой предрасположенности к разрыву передней крестообразной связки у собак карликовых пород.

Материалы и методы исследования

Все исследования выполнены на базе департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы и Центра ветеринарной хирургии «ВетПрофАльянс» (Москва, Чехов). Для проведения исследования выполнен ретроспективный анализ историй болезни животных, проходивших лечение в Центре «ВетПрофАльянс» за период с января 2016 по июль 2024 г.

Все исходные статистические данные, использованные в данном исследовании, приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Данные по всем случаям диагностированного РПКС / Data on all diagnosed cases of CCLR

№	Порода; пол / Breed; sex	Год рождения / Year of birth	Сторона патологии / Side of pathology	Код сопутствующего заболевания / Code of comorbidity	Год обращения / Year of consultation	Месяц обращения / Month of consultation	Возраст при обращении, лет / Age at consultation, years
1	ЙТ; С УТ; F	2007	ПР	1	2017	12	10
2	ЙТ; КУТ; M	2007	ПР	0	2016	6	9
3	ЧХ; КСН; M	2008	ЛЛ	0	2017	5	9
4	ЙТ; СУТ; F	2008	ПР	0	2021	4	13
5	ЙТ; СУТ; F	2008	ЛЛ	0	2021	3	13
6	ЙТ; КУТ; M	2009	ЛЛ	0	2020	4	11
7	ЙТ; СУТ; F	2009	ЛЛ	5	2018	8	9
8	ЧХ; ССН; F	2009	ЛЛ	12	2016	5	7
9	ЙТ; СУТ; F	2009	ЛЛ	0	2020	6	11
10	ЙТ; СУТ; F	2009	ЛЛ	11	2016	8	7

Продолжение табл. 1

№	Порода; пол / Breed; sex	Год рождения / Year of birth	Сторона патологии / Side of pathology	Код сопутствующего заболевания / Code of comorbidity	Год обращения / Year of consultation	Месяц обращения / Month of consultation	Возраст при обращении, лет / Age at consultation, years
11	ЙТ; СУТ; F	2009	ПР	0	2016	7	7
12	ЧХ; КСН; M	2009	ЛЛ	0	2018	10	9
13	ЙТ; СУТ; F	2009	ПР	0	2016	11	7
14	ЧХ; ССН; F	2009	ПР	0	2020	8	11
15	ЙТ; СУТ; F	2009	ПР	0	2020	5	11
16	ММх	2009	ЛЛ	0	2017	7	8
17	ЙТ; КУТ; M	2009	ЛЛ	0	2016	6	7
18	ЙТ; КУТ; M	2009	ПР	0	2018	5	9
19	ЙТ; КУТ; M	2009	ЛЛ	0	2021	5	12
20	ЧХ; КСН; M	2009	ЛЛ	0	2020	9	11
21	ЙТ; СУТ; F	2009	ЛЛ	0	2017	5	8
22	ЙТ; СУТ; F	2009	ЛЛ	0	2018	8	9
23	ЙТ; СУТ; F	2010	ПР	0	2019	9	9
24	ЧХ; ССН; F	2010	ЛЛ	0	2020	6	10
25	ЙТ; КУТ; M	2010	ЛЛ	2	2019	4	9
26	ЙТ; СУТ; F	2010	ПР	0	2018	4	8
27	ЙТ; СУТ; F	2010	ЛЛ	0	2018	11	8
28	ЙТ; СУТ; F	2010	ПР	0	2017	9	7
29	ЙТ; СУТ; F	2010	ЛЛ	7	2018	10	8
30	ЧХ; КСН; M	2010	ЛЛ	0	2018	1	8
31	ЙТ; СУТ; F	2010	ПР	0	2018	8	8
32	ЙТ; КУТ; M	2010	ЛЛ	0	2017	6	7
33	ЙТ; СУТ; F	2011	ПР	1, 0	2017	8	6
34	ЙТ; СУТ; F	2011	ЛЛ	0	2017	10	6
35	Ш; КС; M	2011	ПР	0	2018	8	7
36	ЙТ; КУТ; M	2011	ПР	0	2021	4	10
37	ЙТ; КУТ; M	2011	ЛЛ	0	2020	2	9
38	ЙТ; КУТ; M	2011	ЛЛ	6	2020	10	9
39	ЙТ; СУТ; F	2011	ПР	6	2019	9	8
40	ЙТ; КУТ; M	2011	ПР	0	2021	9	10
41	ЙТ; КУТ; M	2011	ЛЛ	0	2017	5	6
42	ЙТ; КУТ; M	2011	ПР	0	2016	11	5
43	ЙТ; КУТ; M	2011	ПР	0	2019	12	8
44	ЙТ; СУТ; F	2011	ПР	4	2020	6	9
45	ЙТ; СУТ; F	2011	ЛЛ	0	2018	9	7
46	ЙТ; СУТ; F	2011	ПР	0	2018	1	7
47	ЙТ; СУТ; F	2011	ЛЛ	6	2021	11	10
48	ЙТ; СУТ; F	2011	ПР	0	2018	4	7

Продолжение табл. 1

№	Порода; пол / Breed; sex	Год рождения/ Year of birth	Сторона пато- логии / Side of pathology	Код сопут- ствующего заболевания/ Code of comorbidity	Год обраще- ния / Year of consultation	Месяц об- ращения / Month of consultation	Возраст при обращении, лет / Age at consultation, years
49	ЙТ; КУТ; М	2012	ПР	8	2017	10	5
50	ЙТ; СУТ; F	2012	ЛЛ	0	2021	6	9
51	ЙТ; КУТ; М	2012	ПР	9	2016	4	4
52	ЙТ; КУТ; М	2012	ПР	0	2016	6	4
53	ЙТ; СУТ; F	2012	ЛЛ	0	2017	12	5
54	ЙТ; КУТ; М	2012	ПР	0	2019	3	7
55	ЙТ; КУТ; М	2012	ЛЛ	0	2021	3	9
56	ЙТ; КУТ; М	2012	ПР	0	2020	7	8
57	ЙТ; КУТ; М	2012	ЛЛ	0	2020	2	8
58	Ш; КS; М	2012	ЛЛ	0	2018	1	6
59	Ш; КS; М	2012	ЛЛ	6	2017	4	5
60	ЙТ; КУТ; М	2012	ПР	6	2020	8	8
61	ЧХ; ССН; F	2013	ЛЛ	6	2017	3	4
62	ЙТ; СУТ; F	2013	ЛЛ	0	2017	8	4
63	ЙТ; СУТ; F	2013	ПР	0	2017	1	4
64	ЙТ; КУТ; М	2013	ПР	0	2021	4	8
65	ЧХ; КСН; М	2013	ПР	10	2017	9	4
66	ЙТ; КУТ; М	2013	ПР	0	2021	10	8
67	ММх	2013	ПР	0	2020	4	7
68	ЙТ; КУТ; М	2013	ЛЛ	6	2017	3	4
69	ЙТ; СУТ; F	2014	ЛЛ	0	2021	11	7
70	ЙТ; КУТ; М	2014	ПР	0	2021	5	7
71	ЙТ; КУТ; М	2014	ЛЛ	0	2019	3	5
72	ЙТ; КУТ; М	2014	ПР	0	2020	6	6
73	ЙТ; КУТ; М	2014	ЛЛ	0	2020	2	6
74	ЙТ; СУТ; F	2014	ЛЛ	0	2020	2	6
75	БЙТ; СВУТ; F	2014	ЛЛ	0	2021	11	7
76	ММх	2014	ЛЛ	0	2021	11	7
77	ЙТ; СУТ; F	2014	ПР	0	2021	6	7
78	Ш; СS; F	2014	ЛЛ	3	2020	10	6
79	ЙТ; КУТ; М	2014	ЛЛ	0	2020	11	6
80	ЙТ; КУТ; М	2014	ПР	0	2020	7	6
82	ЙТ; КУТ; М	2014	ПР	0	2021	11	7
83	НШ; СGSh; F	2014	ПР	0	2021	3	7
84	ММх	2014	ЛЛ	0	2020	2	6
85	ЙТ; СУТ; F	2015	ПР	0	2021	5	6
86	ЙТ; СУТ; F	2015	ЛЛ	0	2020	8	5
87	ЙТ; СУТ; F	2015	ПР	0	2021	1	6

Окончание табл. 1

№	Порода; пол / Breed; sex	Год рождения / Year of birth	Сторона патологии / Side of pathology	Код сопутствующего заболевания / Code of comorbidity	Год обращения / Year of consultation	Месяц обращения / Month of consultation	Возраст при обращении, лет / Age at consultation, years
88	Ш; КС; М	2015	ПР	6	2019	10	4
89	ЙТ; СУТ; F	2015	ЛЛ	6	2020	9	5
90	Ш; СС; F	2015	ПР	0	2021	7	6
91	Ш; СС; F	2015	ЛЛ	0	2021	4	6
92	ММх	2015	ЛЛ	0	2018	12	3
93	Ш; СС; F	2016	ЛЛ	3	2019	9	3
94	ЙТ; КУТ; М	2016	ЛЛ	0	2021	11	5
95	ЙТ; КУТ; М	2017	ПР	0	2019	11	2
96	ЙТ; КУТ; М	2017	ЛЛ	0	2020	12	3
97	ЙТ; КУТ; М	2018	ПР	0	2021	8	3
98	ЙТ; КУТ; М	2018	ЛЛ	0	2020	11	2

Примечание. ЙТ – йоркширский терьер; ЧХ – чихуа-хуа; Ш – шпиц; НШ – немецкий шпиц; БЙТ – бивер-йоркширский терьер; М – метис; С и К – соответственно самка и самец; Л и П – соответственно левая и правая сторона патологии.

Note. YТ – Yorkshire Terrier; CH – Chihuahua; S – Spitz; GSh – German Spitz; BYT – Biewer Yorkshire Terrier; Mx – crossbreed; F and M – female and male, respectively; L and R – left and right side of pathology, respectively.

Источник: составлено К.А. Козляковым.

Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

Таблица 2

Кодификатор сопутствующих заболеваний

Сопутствующее заболевание	Код
Нет сопутствующего заболевания	0
Латеральный вывих коленной чашечки	1
Латеральный вывих надколенника II степени	2
Медиальный вывих os patella левого коленного сустава II степени	3
Медиальный вывих os patella правого коленного сустава II степени	4
Медиальный вывих os patella. Расслаивающий остеохондрит медиального мыщелка бедренной кости	5
Медиальный вывих коленной чашечки II степени	6
Медиальный вывих коленной чашечки III степени	7
Медиальный вывих коленной чашечки правого коленного сустава	8
Подвывих коленной чашки	9
Разрыв каудального рога медиального мениска	10
Разрыв медиального мениска. Медиальный вывих коленной чашечки	11
Разрыв медиального мениска. Подвывих коленной чашки левого коленного сустава	12

Источник: составлено К.А. Козляковым.

Table 2

Comorbidity codes

Comorbidity	Code
No comorbidity	0
Lateral patellar luxation	1
Lateral patellar luxation, grade II	2
Medial patellar luxation of the left stifle joint, grade II	3
Medial patellar luxation of the right stifle joint, grade II	4
Medial patellar luxation. Osteochondritis dissecans of the medial femoral condyle	5
Medial patellar luxation, grade II	6
Medial patellar luxation, grade III	7
Medial patellar luxation of the right stifle joint	8
Patellar subluxation	9
Tear of the caudal horn of the medial meniscus	10
Medial meniscus tear. Medial patellar luxation	11
Medial meniscus tear. Patellar subluxation of the left stifle joint	12

Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

Диагностика РПКС выполнялась в следующем порядке:

- на основании визуального осмотра животного определяли хромоту на правую или левую тазовую конечность при движении и/или снижение нагрузки на пораженную конечность в положении стоя;
- клинический осмотр включал определение контуров коленного сустава, наличия болевого симптома при флексии коленного сустава, а также проведение специальных тестов (выявление симптома переднего выдвигающего ящика, компрессионный тест по Хендерсону) [5, 6].
- для документального подтверждения РПКС всем животным выполняли рентгенографическое исследование коленного сустава в медиолатеральной проекции с углом 90 градусов между бедренной и большеберцовой костью (рис. 1). У всех пациентов диагноз РПКС был подтвержден при ревизии коленного сустава во время хирургического вмешательства (двойная остеотомия большеберцовой кости).

Статистическую обработку данных проводили на основании интервальной оценки биномиальной вероятности значений бинарных факторов. Теоретическое обоснование использованной методики приведено ниже. При этом исходили из предположения, что в нашей экспериментальной выборке (см. табл. 1) каждый объект имеет (в числе иных атрибутов) бинарный признак (например, каждая собака — носитель признака пола, принимающего два значения). Обычно в таких расчетах одно из значений обозначается как «успех», а другое — как «неудача».



Рис. 1. Рентгенография коленного сустава: йоркширский терьер, возраст 11 лет; наблюдается каудальное смещение мыщелков бедренной кости относительно плато большеберцовой кости

Источник: выполнено К.А. Козляковым.

Fig. 1. Radiograph of the stifle joint: Yorkshire Terrier, 11 years old; showing caudal displacement of the femoral condyles relative to the tibial plateau

Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

Из теории вероятности известна формула для вычисления вероятности обнаружения ровно M «успехов» в случайной выборке, содержащей N элементов:

$$p_{N,M} = C_N^M p^M (1-p)^{(N-M)}, \quad (1)$$

где биномиальный коэффициент

$$C_N^M = \frac{N!}{M!(N-M)!}$$

Формула (1) носит название биномиального распределения, а вероятность p — биномиальной вероятности.

Пусть f — вероятность того, что в случайной выборке объема N число «успехов» окажется не меньшим, чем K_L и не большим, чем K_H . Эта вероятность есть сумма вероятностей $K_L, (K_L+1), (K_L+2), \dots, K_H$ «успехов». Поскольку f зависит от N, p, K_L, K_H , то она как функция этих величин вычисляется, в соответствии со сказанным выше, по формуле

$$f(N, p, K_L, K_H) = \sum_{r=K_L}^{r=K_H} C_N^r p^r (1-p)^{N-r}. \quad (2)$$

Рассмотрим два частных случая формулы (2).

Первый случай. Обозначим через γ_H вероятность того, что в случайной выборке объема N число «успехов» окажется меньше, чем K_L . Тогда в соответствии с формулой (2)

$$\gamma_H = \sum_{r=0}^{r=K_L-1} C_N^r p^r (1-p)^{N-r}. \quad (3)$$

Второй случай. Обозначим через γ_L вероятность того, что в случайной выборке объема N число «успехов» окажется больше, чем K_H . В соответствии с формулой (2)

$$\gamma_L = \sum_{r=K_N+1}^{r=N} C_N^r p^r (1-p)^{N-r}. \quad (4)$$

Предположим, что в реальной выборке объема N число «успехов» оказалось равным M . Зададим значение γ_H и найдем максимальное значение биномиальной вероятности p_{\max} , при котором число «успехов» окажется меньше M с вероятностью γ_H . Для этого превратим формулу (3) в уравнение, заменив K_L на M , а p — на p_{\max} :

$$\gamma_H = \sum_{r=0}^{r=M-1} C_N^r (p_{\max})^r (1-p_{\max})^{N-r}. \quad (5)$$

Теперь зададим значение γ_L и найдем минимальное значение биномиальной вероятности p_{\min} , при котором число «успехов» превзойдет M с вероятностью γ_L . Для этого превратим формулу (4) в уравнение, заменив K_H на M , а p — на p_{\min} ,

$$\gamma_L = \sum_{r=M+1}^{r=N} C_N^r (p_{\min})^r (1-p_{\min})^{N-r}. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) носят название уравнений Клоппера — Пирсона и используются в статистике для определения по реальной выборке пределов, в которых находится биномиальная вероятность:

$$p_{\min} < p < p_{\max}. \quad (7)$$

Обозначим через γ вероятность того, что в случайной выборке объема N число «успехов» окажется либо меньше, либо больше, чем M . Очевидно, что $\gamma = \gamma_H + \gamma_L$. Итак γ_H — это вероятность того, что не выполняется правая часть неравенства (7); γ_L — вероятность того, что не выполняется левая часть неравенства (7); γ — вероятность того, что не выполняется либо левая, либо правая часть неравенства (7). Если отсутствуют какие-либо специальные требования, вызывающие необходимость задавать разную вероятность ошибки при определении p_{\min} и p_{\max} ,

то принято задавать γ_H и γ_L равными друг другу. Обычно задают γ , а затем находят $\gamma_H = \gamma_L = 0,5\gamma$. В биологии и медицине чаще всего принимают γ , равной 0,05.

В своей основе методика, использованная нами, полностью совпадает с изложенной выше. Вместе с тем, в тех случаях, когда из содержательных соображений нельзя сделать вывод о наличии сдвига значений бинарного фактора в сторону одного из двух значений, а значение вероятности, равное 0,5, попадает в доверительный интервал, выполняется небольшое дополнительное исследование: определяются два доверительных интервала. Разница между интервалами состоит в том, что один интервал построен для значения «успех», а другой — для значения «неудача». Делается заключение о том, что по имеющейся выборке нельзя сделать статистически значимый вывод о выходе частоты значений бинарного фактора за границы построенного симметричного интервала.

Для расчетов мы использовали возможности статистического¹ пакета Excel².

Результаты исследования и обсуждение

1. Статистический анализ бинарных факторов «пол собаки», «правый — левый коленный сустав», «сопутствующие заболевания»

1.1. Для исследования фактора пола по всей выборке использованы данные, в которых каждая из собак встречалась только один раз. Общее число собак составило 84, из них самок — 42, самцов — 42. Доверительный интервал для частоты значений «самка» или «самец» находился в пределах $0,4 < p < 0,6$ или, в другой форме, $p = 0,5 \pm 0,05$. Для исследования фактора пола по выборке собак, получивших РПКС повторно, использовали данные табл. 3.

Таблица 3

Данные выборки животных, поступивших с диагностированным РПКС повторно (у всех животных, кроме № 9, РПКС диагностирован контралатерально)

№	Порода, пол	Год рождения	№ п/п первичного обращения (табл. 1)	Сторона патологии при первичном обращении	Код сопутствующего заболевания при первичном обращении	Год первичного обращения	Месяц первого обращения	Возраст при первичном обращении, лет	Сторона патологии при повторном обращении	Код сопутствующего заболевания при повторном обращении	Время между обращениями, мес
1	ЙТ; С	2008	5	Л	0	2021	3	13	П	0	1
2	ЙТ; К	2009	17	Л	0	2016	6	7	П	0	23

¹ Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. 9-е изд., стер. М. : Высшая школа, 2003. 479 с.

² Гельман В.Я. Решения математических задач средствами Excel: практикум. СПб. : Питер, 2003. 240 с.

Окончание табл. 3

№	Порода, пол	Год рождения	№ п/п первичного обращения (табл. 1)	Сторона патологии при первичном обращении	Код сопутствующего заболевания при первичном обращении	Год первичного обращения	Месяц первого обращения	Возраст при первичном обращении, лет	Сторона патологии при повторном обращении	Код сопутствующего заболевания при повторном обращении	Время между обращениями, мес
3	ЙТ; С	2010	26	П	0	2018	4	8	Л	0	7
4	ЙТ; К	2011	42	П	0	2016	11	5	Л	0	6
5	ЙТ; С	2011	39	П	6	2019	9	8	Л	6	13
6	ЙТ; К	2011	37	Л	0	2020	2	9	П	0	12
7	ЙТ; С	2011	33	П	10	2017	8	6	Л	0	2
8	ЙТ; К	2012	54	П	0	2019	3	7	Л	0	24
9	ЙТ; К	2012	51	П	9	2016	4	4	П	0	2
10	М; С	2014	84	Л	0	2020	2	6	П	0	12
11	Ш; С	2015	91	Л	0	2021	4	6	П	0	3
12	ЙТ; С	2015	86	Л	0	2020	8	5	П	0	9
13	ЙТ; К	2017	95	П	0	2019	11	2	Л	0	2
14	ЙТ; К	2018	98	Л	0	2020	11	2	П	0	9

Источник: составлено К.А. Козляковым.

Table 3

**Data on a sample of animals with a second diagnosis of CCLR
(in all animals except № 9, the diagnosis was contralateral)**

№	Breed, sex	Year of birth	№№ of primary consultation (Table 1)	Side of pathology at primary consultation	Code of comorbidity at primary consultation	Year of secondary consultation	Month of secondary consultation	Age at secondary consultation, years	Side of pathology at secondary consultation	Code of comorbidity at secondary consultation	Time between consultations, months
1	YT; F	2008	5	L	0	2021	3	13	R	0	23
2	YT; M	2009	17	L	0	2016	6	7	R	0	23
3	YT; F	2010	26	R	0	2018	4	8	L	0	7
4	YT; M	2011	42	R	0	2016	11	5	L	0	6
5	YT; F	2011	39	R	6	2019	9	8	L	6	13
6	YT; M	2011	37	L	0	2020	2	9	R	0	12
7	YT; F	2011	33	R	10	2017	8	6	L	0	2
8	YT; M	2012	54	R	0	2019	3	7	L	0	24

9	YT; M	2012	51	R	9	2016	4	4	R	0	2
10	Mx; F	2014	84	L	0	2020	2	6	R	0	12
11	S; F	2015	91	L	0	2021	4	6	R	0	3
12	YT; F	2015	86	L	0	2020	8	5	R	0	9
13	YT; M	2017	95	R	0	2019	11	2	L	0	2
14	YT; M	2018	98	L	0	2020	11	2			

Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

Общее число таких собак составило 14, из них самок — 7, самцов — 7. Доверительный интервал для частоты значений «самка» и «самец» оказался одинаковым: $0,29 < p < 0,71$ или, в другой форме, $p = 0,5 \pm 0,21$. Таким образом, данные выборки не дают статистических оснований для вывода о различии частоты дегенеративно-дистрофических изменений у самцов и самок. Напротив, можно сделать осторожное предположение об отсутствии таких различий.

1.2. Исследование фактора «правый — левый коленный сустав» по всей выборке. Для исследования использовали данные табл. 1, в которой приведены все случаи РПКС. Кодификатор сопутствующих заболеваний представлен в табл. 2. При этом из статистики исключили повторный РПКС у собаки № 51. Причиной исключения послужило то, что повторное обращение произошло всего через два месяца после первого. Следовательно, причина повторного обращения, скорее всего, состояла в осложнениях в период реабилитации, вызванных ненадлежащим уходом. Общее число случаев РПКС составило 97, из них правых суставов — 46, левых — 51. Доверительный интервал для частоты значений «правый сустав»: $0,382 < p < 0,568$ или, в другой форме, $p = 0,475 \pm 0,093$. Доверительный интервал для частоты значений «левый сустав»: $0,432 < p < 0,618$ или, в другой форме, $p = 0,525 \pm 0,093$. В данном случае значение вероятности, равное 0,5, попадает в доверительный интервал как для левого, так и для правого сустава. Вместе с этим значением в доверительные интервалы вероятностей «правый сустав» и «левый сустав» попадает симметричный относительно 0,5 интервал $p = 0,500 \pm 0,068$. Поэтому данные имеющейся выборки не дают статистически значимых оснований для вывода о различии частот дегенеративно-дистрофических изменений правого и левого коленных суставов.

1.3. Исследование фактора по выборке, содержащей только собак, не имевших повторный РПКС. Для исследования были использованы данные о животных, для которых обращение по поводу РПКС было единственным (их 70); общее число случаев РПКС — 70, из них правых суставов — 31, левых — 39. Доверительный интервал для частоты значений «правый сустав»: $0,338 < p < 0,553$ или, в другой форме, $p = 0,4455 \pm 0,1075$. Доверительный интервал для частоты значений «левый сустав»: 0,448.

1.4. Исследование влияния фактора пола на наличие сопутствующего заболевания. Всего дегенеративно-дистрофических изменений, осложненных сопутствующим заболеванием, — 23, из них 10 — у самок и 13 — у самцов. Доверительный интервал вероятности того, что наугад выбранная собака, у которой

РПКС осложнен сопутствующим заболеванием, окажется самкой: $0,268 < p < 0,615$ или, в другой форме, $p = 0,4415 \pm 0,1735$. Доверительный интервал вероятности того, что наугад выбранная собака, у которой РПКС осложнен сопутствующим заболеванием, окажется самцом: $0,385 < p < 0,732$ или, в другой форме, $p = 0,5585 \pm 0,1735$. При этом симметричный относительно значения 0,5 интервал $p = 0,5 \pm 0,115$ попадает в доверительные интервалы вероятности встретить в этой категории собак как самок, так и самцов. *Следовательно, имеющиеся в выборке данные не позволяют сделать вывод о статистически значимом влиянии пола на вероятность осложнения РПКС сопутствующими заболеваниями.*

1.5. Исследование влияния фактора «левый — правый сустав» на наличие сопутствующего заболевания. В числовом соотношении это та же самая статистика, что и в предыдущем пункте. Поэтому можно сразу сделать следующий вывод: *имеющиеся в выборке данные не показывают статистически значимого влияния фактора «левый — правый сустав» на вероятность осложнения дегенеративно-дистрофических изменений сопутствующими заболеваниями.*

2. Исследование фактора по выборке, содержащей только собак, не имевших повторных дегенеративно-дистрофических изменений

В исследовании использовали данные о животных, для которых обращение по поводу РПКС было единственным (их 70). Общее число случаев РПКС составило 70, из них правых суставов — 31, левых — 39. Доверительный интервал для частоты значений «правый сустав»: $0,338 < p < 0,553$ или, в другой форме, $p = 0,4455 \pm 0,1075$. Доверительный интервал для частоты значений «левый сустав»: $0,448 < p < 0,663$ или, в другой форме, $p = 0,5555 \pm 0,1075$. В данном случае значение вероятности, равное 0,5, попадает в доверительный интервал как для вероятности дегенеративно-дистрофических изменений левого, так и для вероятности дегенеративно-дистрофических изменений правого сустава. Вместе с этим значением в доверительные интервалы вероятностей «правый сустав» и «левый сустав» попадает симметричный относительно 0,5 интервал $p = 0,5 \pm 0,052$. Поэтому данные имеющейся выборки не дают статистически значимых оснований для вывода о различии частот дегенеративно-дистрофических изменений правого и левого коленного сустава.

3. Исследование фактора по выборке, содержащей только собак, имевших повторные дегенеративно-дистрофических изменений

Использованы данные табл. 3. При этом из статистики исключили собаку № 51 (см. табл. 1); причина исключения указана выше. Кроме собаки № 51, первые и повторные дегенеративно-дистрофические изменения были у всех собак на разных коленных суставах (см. табл. 3), что дает возможность оценить вероятность РПКС одного и того же сустава по выборке из 13 собак. Эта вероятность ограничивается сверху числом $(0,5)^{13} = 0,0001$. Таким образом, по имеющейся выборке можно

сделать вывод о незначительной вероятности первичного и повторного возникновения дегенеративно-дистрофических изменений одного и того же сустава.

Общий вывод по пунктам 1, 2, 3. Данные имеющейся выборки не дают статистически значимых оснований для вывода о различии частот дегенеративно-дистрофических изменений правого и левого суставов. Судя по имеющейся выборке, **вероятность первого и повторного разрыва ПКС одного и того же сустава незначительна.**

4. Исследование фактора «наличие сопутствующего заболевания»

Фактор «наличие сопутствующего заболевания» имеет два значения: «есть» и «нет». Для оценки вероятности сопутствующего заболевания во всей выборке использовали данные табл. 1. При этом повторный разрыв ПКС собаки № 51 исключили из рассмотрения. Таким образом, значения данного фактора рассматривались на 97 объектах. При этом значение «есть» встречается 23 раза. Вероятность наличия сопутствующего заболевания заключена в пределах: $0,244 - 0,079 < p < 0,244 + 0,079$ или, в другой форме, $p = 0,244 \pm 0,079$.

4.1. Исследование влияния фактора пола на наличие сопутствующего заболевания. Всего дегенеративно-дистрофических изменений, осложненных сопутствующим заболеванием, — 23, из них 10 — у самок и 13 — у самцов. Доверительный интервал вероятности того, что наугад выбранная собака, у которой РПКС осложнен сопутствующим заболеванием, окажется самкой: $0,268 < p < 0,615$ или, в другой форме, $p = 0,4415 \pm 0,1735$. Доверительный интервал вероятности того, что наугад выбранная собака, у которой РПКС осложнен сопутствующим заболеванием, окажется самцом: $0,385 < p < 0,732$ или, в другой форме, $p = 0,5585 \pm 0,1735$. При этом симметричный относительно значения 0,5 интервал $p = 0,5 \pm 0,115$ попадает в доверительные интервалы вероятности встретить в этой категории собак как самок, так и самцов. Следовательно, имеющиеся в выборке данные не позволяют сделать вывод о статистически значимом влиянии пола на вероятность осложнения РПКС сопутствующими заболеваниями.

4.2. Исследование влияния фактора «левый — правый сустав» на наличие сопутствующего заболевания. В числовом соотношении это та же самая статистика, что и в предыдущем пункте. Поэтому можно сразу сделать следующий вывод: *имеющиеся в выборке данные не показывают статистически значимого влияния фактора «левый — правый сустав» на вероятность осложнения разрыва ПКС сопутствующими заболеваниями.*

4.3. Статистический анализ влияния возраста собак на относительную частоту РПКС. Распределение числа обращений по поводу РПКС в зависимости от возраста животных продемонстрировано наглядно (рис. 2). Максимальная частота обращений наблюдается в возрасте 7 лет, что может указывать на возрастной пик физической активности или повышение риска дегенеративно-дистрофических изменений вследствие поведенческих и физиологических факторов, характерных для данного возрастного периода. Данные для анализа зависимости относительной частоты РПКС от возраста собак приведены в табл. 4.

Таблица 4 / Table 4

**Зависимость относительной частоты РПКС от возраста собак /
Dependence of the relative frequency of CCLR on the age of dogs**

Возраст, лет / Age, years	Относительная частота / Relative frequency
2	0,02381
3	0,02381
4	0,08333
5	0,09524
6	0,14286
7	0,2262
8	0,15476
9	0,11905
10	0,04762
11	0,05952
12	0,0119
13	0,0119

Источник: составлено К.А. Козляковым.

Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

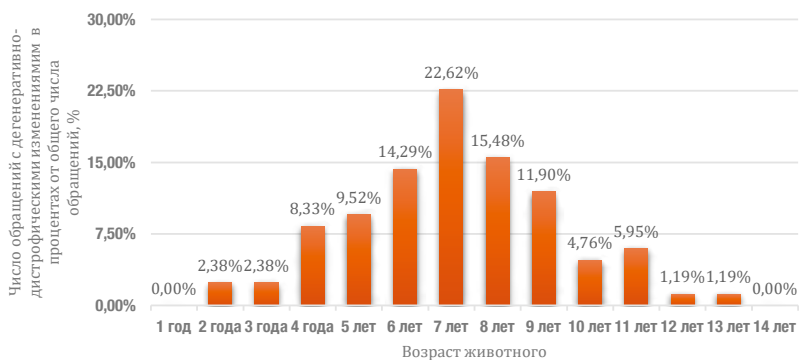


Рис. 2. Инцидентность дегенеративно-дистрофических изменений у животных различных возрастных групп

Источник: составлено К.А. Козляковым.

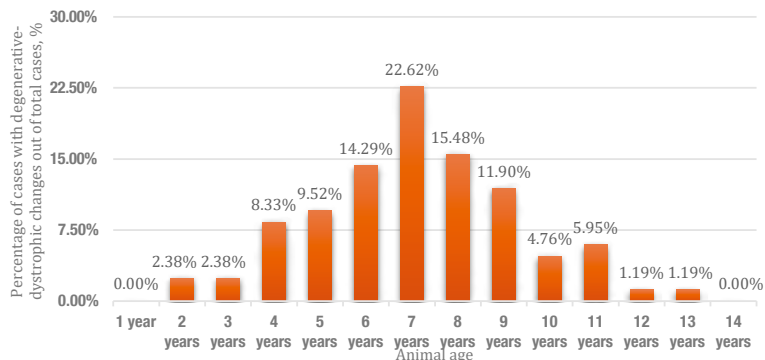


Fig. 2. Incidence of degenerative – dystrophic changes in animals of different age groups

Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

Число точек в выборке $n = 12$. Среднее значение относительной частоты РПКС $y_{\text{ср}} = 0,08333$. Несмещенная оценка начальной дисперсии $D_{\text{нач}} = 0,0045097763636$. Методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии в форме полинома второй степени (использована программа, размещенная на сайте <https://mathhelpplanet.com/static.php?p=onlayn-mnk-i-regressionniy-analiz>). Уравнение имеет вид

$$y^r = -0,005084(x - 7,230)^2 + 0,1443,$$

где y^r – относительная частота РПКС, доли ед.; x – возраст собак, годы.

Число коэффициентов в уравнении регрессии $m = 3$. Несмещенная оценка остаточной дисперсии $D_{\text{ост}} = 0,0015583566667$. Индекс корреляции

$$R = (1 - \sigma_{\text{ост}}^2 / \sigma_{\text{нач}}^2)^{0,5} = 0,81.$$

В соответствии с правилами интерпретации индексов корреляции в терминах силы корреляционной связи (шкала Чеддока) такое значение свидетельствует о высокой силе связи. На рис. 3 показан график зависимости относительной частоты РПКС от возраста собак. Из него видно, что наибольшие дегенеративно-дистрофические изменения наблюдается в возрасте 6–8 лет. Таким образом, существует устойчивая нелинейная корреляция между возрастом собак и относительной частотой РПКС.

По данным [4], в группе собак мелких пород наиболее часто дегенеративно-дистрофические изменения выявляются в возрасте от 3 до 8 лет. При этом доминировали самцы. В анамнезе также присутствовал дополнительный эпизод, связанный с дегенеративно-дистрофическими изменениями. По данным [12], пик заболевания приходится в среднем на возраст от 2 до 10 лет, но исследуемая группа животных представлена преимущественно собаками крупных пород. Таким образом, данная патология у крупных собак встречается чаще в более молодом возрасте в отличие от собак карликовых пород, где пик заболевания приходится на 6–8 лет.

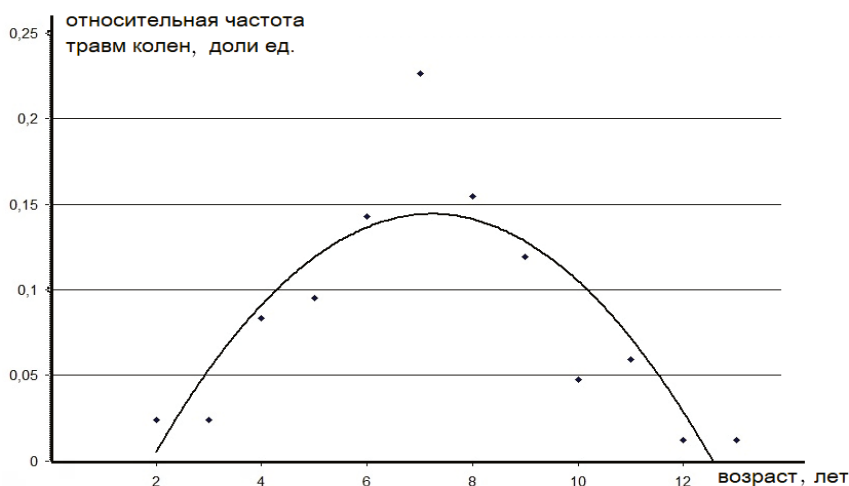


Рис. 3. Зависимость относительной частоты РПКС от возраста животных

Источник: составлено К.А. Козляковым.

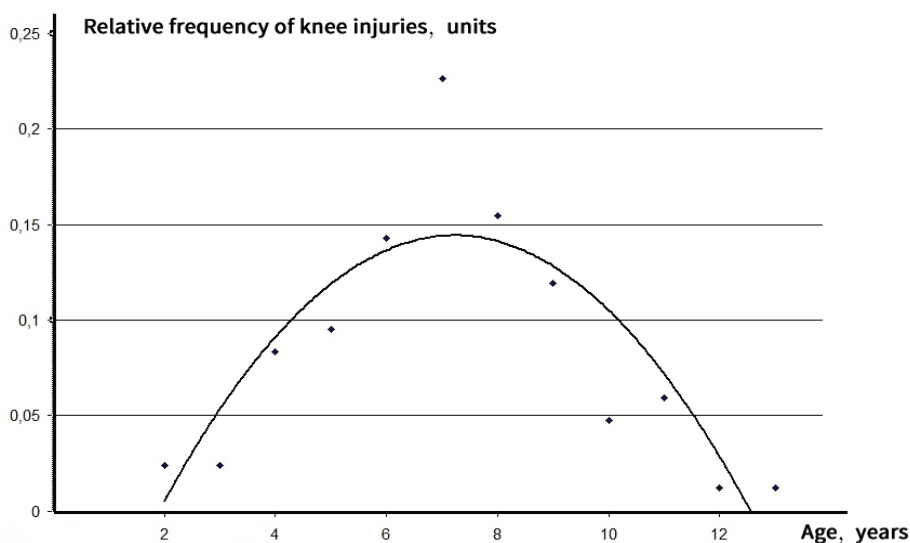


Fig. 3. Dependence of the relative frequency of CCLR on the age of animals
Source: compiled by K.A. Kozlyakov.

Заклучение

1. Данные, содержащиеся в выборке, не дают статистических оснований для вывода о разной вероятности дегенеративно-дистрофических изменений особей разных полов. Напротив, можно сделать осторожное предположение об отсутствии таких различий.

2. Разница частот дегенеративно-дистрофических изменений правого и левого коленных суставов, согласно имеющимся данным, не является статистически значимой.

3. Вероятность первого и повторного РПКС одного и того же коленного сустава, судя по имеющейся выборке, незначительна.

4. Вероятность осложнения дегенеративно-дистрофических изменений коленных суставов сопутствующими заболеваниями составляет $24,4 \pm 7,9$ %.

5. Имеющиеся в выборке данные не показывают статистически значимого влияния факторов «пол собаки» и «левый — правый коленный сустав» на вероятность осложнения РПКС сопутствующими заболеваниями.

6. Существует устойчивая нелинейная корреляция между возрастом собак и относительной частотой РПКС. Наименьшие дегенеративно-дистрофические изменения наблюдается в молодом и старческом возрастах, наибольшая — в возрасте 6–8 лет.

Список литературы / References

1. Yagnikov SA, Barshegyan LS, Yagnikova YA, Kuleshova OA, Valys MD, Budayev RD, Ramazanov SG. Causes of lameness in dogs on the chest and pelvic limbs in the modern megalopolis. *Russian Veterinary Journal. Small Domestic and Wild Animals*. 2015;(3):6–11. (In Russ.). EDN: TXUUOX

Ягников С.А., Барсеян Л.С., Ягникова Я.А., Кулешова О.А., Валюс М.Д., Будаев Р.Д., Рамазанов С.Г. Причины хромоты собак на грудную и тазовую конечности в условиях современного мегаполиса // Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные. 2015. № 3. С. 6–11. EDN: TXUOIX

2. Baird AEG, Carter SD, Innes JF, Ollier WE, Short AD. Genetic basis of cranial cruciate ligament rupture (CCLR) in dogs. *Connective Tissue Research*. 2014;55(4):275–281. doi: 10.3109 / 03008207.2014.910199

3. Engdahl K, Emanuelson U, Höglund O, Bergström A, Hanson J. The epidemiology of cruciate ligament rupture in an insured Swedish dog population. *Scientific Reports*. 2021;11(1):9546. doi: 10.1038 / s41598–021–88876–3 EDN: HFAZLA

4. Shchurov IV. *Kliniko — morfologicheskoe obosnovanie khirurgicheskoi korrektsii razryva perednei krestobraznoi svyazki u sobak s ispolzovaniem sinteticheskikh protezov [Clinical and morphological rationale for surgical correction of cranial cruciate ligament rupture in dogs using synthetic prostheses]*. [dissertation abstract]. Moscow; 2008. (In Russ.). EDN: NKMLQR

Щуров И.В. Клинико-морфологическое обоснование хирургической коррекции разрыва передней крестообразной связки у собак с использованием синтетических протезов : автореф. дис. ... канд. вет. наук. М., 2008. EDN: NKMLQR

5. Galindo — Zamora V, Dziallas P, Ludwig DC, Nolte I, Wefstaedt P. Diagnostic accuracy of a short — duration 3 Tesla magnetic resonance protocol for diagnosing stifle joint lesions in dogs with non — traumatic cranial cruciate ligament rupture. *BMC Veterinary Research*. 2013;9(1):40. doi: 10.1186 / 1746-6148-9-40 EDN: MYXLWU

6. Van der Vekens E, de Bakker E, Bogaerts E, Broeckx BJG, Ducatelle R, Kromhout K, Saunders JH. High — frequency ultrasound, computed tomography and computed tomography arthrography of the cranial cruciate ligament, menisci and cranial meniscotibial ligaments in 10 radiographically normal canine cadaver stifles. *BMC Veterinary Research*. 2019;15(1):146. doi: 10.1186/s12917-019-1892 - y

7. Shimada M, Mizokami N, Ichinohe T, Kanno N, Suzuki S, Yogo T, Harada Y, Hara Y. Long — term outcome and progression of osteoarthritis in uncomplicated cases of cranial cruciate ligament rupture treated by tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *The Journal of Veterinary medical Science*. 2020;82(7):908–916. doi: 10.1292 / jvms.19-0613 EDN: EFFUPS

8. Ueda H, Matsukawa T, Watanabe T, Hosaka Y, Takehana K. Morphological, biochemical and mechanical features of the cranial cruciate and lateral collateral ligaments in dogs. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*. 2006;83(1):25–31. doi: 10.2535 / ofaj.83.25

9. Whitehair JG, Vasseur PB, Willits NH. Epidemiology of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1993;203(7):1016–1019.

10. Sellon DC, Marcellin — Little DJ. Risk factors for cranial cruciate ligament rupture in dogs participating in canine agility. *BMC Veterinary Research*. 2022;18(1):39. doi: 10.1186 / s12917-022-03146-2 EDN: HZWBGT

11. Pegram C, Brodbelt DC, Diaz — Ordaz K, Chang Y, von Hekkel AF, Church DB, O’Neill DG. Risk factors for unilateral cranial cruciate ligament rupture diagnosis and for clinical management in dogs under primary veterinary care in the UK. *Veterinary Journal*. 2023;292:105952. doi: 10.1016 / j.tvjl.2023.105952 EDN: BYAKSW

12. Ulanova NV. Comparative analysis of methods of TPLO and TTA in the treatment of rupture of the cranial cruciate ligament in dogs on the basis of a series of clinical cases. *VetPharma*. 2014;(5):60–75. (In Russ.). EDN: SXCQTB

Уланова Н.В. Сравнительный анализ методов TPLO и TTA в лечении разрыва передней крестообразной связки у собак на основании серии клинических случаев // *VetPharma*. 2014. № 5 (21). С. 60–75. EDN: SXCQTB

13. Brioschi V, Arthurs GI. Cranial cruciate ligament rupture in small dogs (<15 kg): a narrative literature review. *Journal of Small Animal Practice*. 2021;62(12):1037–1050. doi: 10.1111 / jsap.13404 EDN: SROSAN

14. DeForge TL, Momen M, Conidi G, Muir P, Sample SJ. Age of neutering contributes to risk of cruciate ligament rupture in Labrador Retrievers. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2024;263(3):318–322. doi: 10.2460 / javma.24.06.0406

Об авторах:

Козляков Кирилл Александрович — ветеринарный врач, Центр ветеринарной хирургии «ВетПроФАльянс», Российская Федерация, 142306, г. Чехов, ул. Маркова, д. 6; аспирант департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: 89104379646kk@gmail.com

ORCID: 0009-0009-7652-1324 SPIN-код: 7605-3790

Ягников Сергей Александрович — кандидат биологических наук, доктор ветеринарных наук, профессор департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; руководитель, Центр ветеринарной хирургии «ВетПрофАльянс», Российская Федерация, 142306, г. Чехов, ул. Маркова, д. 6; e-mail: yagnikovorc@yandex.ru
ORCID: 0009-0009-3717-1093 SPIN-код: 3104-7566

Трухачев Андрей Денисович — ветеринарный врач, Центр ветеринарной хирургии «ВетПрофАльянс», Российская Федерация, 142306, г. Чехов, ул. Маркова, д. 6; аспирант Департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: dron888555@gmail.com
ORCID: 0009-0009-0595-8334 SPIN-код: 5587-8174

Барсегян Лусинэ Самвеловна — кандидат ветеринарных наук, ветеринарный врач, Центр ветеринарной хирургии «ВетПрофАльянс», Российская Федерация, 142306, г. Чехов, ул. Маркова, д. 6; e-mail: barsk.admin@gmail.com
ORCID: 0009-0002-9229-2217 SPIN-код: 1231-9556

About authors:

Kozlyakov Kirill Aleksandrovich — Veterinarian, Veterinary Surgery Center “VetProfAlliance,” 6 Markova St., Chekhov, 142306, Russian Federation; Postgraduate Student, Department of Veterinary Medicine, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, Russian Federation; e-mail: 89104379646kk@gmail.com
ORCID: 0009-0009-7652-1324 SPIN-code: 7605-3790

Yagnikov Sergey Aleksandrovich — Candidate of Biological Sciences (PhD), Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, Russian Federation; Head, Veterinary Surgery Center “VetProfAlliance,” 6 Markova St., Chekhov, 142306, Russian Federation; e-mail: yagnikovorc@yandex.ru
ORCID: 0009-0009-3717-1093 SPIN-code: 3104-7566

Trukhachev Andrey Denisovich — Veterinarian, Veterinary Surgery Center “VetProfAlliance,” 6 Markova St., Chekhov, 142306, Russian Federation; Postgraduate Student, Department of Veterinary Medicine, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, Russian Federation; e-mail: dron888555@gmail.com
ORCID: 0009-0009-0595-8334 SPIN-code: 5587-8174

Barsegyan Lusine Samvelovna — Candidate of Veterinary Sciences (PhD), Veterinarian, Veterinary Surgery Center “VetProfAlliance,” 6 Markova St., Chekhov, 142306, Russian Federation; e-mail: barsk.admin@gmail.com
ORCID: 0009-0002-9229-2217 SPIN-code: 1231-9556



DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-195-202

EDN GGQBZO

УДК 619:615.1

Научная статья / Research article


Анализ фармакологической эффективности применения метилпреднизолона у животных при адресной доставке на биodeградируемых носителях

Ж. Баннуд¹, А.Н. Ибрагимова² , С. Мас-Кома³ ,
Н.И. Трошина² , А.С. Карамян²  

¹Ветеринарная клиника «Ветлайф», г. Москва, Российская Федерация

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

³Университет Валенсии, г. Валенсия, Испания

 Karamyas-as@rudn.ru

Аннотация. Применение глюкокортикостероидов (ГКС) в фармакотерапии животных позволяет снизить развитие воспаления, аллергических реакций и оказывает иммуносупрессивное действие. Адаптивные гормоны повышают устойчивость организма к стрессу. Широкое использование ГКС при хирургических вмешательствах, сопряженных с имплантацией, продиктовано снижением реакции окружающих тканей, послеоперационного отека, повышением приживаемости имплантов. Однако, пероральное применение ГКС часто сопряжено с низкой биодоступностью, а повышение дозы препаратов чревато тяжелым проявлением побочного действия. Разработка новых систем адресной доставки с использованием биodeградируемых носителей позволяет повысить биодоступность лекарственных средств, снизить побочное действие и повысить эффективность фармакотерапии. Выбирая адресную доставку, важно оценить количественные параметры концентрации ГКС в плазме крови в зависимости от выбранного пути введения. Разработанная методика высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ–МС/МС) позволяет определить самые низкие концентрации лекарственных средств, диапазон методики от 2 до 1000 нг/мл.

Ключевые слова: глюкокортикостероиды, система адресной доставки, ветеринария, фармакотерапия, высокоэффективная жидкостная хроматография, ВЭЖХ, тандемная масс-спектрометрия

Вклад авторов: Баннуд Ж. — отбор проб, пробоподготовка, поиск и сбор данных, написание статьи; Ибрагимова А.Н. — анализ полученной информации, обработка данных; Мас-Кома С. — дизайн исследования; Трошина Н.И. — обработка числовых данных; Карамян А.С. — написание статьи, общее руководство научным проектом. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

© Баннуд Ж., Ибрагимова А.Н., Мас-Кома С., Трошина Н.И., Карамян А.С., 2026



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

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Лекарственный препарат метилпреднизолона был закуплен авторами за собственные средства для проведения сравнительного исследования.

История статьи: поступила в редакцию 2 декабря 2025 г., принята к публикации 12 января 2026 г.

Для цитирования: Баннуд Ж., Ибрагимова А.Н., Мас-Кома С., Трошина Н.И., Карамян А.С. Анализ фармакологической эффективности применения метилпреднизолона у животных при адресной доставке на биodeградируемых носителях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 1. С. 195–202. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-195-202 EDN: GGQBZO


Analysis of the pharmacological efficacy of methylprednisolone in targeted delivery using biodegradable carriers in animals

Georges Bannoud¹, Alfiya N. Ibragimova² , Santiago Mas-Coma³ ,
Natalya I. Troshina² , Arfenya S. Karamyan²  

¹Vetlife Veterinary Clinic, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

³University of Valencia, Valencia, Spain

 karamyan-as@rudn.ru

Abstract. The use of glucocorticosteroids (GCS) in veterinary pharmacotherapy helps reduce inflammation and allergic reactions and has an immunosuppressive effect. Adaptive hormones increase the body's resistance to stress. The widespread use of GCS in surgical interventions involving implantation is driven by a decreased reaction of surrounding tissues, reduced postoperative edema, and improved implant integration. However, oral administration of GCS is often associated with low bioavailability, and dose escalation carries the risk of severe adverse effects. The development of novel targeted delivery systems using biodegradable carriers makes it possible to increase the bioavailability of drugs, minimize side effects, and enhance the efficacy of pharmacotherapy. When choosing targeted delivery, it is important to assess the quantitative parameters of GCS concentration in blood plasma depending on the route of administration. The developed high-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry (HPLC–MS/MS) method enables the determination of very low drug concentrations within a range of 2 to 1000 ng/mL.

Keywords: glucocorticosteroids, targeted delivery system, veterinary medicine, pharmacotherapy, high-performance liquid chromatography, HPLC, tandem mass spectrometry

Authors' contribution: Bannoud G. — sampling, sample preparation, data collection and acquisition, writing of the manuscript; Ibragimova A.N. — analysis of obtained information, data processing; Mas-Koma S. — study design; Troshina N.I. — data processing; Karamyan A.S. — manuscript writing, overall supervision of the scientific project. All authors reviewed the final version of the manuscript and approved it.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests. The methylprednisolone drug was purchased by the authors with their own funds for the purpose of conducting a comparative study.

Article history: received 2 October 2025; accepted 12 January 2026.

For citation: Bannoud G, Ibragimova AN, Mas-Koma S, Troshina NI, Karamyan AS. Analysis of the pharmacological efficacy of methylprednisolone in targeted delivery using biodegradable carriers in animals. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(1):195–202. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-1-195-202 EDN: GGQBZO

Введение

Разработка новых методов введения лекарственных средств зачастую сопряжена с рядом возможных сложностей и рисков, многие из которых устраняются в процессе совершенствования технологии, исследования стабильности лекарственных средств и проводимых доклинических исследований [1–3]. Противовоспалительные препараты для ветеринарного применения широко представлены на фармацевтическом рынке. Самыми доступными как с точки зрения удобства применения для владельцев, так с экономической стороны являются классические препараты, применяемые перорально [4–7]. Используемые для внутривенного введения лекарственные средства предпочтительно вводить в условиях ветеринарной клиники, минимизируя риски развития флебитов, внутривенной контаминации, травматизации пациентов, стресса. Но, помимо очевидных проблем, существует и ряд вопросов, связанных с непосредственным фармакологическим действием препаратов и способами снижения нагрузки на организм животного. Адресная доставка на современных биodeградируемых носителях, наносимых на поверхности имплантов, способствует решению данных вопросов на этапе оказания высокотехнологичной помощи [8–10]. Использование лекарственных препаратов с помощью адресной доставки перспективно, так как позволяет использовать антибиотики, гормоны, противовоспалительные препараты, отслеживая их концентрации, снижая потери препарата при прохождении через тканевые барьеры и воздействуя непосредственно в очаге травматизации при имплантации [9, 11–13]. Применение глюкокортикоидов (ГКС) обосновано при снижении воспалительного отека, уменьшении грануляции травмированной ткани, развитии аллергических реакций, иммуносупрессии, что влияет на скорость и эффективность интеграции импланта в организме животных [14–15].

Цель исследования — провести фармакокинетический анализ и оценить эффективность применения метилпреднизолона при таргетной доставке.

Материалы и методы исследования

Для количественного определения концентрации ГКС в сыворотке и плазме крови лабораторных животных (кролики породы «Советская шиншилла», возраст 5 месяцев, самцы) сформировали четыре группы животных по 3 самца в каждой. Первая и вторая группа животных получала препарат Метилпреднизолона гемисукцинат в лекарственной форме раствор для внутримышечных и внутривенных инъекций, третья и четвертая группа — препарат на основе метилпреднизолона. Кроликам из групп 1 и 2 препарат Метилпреднизолона гемисукцинат вводили в дозе 20,0 мг/кг внутривенно, животным из групп 3 и 4 — в эквивалентной дозе внутримышечно. В качестве внутреннего стандарта

для проведения аналитического исследования выбрали мегестрола ацетата. Стандартный образец в процессе пробподготовки добавляли непосредственно в исследуемые образцы. Использование стандартного образца в процессе пробподготовки является калибровочным механизмом, позволяющим определить минимальные концентрации искомого ГКС в сыворотке и плазме подопытных животных.

Результаты исследования и обсуждение

Концентрацию метилпреднизолона гемисукцината и метилпреднизолона исследовали в опытах *in vivo*. Отбор биоматериала у животных проводили в одно и тоже время, в 10:00 после стандартных манипуляций. Объем проб составлял 2,0 мл, кровь отбирали в пробирки типа Эппендорф. Анализ проводили в двух средах: в плазме и сыворотке крови — для определения различий в концентрациях препаратов и метаболизма в организме. Результаты исследования приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1–4.

Таблица 1

Содержание ГКС в плазме и сыворотке кроликов при внутривенном введении дозы 20,0 мг/кг

№	Время	Метилпреднизолона гемисукцинат, мкг/мл (№ 1)		Метилпреднизолон, мкг/мл (№ 3)	
		Плазма	Сыворотка	Плазма	Сыворотка
1	0 мин	0,0	0,0	0,0	0,0
2	15 мин	12,9	11,5	0,7	0,4
3	30 мин	5,3	5,1	1,1	0,9
4	2 часа	2,7	2,0	2,1	1,9
5	4 часа	2,3	2,1	2,1	2,2
6	24 часа	0,2	0,2	0,0	0,0

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

Таблица 2

Содержание ГКС в плазме и сыворотке кроликов при внутримышечном введении дозы 20,0 мг/кг

№	Время	Метилпреднизолона гемисукцинат, мкг/мл (№ 2)		Метилпреднизолон, мкг/мл (№ 4)	
		Плазма	Сыворотка	Плазма	Сыворотка
1	0 мин	0,0	0,0	0,0	0,0
2	2 часа	3,6	3,4	0,4	0,2
3	4 часа	2,9	2,8	0,7	0,5
4	6 часов	1,6	1,3	1,7	1,4
5	12 часов	0,4	0,3	2,0	2,1

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

При количественном определении концентрации ГКС в плазме и сыворотке подопытных животных был установлен предел обнаружения метилпреднизолона гемисукцината на уровне 20 пг/мл у всех животных. В то же время концентрация метилпреднизолона превышала концентрацию метилпреднизолона гемисукцината двукратно.

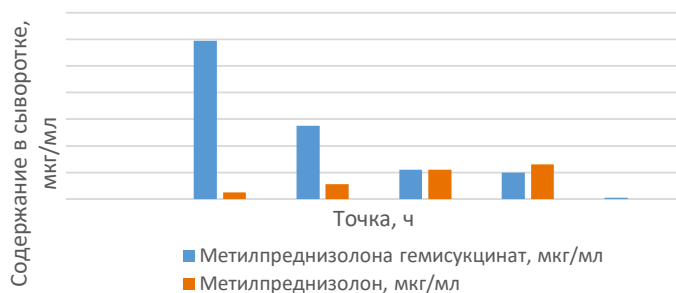


Рис. 1. Зависимость концентраций метилпреднизолона гемисукцината и метилпреднизолона в сыворотке кроликов (внутривенное введение дозы 20,0 мг/кг)

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

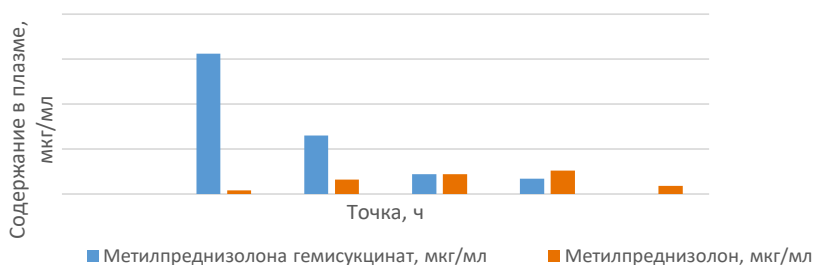


Рис. 2. Зависимость концентраций метилпреднизолона гемисукцината и метилпреднизолона в плазме кроликов (внутривенное введение дозы 20,0 мг/кг)

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

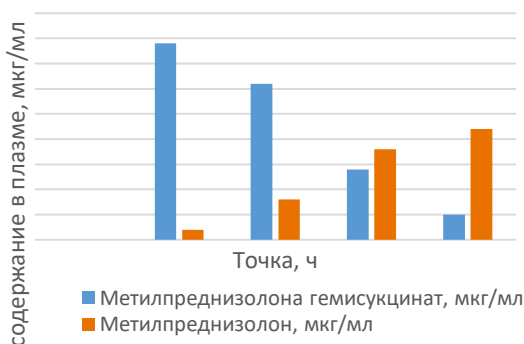


Рис. 3. Зависимость концентраций метилпреднизолона гемисукцината и метилпреднизолона в плазме кроликов (внутримышечное введение дозы 20,0 мг/кг)

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

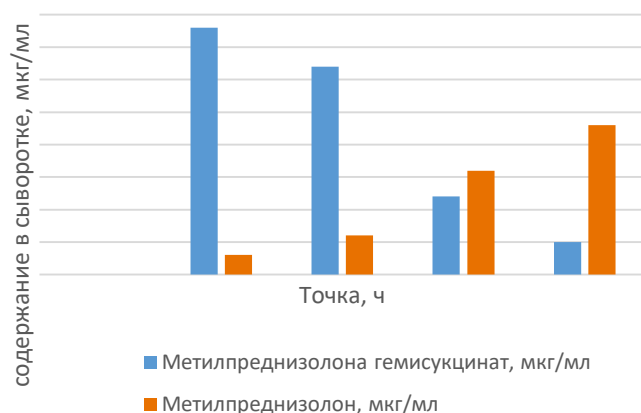


Рис. 4. Зависимость концентраций метилпреднизолон гемисукцината и метилпреднизолон в сыворотке кроликов (внутримышечное введение дозы 20,0 мг/кг)

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

Для подтверждения стабильности лекарственного препарата на поверхности биodeградируемого носителя импланта проведен анализ проб по уже отработанной и стандартизированной методике высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ–МС/МС). Концентрацию метилпреднизолон устанавливали при исследовании в готовых носителях. Проведенный релиз позволил установить концентрацию препарата на пленке в первую неделю равной 723 ± 18 мкг. При повторном анализе образцов через две недели выявлено снижение содержания лекарственного препарата на пленке, потери составили 3,59 % (менее 5 %), что является допустимым (рис. 5).

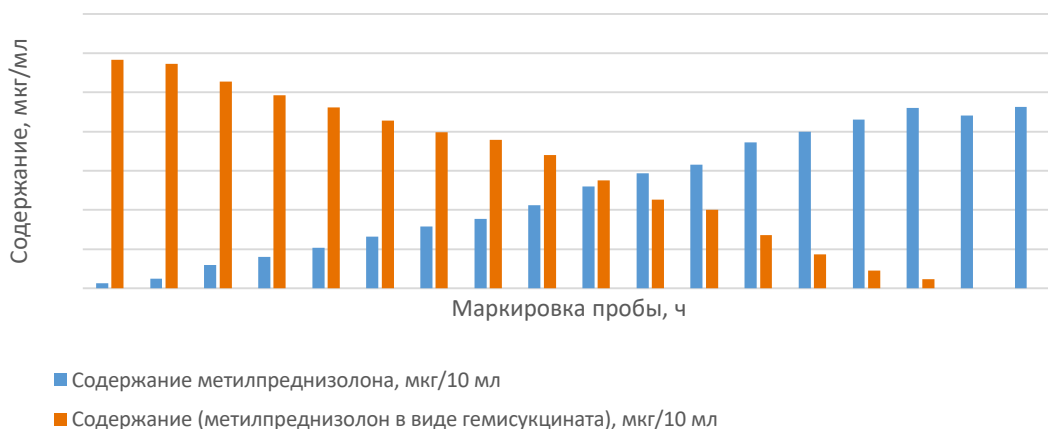


Рис. 5. График релиза препарата метилпреднизолон из микрокапсул на биodeградируемых носителях в фосфатном буфере

Источник: выполнено А.Н. Ибрагимовой, Ж. Баннудом, С. Мас-Кома, Н.И. Трошиной, А.С. Карамян.

Заключение

Сравнительное исследование концентрации ГКС в плазме и сыворотке подопытных животных *in vivo* позволило установить достоверно значимые высокие значения в плазме. Исследована корреляция высвобождения, биотрансформации и элиминации лекарственного препарата метилпреднизолона в зависимости от предлагаемого пути введения. Доказанное высвобождение ГКС из пленки, нанесенной на имплант, позволяет расширить применение биodeградируемых поверхностей и усовершенствовать фармакотерапевтические подходы с применением глюкокортикоидов, без повышения рисков в постоперационном периоде.

Список литературы

1. Гаммель И.В., Жукова О.В., Кононова С.В., Кононова М.А. Исследование ассортимента лекарственных средств в лекарственной форме мази // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. Т. 22. № 8. С. 3–9. doi: 10.29296/25877313-2019-08-01 EDN: TCTFKP
2. Белоусов Е.А., Новикова Е.О., Карасев М.М., Белоусова О.В., Нотина Е.А., Новиков О.О. Гормональные препараты для ветеринарного применения на фармацевтическом рынке: анализ ассортимента // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 2. С. 182–193. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-2-182-193 EDN: LYTGYN
3. Qin Q, Feng D, Hu C, et al. Parallel derivatization strategy coupled with liquid chromatography-mass spectrometry for broad coverage of steroid hormones. *Journal of Chromatography A*. 2020;1614:460709. doi: 10.1016/j.chroma.2019.460709 EDN: QCQJSS
4. Sindeeva OA, Gusliakova OI, Inozemtseva OA, et al. Effect of a controlled release of epinephrine hydrochloride from PLGA microchamber array: *in vivo* studies. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2018;10(44):37855–37864. doi:10.1021/acsami.8b15109 EDN: JXQPMW
5. Mok Q. Airway problems in neonates—a review of the current investigation and management strategies. *Frontiers in Pediatrics*. 2017;5(1):60. doi: 10.3389/fped.2017.00060 EDN: YGGISD
6. Ost DE, Shah AM, Lei X, et al. Respiratory infections increase the risk of granulation tissue formation following airway stenting in patients with malignant airway obstruction. *Chest*. 2012;141(6):1473–1481. doi: 10.1378/chest.11-2005
7. Luffy SA, Wu J, Kumta PN, Gilbert TW. Evaluation of magnesium alloys for use as an intraluminal tracheal for pediatric applications in a rat tracheal bypass model. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*. 2019;107(6):1844–1853. doi: 10.1002/jbm.b.34277
8. Hiwatashi S, Nakayama Y, Umeda S, Takama Y, Terazawa T, Okuyama H. Tracheal replacement using an in-body tissue-engineered collagenous tube “BIOTUBE” with a biodegradable stent in a beagle model: a preliminary report on a new technique. *European Journal of Pediatric Surgery*. 2019;29(1):90–96. doi: 10.1055/s-0038-1673709
9. Xue B, Liang B, Yuan G, et al. A pilot study of a novel biodegradable magnesium alloy airway stent in a rabbit model. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2019;117:88–95. doi: 10.1016/j.ijporl.2018.10.047
10. Youssef J, Novosad SA, Winthrop KL. Infection risk and safety of corticosteroid use. *Rheumatic Diseases Clinics of North America*. 2016;42(1):157–176. doi: 10.1016/j.rdc.2015.08.004
11. Gai M, Frueh J, Tao T, et al. Polylactic acid nano- and microchamber arrays for encapsulation of small hydrophilic molecules featuring drug release via high intensity focused ultrasound. *Nanoscale*. 2017;9(21):7063–7070. doi: 10.1039/c7nr01841j EDN: XNOYXN
12. Dohan Ehrenfest DM, Coelho PG, Kang BS, Sul YT, Albrektsson T. Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography. *Trends in Biotechnology*. 2010;28(4):198–206. doi: 10.1016/j.tibtech.2009.12.003 EDN: NYNSSD
13. Mendonça G, Mendonça DB, Aragão FJ, Cooper LF. Advancing dental implant surface technology — from micron- to nanotopography. *Biomaterials*. 2008;29(28):3822–3835. doi: 10.1016/j.biomaterials.2008.05.012 EDN: KIFKPV

14. Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 1 — review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *The International Journal of Prosthodontics*. 2004;17(5):536–543.
15. Ratner BD, Bryant SJ. Biomaterials: where we have been and where we are going. *Annual Review of Biomedical Engineering*. 2004;6:41–75. doi: 10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140027 EDN: LSUDOX
16. Abraham G, Demiraj F, Ungemach FR. Comparison of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis susceptibility upon single-dose i.m. depot versus long-acting i.v. triamcinolone acetonide therapy: a direct pharmacokinetic correlation. *The Journal of Endocrinology*. 2006;191(2):491–496. doi: 10.1677/joe.1.06991

Об авторах:

Баннуд Жорж — ветеринарный врач, ветеринарная клиника «Ветлайф», Российская Федерация, 127474, г. Москва, Бескудниковский бул., д. 12, стр. 1; e-mail: george911@mail.ru

Ибрагимова Альфия Наилевна — кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры медицины катастроф медицинского института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 10/2; e-mail: Ibragimova-an@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-3484-3949 SPIN-код: 3948-5218

Мас-Кома Сантьяго — доктор ветеринарных наук, профессор, директор департамента ветеринарии и зоотехнии, Университет Валенсии, Испания, Валенсия, 46100, Av. Vicent Andrés Estellés s/n; e-mail: S.Mas.Coma@uv.es
ORCID: 0000-0002-1685-7004

Трошина Наталья Игоревна — старший преподаватель департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: troshina-ni@rudn.ru
ORCID: 0009-0003-8230-0153 SPIN-код: 9355-7573

Карамян Арфеня Семеновна — доктор биологических наук, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: karamyan-as@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2112-673X SPIN-код: 5511-4446